

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Τίτλος

Σωματίδια και Ατομικότητα στην Κβαντική Φυσική

...επαναπροσδιορίζοντας την έννοια του αντικειμένου

Καλλιόπη Ι. Ρουσομάνη

ΑΜ: ΔΤ08019

Επιβλέπων: Στάθης Ψύλλος

Μέλη τριμελούς επιτροπής:

Κώστας Δημητρακόπουλος, Καθηγητής, ΕΚΠΑ

Δημήτρης Πορτίδης, αν. Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Μέλη επταμελούς επιτροπής:

Γιάννης Στεφάνου, επ. Καθηγητής, ΕΚΠΑ

Δήμητρα Χριστοδούλου, επ. Καθηγήτρια, ΕΚΠΑ

Δούκας Καπάντας, Ακαδημία Αθηνών

Βασίλης Λιβάνιος, επ. Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Αθήνα 2020

Στη μνήμη του Σταύρου

Περίληψη

Τα κβαντικά σωματίδια μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα διότι η κβαντική φυσική τα περιγράφει ως φορείς ιδιοτήτων. Εντούτοις τα κβαντικά σωματίδια υπάρχουν με τρόπο που διαφέρει σημαντικά από τον τρόπο ύπαρξης των κλασικών σωματιδίων τα οποία και θεωρούνται εξιδανικεύσεις των καθημερινών πραγμάτων. Για το λόγο αυτό η έννοια του αντικειμένου χρήζει επαναπροσδιορισμού ώστε να εφαρμόζεται σε κάθε πτυχή της πραγματικότητας. Ο εντοπισμός των διαφορών μεταξύ κλασικών και κβαντικών σωματιδίων είναι το πρώτο βήμα προς το σκοπό αυτό.

Η μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων, έτσι όπως καταγράφεται στα ευρήματα της στατιστικής μελέτης κβαντικών συστημάτων, είναι η κύρια διαφορά μεταξύ κβαντικών και κλασικών σωματιδίων και τροφοδοτεί το διάλογο γύρω από τη φύση του υποατομικού κόσμου. Η Αρχή της Ταυτότητας των μη Διακρίσιμων – ΑΤμΔ του Leibniz βρέθηκε στο επίκεντρο της φιλοσοφικής έρευνας και γύρω από αυτή διαμορφώθηκαν η «κυρίαρχη» και η «εναλλακτική» άποψη. «Κυρίαρχη» και «εναλλακτική» άποψη αναγνωρίζουν η κάθε μια διαφορετικό κανονιστικό περιεχόμενο στην ΑΤμΔ: η μεν «κυρίαρχη» την επικαλείται ως αρχή ατομικότητας, για να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι αποτυγχάνει σ' αυτό το ρόλο· η δε «εναλλακτική» την επικαλείται ως την αρχή πάνω στην οποία θεμελιώνεται η αριθμητική διαφορά των αντικειμένων, για να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι από όλα τα κβαντικά σωματίδια μόνο τα στοιχειώδη μποζόνια δεν μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα.

Ωστόσο η όλη συζήτηση αγνοεί την σωματιδιακή πλευρά των κβαντικών σωματιδίων εφόσον αφορά μόνο τις καταστάσεις υπέρθεσης, όπου τα σωματίδια γίνονται μη διακρίσιμα και η εξατομίκευσή τους είναι μεταφυσικά αδύνατη. Όμως η μη διακρισιμότητα δεν είναι ο μόνος τρόπος ύπαρξης των κβαντικών σωματιδίων· σύμφωνα με την αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού για κάθε είδος σωματιδίου υπάρχουν συνθήκες υπό τις οποίες οι κυματικές ιδιότητες υποχωρούν έναντι των σωματιδιακών και τότε τα κβαντικά σωματίδια γίνονται διακρίσιμα και υπάρχουν ως άτομα.

Ο επαναπροσδιορισμός της έννοιας του αντικειμένου θα πρέπει να γίνει στη βάση της διττής φύσης των κβαντικών σωματιδίων, ώστε κάτι να μπορεί να είναι αντικείμενο χωρίς να συμπεριφέρεται κατ' ανάγκη ως άτομο. Προς αυτή την κατεύθυνση η διάκριση μεταξύ των εννοιών της αριθμησιμότητας και της ατομικότητας είναι επιβεβλημένη: τα αντικείμενα πρέπει να υπάρχουν πάντα ως αριθμήσιμες οντότητες και μόνο στις κατάλληλες συνθήκες ως άτομα. Υπό αυτήν την εννοιολόγηση τα κβαντικά σωματίδια μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα και δυνάμει άτομα.

Εν τούτοις η υπό συνθήκες εξατομίκευση των αντικειμένων δεν συνάδει με την ιδέα της εγγενούς ατομικότητας η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με αναγωγιστικές μεταφυσικές θεωρίες περί αντικειμένων, όπως οι θεωρίες δέσμης και υποστρώματος. Αντ' αυτών προβάλλεται η αριστοτελικής προέλευσης θεωρία υποστάσεων σύμφωνα με την οποία τα αντικείμενα υπάρχουν πάντα ως αντικείμενα κάποιου είδους και εξατομικεύονται κατά είδος.

Λέξεις κλειδιά: (μη)διακρισιμότητα, αριθμησιμότητα, κυματοσωματιδιακός δυϊσμός, θεωρία υποστάσεων

Abstract

Quantum particles can be considered objects since quantum physics describes them as bearers of properties. Nevertheless, quantum particles exist in a way significantly different from that of classical objects, which are considered idealizations of ordinary things. For that reason, the concept of object calls for some redefinition so that it can be applied in every aspect of reality. Tracing the differences between classical and quantum particles is the first step towards this objective.

The indistinguishability of quantum particles, as recorded in the findings of statistical research of quantum systems, constitutes the main difference between quantum and classical particles, feeding the debate concerning the nature of the subatomic world. Philosophical argument has focused on Leibniz's Principle of the Identity of Indiscernibles (PII) and both the "prevailing" and the "alternative" view have been formed with reference to it. Both the "prevailing" and the "alternative" view attribute a different normative content to PII: the "prevailing" view invokes PII as a principle of individuation, concluding that it fails to perform that role. On the other hand, the alternative view invokes PII as a principle on which the arithmetic difference of objects can be founded, concluding that among all the quantum particles only the fundamental bosons cannot be considered objects.

Nevertheless, the whole discussion overlooks the particles' aspect of quantum particles, since it considers only superposition states where particles become indistinguishable and their individuation is metaphysically impossible. But indistinguishability is not the only way of existence for quantum particles; according to the principle of wave-particle duality, for every kind of particle there exist certain conditions under which the wave properties retreat against particle properties and then quantum particles become distinguishable and exist as individuals.

The redefinition of the concept of object must be done on the basis of the dual nature of quantum particles so that something can be an object without necessarily behaving in an individual way. To this direction, the distinction between the concepts of countability and individuality is called for: objects must always exist as countable entities and only at appropriate conditions must exist as individuals. Under this conceptualization, quantum particles can be considered both as objects and potentially as individuals.

However, the individuation of objects under certain conditions is inconsistent with the idea of an intrinsic individuality, which is inseparable with reductionist metaphysical theories concerning objects, like bundle and substratum theories. Instead the Aristotelian theory of substance is put forward, according to which objects always exist as objects of some kind and they are individuated by kind.

Key words: (in)distinguishability, countability, wave/particle duality, substance theory

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	ix
----------------	----

1. Η ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΥ ΔΥΪΣΜΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΤΑΦΥΣΙΚΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

1.1 Η ανατροπή της κλασικής διάκρισης σωματίδιο/κύμα	1
1.2 Η έννοια του αντικειμένου έρχεται αντιμέτωπη με τα νέα δεδομένα που δημιουργεί η αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού	3
1.3 Αναγνωρίζοντας αντικείμενα: κριτήρια και προϋποθέσεις	6
1.4 Οι κρίσεις ταυτότητας είναι σύνθετες νοητικές ενέργειες	11
1.5 Οι έννοιες «διακρισιμότητα» και «ατομικότητα» δοκιμάζονται στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας	15

2. ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ: ΕΡΜΗΝΕΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΕΡΜΗΝΕΙΕΣ

2.1 Η μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων	23
2.2 Η στατιστική μηχανική αποκαλύπτει τα «μυστικά» του μικρόκοσμου	25
2.3 Η κλασική στατιστική Maxwell-Boltzmann	27
2.4 Οι κβαντικές στατιστικές Bose-Einstein και Fermi-Dirac	28
2.5 Η Υπόθεση των Ίσων Πιθανοτήτων ως αναγκαία προϋπόθεση της μη διακρισιμότητας	33
2.6 Μη διακρισιμότητα ή αιτιακές παρεκκλίσεις;	35
2.7 Ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός συμμορφώνεται με τη στατιστική συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων	41
2.8 Οι ερμηνείες του AAM ως περιορισμός δυνατών καταστάσεων ή δυνατών παρατηρήσιμων	43
2.9 Η συμμετρία των φυσικών παρατηρήσιμων σε κλασική και κβαντική φυσική	45
2.10 Το Αξίωμα Συμμετρικοποίησης δεν είναι στοιχείο του κβαντομηχανικού φορμαλισμού	47

3. Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΗ ΔΙΑΚΡΙΣΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

3.1 Η διακρισιμότητα είναι μια έννοια που επιδέχεται διαβάθμιση	52
3.2 Η διακρισιμότητα και η ατομικότητα των αντικειμένων της κλασικής φυσικής	56
3.3 Οι «αντηγεγονοπικές» πιθανότητες επιβεβαιώνουν τη στατιστική μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων – το επιχείρημα της «κυρίαρχης» άποψης	58
3.4 Η ασθενής διακρισιμότητα στην κβαντική μηχανική – το επιχείρημα της «εναλλακτικής» άποψης	

.....	64
3.5 Η Απαγορευτική Αρχή του Pauli ως αρχή των Pauli – Leibniz	71
3.6 Το κανονιστικό περιεχόμενο της ΑΤμΔ σύμφωνα με την «κυρίαρχη» και την «εναλλακτική» άποψη	76

4. Η ΚΡΙΤΙΚΗ ΣΤΗΝ «ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ» ΑΠΟΨΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΑ

4.1 Το επιχείρημα της «εναλλακτικής» άποψης κατηγορείται ως κυκλικό	83
4.2 Η εφαρμογή της ασθενούς διακρισιμότητας στην κλασική και κβαντική περίπτωση	86
4.3 Μορφικά και Φυσικά αντικείμενα	89
4.4 Η ασθενής διακρισιμότητα βεβαιώνει την παραβίαση της ΑΤμΔ	93
4.5 Η φυσική διακρισιμότητα ως συνθήκη εγκυρότητας της ΑΤμΔ	98
4.6 Οι αντισυμμετρίες δεν εκφράζουν πάντα συζευγμένες καταστάσεις	102

5. ΑΡΙΘΜΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΤΟΜΙΚΟΤΗΤΑ ΔΥΟ ΞΕΧΩΡΙΣΤΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ

5.1 Άτομα ή όχι-Άτομα; Το δίλημμα της «κυρίαρχης» άποψης	107
5.2 Η ατομικότητα ως τρόπος ύπαρξης σε συνθήκες ταυτότητας	110
5.3 Η αριθμησιμότητα των κβαντικών σωματιδίων: Εξηγητέα ή Πρωταρχική;	112
5.3.1 Η αριθμησιμότητα εντός πλαισίου – Πλαισιακότητα	113
5.3.2 Η αριθμησιμότητα/ατομικότητα ως πρωταρχικό γεγονός	118
5.4 Η κβαντική σύζευξη ως διαδικασία ενοποίησης σωματιδίων	124
5.5 Ολιστική συμπεριφορά και μη διαχωρισιμότητα	130
5.5.1 Ο αναγωγισμός και η αρχή της διαχωρισιμότητας στη κβαντική φυσική	131
5.5.2 Ο σχεσιακός ολισμός	136
5.6 Συνοψίζοντας	139

6. ΦΥΣΙΚΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

6.1 Οι δύο αντίπαλες θεωρίες αναφοράς και ο συγκερασμός τους	142
6.2 Το νόημα των δεικτών σε κλασική και κβαντική μηχανική	148
6.3 Παρατηρησιακή και εννοιολογική διακρισιμότητα των σωματιδίων της φυσικής	151
6.4 Οι δείκτες ως άκαμπτοι αναφορείς και η πρωταρχική αντότητα των σωματιδίων	154
6.5 Ο χώρος Fock έναντι του τανυστικού γινομένου μονοδιάστατων χώρων Hilbert	159
6.6 Οι αμοιβαίες μεταθέσεις σωματιδίων ως φυσική διαδικασία	162
6.7 «κβαντικά σωματίδια» ή «κβάντα»; Η ΚΘΠ ως θεωρία σωματιδίων	164

6.8	<i>Σωματιδιακές έναντι κυματικών ιδιοτήτων στον υποατομικό κόσμο</i>	168
6.9	<i>Κβαντικά σωματίδια σε συνθήκες ταυτότητας</i>	172
6.10	<i>Η χρήση και η χρησιμότητα των δεικτών</i>	176

7. ΜΕΤΑΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΤΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΜΕΤΑΦΥΣΙΚΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ ΠΕΡΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

7.1	<i>Η εξατομίκευση των κβαντικών σωματιδίων ως μέρος της επιστημονικής δραστηριότητας</i>	181
7.2	<i>Η μεταφυσική σημασία της εξατομίκευσης, η αρχή ατομικότητας και οι προκλήσεις</i>	185
7.3	<i>Αναγωγιστικές μεταφυσικές θεωρίες περί αντικειμένων</i>	187
7.3.1	<i>Θεωρία υποστρώματος εναντίον θεωρίας δέσμης</i>	189
7.3.2	<i>Οι ιδιότητες σε ρόλο αρχής ατομικότητας</i>	196
7.3.3	<i>Η αρχή ατομικότητας ως μη ποιοτικό συστατικό των αντικειμένων</i>	201
7.4	<i>Η θεωρία υποστάσεων ως απάντηση στο αδιέξοδο των αναγωγιστικών θεωριών</i>	211
7.4.1	<i>Τα αντικείμενα υπάρχουν μόνο ως αντικείμενα κάποιου είδους</i>	213
7.4.2	<i>Ουσιώδεις και ενδεχομενικές ιδιότητες</i>	216
7.4.3	<i>Η αριθμητική διαφορά των μη διακρίσιμων στο πλαίσιο της θεωρίας υποστάσεων</i>	217
7.4.4	<i>Τα αντικείμενα αριθμούνται και εξατομικεύονται μόνο ως αντικείμενα κάποιου είδους ...</i>	221

8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η ΚΑΘΟΛΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΈΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

8.1	<i>Η έννοια του αντικειμένου στις κβαντικές θεωρίες και η γενίκευσή της</i>	230
8.2	<i>Το κλασικό όριο της κβαντικής φυσικής</i>	234
8.3	<i>Σωματίδια μέσα από την προοπτική μιας μέτρησης</i>	238
8.4	<i>Η αντικειμενική γνώση της φύσης των σωματιδίων και οι περιορισμοί της</i>	241
8.5	<i>Η αντίληψη και εξατομίκευση των σωματιδίων ως σωματίδια ορισμένου είδους</i>	243
8.6	<i>Τα κβαντικά σωματίδια συγκροτούνται ως σωματίδια ορισμένου είδους</i>	246
8.7	<i>Κβαντική φυσική και θεωρία υποστάσεων</i>	251

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	255
--------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	257
--------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	258
--------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	261
--------------------------	------------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	267
--------------------------------------	------------

Πρόλογος

Η οντολογική ερμηνεία μιας φυσικής θεωρίας είναι ίσως το κατ' εξοχήν πεδίο έρευνας όπου συναντιέται η μεταφυσική με τη φυσική· είναι το πεδίο όπου οι φιλόσοφοι καταφεύγουν στα εργαλεία, που τους παρέχει η μεταφυσική, προκειμένου να συγκροτήσουν μια εικόνα για τον κόσμο, που να εναρμονίζεται με μια δεδομένη φυσική θεωρία. Ο Αριστείδης Αραγεώργης¹ χαρακτηρίζει το όλο εγχείρημα ως «άσκηση στη μεταφυσική», μέσω της οποίας επιχειρείται η ανάγνωση των οντολογικών δεσμεύσεων μιας φυσικής θεωρίας και ως τέτοιο καλείται να υπηρετήσει δύο κύριους στόχους, που συνοψίζονται ο πρώτος στο ερώτημα «τι υπάρχει;» και ο δεύτερος στο ερώτημα «πώς γνωρίζουμε τι υπάρχει;». Όμως θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί σε ό,τι αφορά το νόημα των ερωτημάτων και τη μορφή των απαντήσεων που αρμόζει σε αυτό. Το ερώτημα λόγου χάρη εάν υπάρχουν ηλεκτρόνια, πρωτόνια ή κουάρκ δεν είναι μεταφυσικό και δεν τίθεται στο πλαίσιο της οντολογικής ερμηνείας της θεωρίας του *Καθιερωμένου Μοντέλου* (Standard Model). Σύμφωνα με την εν λόγω θεωρία ηλεκτρόνια, πρωτόνια και κουάρκ είναι συστατικά των υλικών πραγμάτων και φυσικά υπάρχουν. Την ύπαρξή τους τη βεβαιώνει η φυσική θεωρία που τα εισάγει και η μόνη επιφύλαξή μας ως προς αυτό πηγάζει από το ενδεχόμενο η φυσική θεωρία να κάνει λάθος.

Εν ολίγοις δεν είναι δουλειά της μεταφυσικής να μας πει τι είδους πράγματα υπάρχουν στον κόσμο, ούτε ποιες είναι οι ιδιότητες αυτών των πραγμάτων, ούτε φυσικά το πώς και γιατί μεταβάλλονται. Είναι όμως δουλειά της μεταφυσικής να μας πει *τι* είναι ένα «πράγμα», *τι* είναι «ιδιότητα» ενός πράγματος και *πώς* πρέπει να αναλυθούν η ταυτότητα και η μεταβολή του. Τέτοιου τύπου ερωτήματα εμπίπτουν στην αρμοδιότητα της μεταφυσικής και θα πρέπει στις αναλύσεις της να καταφεύγουν όλοι όσοι επιχειρούν να αναγνωρίσουν σε μια μορφή φυσικής συμπεριφοράς, που περιγράφει μια φυσική θεωρία, τον τύπο της οντότητας που την επιδεικνύει και το εγχείρημα της οντολογικής ερμηνείας της να προχωρήσει. Υπό αυτήν την έννοια ο Αραγεώργης λέει ότι «η αποσαφήνιση των εννοιολογικών θεμελίων των σύγχρονων φυσικών θεωριών πρέπει να επικουρείται από την *τυπική οντολογία*, από τη φιλοσοφική δηλαδή σπουδή των διάφορων αντικειμένων ανάλογα με τον τύπο στον οποίο ανήκουν (πράγμα, ιδιότητα, συμβάν, διαδικασία, γεγονός, σχέση σύστημα, κ.ο.κ.)» και προσθέτει ότι «η σύγχρονη φιλοσοφία της φυσικής συνδέεται, σε τελική ανάλυση, με έναν από τους κλάδους σπουδής που ο Αριστοτέλης ονόμασε *σοφία* ή *πρώτη φιλοσοφία* και διέκρινε από τις επιμέρους επιστήμες χαρακτηρίζοντάς την ως την επιστήμη που διερευνά «τὸ ὄν ἢ ὄν καὶ τὰ τούτῳ ὑπάρχοντα καθ' αὐτό»²»³.

¹ Αραγεώργης, Α. (2005), σελ. 129

² Αριστοτέλους *Μετά τα Φυσικά*, Βιβλίο Γ 1, 1003a

³ Αραγεώργης, Α. (2005), p130

Η σχέση της φυσικής με τη μεταφυσική ήταν πάντα μια σχέση αλληλεπίδρασης. Ο βαθμός όμως αλληλεπίδρασης εκδηλώθηκε σε όλη του την έκταση όταν από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα νέες θεωρίες, ανατρεπτικές για τα μέχρι τότε δεδομένα, ήρθαν στο φως, προκαλώντας έντονη αμηχανία σε φυσικούς και φιλοσόφους. Οι σύγχρονες φυσικές θεωρίες επανέφεραν στο προσκήνιο παλιές συζητήσεις γύρω από θεμελιώδεις έννοιες. Το τι είναι χρόνος και χώρος και το τι και πώς υπάρχει στο χώρο και στο χρόνο γίνονται εκ νέου ζητήματα φιλοσοφικού στοχασμού, απαραίτητου για να καταλάβουμε αυτό που οι σύγχρονες φυσικές θεωρίες μας λένε για τον κόσμο. Τα επιστημονικά επιτεύγματα δημιουργούν νέα δεδομένα, τα οποία ανατροφοδοτούν συζητήσεις γύρω από ώριμα φιλοσοφικά ερωτήματα, τα οποία ζητούν πλέον νέες προσεγγίσεις. Οι εξελίξεις αυτές για τον Tim Maudlin αποδεικνύουν ότι η σχέση μεταφυσικής και φυσικής δεν είναι αμφίδρομη και ότι το εννοιολογικό οπλοστάσιο της αναλυτικής μεταφυσικής οφείλει να προσαρμόζεται σύμφωνα με τις καλύτερες φυσικές θεωρίες. Για τον Maudlin «στον βαθμό που η μεταφυσική ενδιαφέρεται για τον φυσικό κόσμο θα πρέπει να μελετήσει τη φυσική, εφόσον οι φυσικές θεωρίες μας εφοδιάζουν με τα πλέον κατάλληλα εργαλεία αναζήτησης του όντος και κύριο καθήκον των φιλοσόφων είναι η ερμηνεία και η αποσαφήνιση αυτών των θεωριών. Συγκεκριμένα όταν κάποιος επιλέγει τις θεμελιώδεις θέσεις της οντολογίας του, θα πρέπει να στραφεί περισσότερο προς την επιστημονική πρακτική παρά προς τις φιλοσοφικές προκαταλήψεις»⁴. Ανάλογα ο Quine μας προτρέπει να δεχθούμε ότι για τους φιλοσόφους δεν υπάρχει ένα αρχιμήδειο σημείο θέασης του τι υπάρχει. Η φιλοσοφία δεν μπορεί παρά να παρακολουθεί τις επιστημονικές εξελίξεις κι αν, λέει ο Quine επικαλούμενος την περίφημη μεταφορά του Otto Neurath, η επιστήμη είναι ένα πλοίο που αν αποφασίσουμε να το ξανακατασκευάσουμε θα πρέπει να το κάνουμε ενώ είναι εν πλω, ο φιλόσοφος που προσπαθεί να βελτιώσει, να διασαφηνίσει και να κατανοήσει το επιστημονικό εγχείρημα είναι ένας πολυάσχολος ναύτης πελαγωμένος στο πλοίο του Neurath.⁵

Ωστόσο, παρόλο που η οντολογική ερμηνεία των φυσικών θεωριών δεν πρέπει να γίνεται και δεν γίνεται μέσα σε ένα προκαθορισμένο μεταφυσικό πλαίσιο είναι λάθος να πιστεύουμε ότι οι θεωρίες καθορίζουν οι ίδιες το μεταφυσικό πλαίσιο της ερμηνείας τους. Η ιστορία μας διδάσκει ότι οι φυσικές θεωρίες επιδέχονται συνήθως διαφορετικές και πολλές φορές ασύμβατες μεταξύ τους οντολογικές ερμηνείες και τότε οι φιλόσοφοι καλούνται να επιλέξουν μεταξύ αυτών με κριτήρια που βρίσκονται πέρα από τα όρια των εμπειρικών επιστημών. Έτσι η θεωρία της σχετικότητας δεν βάζει τέλος στη παλιά διαμάχη μεταξύ υποστασιοκρατών και σχεσιοκρατών γύρω από τη φύση του χώρου και του χρόνου υπέρ της μιας ή της άλλης πλευράς, ενώ οι κβαντικές θεωρίες προκαλούν αντεγκλήσεις γύρω από το οντολογικό στάτους των κβαντικών

⁴ Maudlin, T., (2007), p1

⁵ Quine, W.V., (1981), p72

σωματιδίων. Απόψεις που θέλουν τα κβαντικά σωματίδια να είναι *άτομα* (individuals) ή *οχι-άτομα* (non-individuals) ή *relationals* και απόψεις που θέλουν τα κβαντικά σωματίδια να μην είναι σε τελική ανάλυση *αντικείμενα* (objects) συνδιαλέγονται μεταξύ τους και μεταφυσικά προγράμματα υπέρ αυτών των απόψεων είναι ενεργά στις μέρες μας.

Η παρούσα εργασία καταπιάνεται με τις απόψεις αυτές, με σκοπό να δείξει ότι τα κβαντικά σωματίδια μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα. Το πλαίσιο της έρευνας που διενεργείται τίθεται στη βάση δύο παραδοχών, που δεν υπαγορεύονται από τις φυσικές θεωρίες. Η πρώτη είναι οντολογική και αφορά την ύπαρξη των αντικειμένων. Δεχόμαστε ότι στον κόσμο υπάρχουν αντικείμενα επειδή θεωρούμε ότι οι ιδιότητες που τον χαρακτηρίζουν φέρονται από *κάτι* και ότι οι ποιοτικές μεταβολές που παρατηρούμε γύρω μας είναι μεταβολές που υφίστανται οι φορείς των ιδιοτήτων. Έτσι τα αντικείμενα εισάγονται πρωτίστως ως οντότητες που φέρουν τις ιδιότητες του κόσμου και σκοπός της μεταφυσικής είναι να προσδώσει σε αυτές χαρακτηριστικά που να τις καθιστούν κατάλληλες γι' αυτό τον ρόλο. Η δεύτερη παραδοχή διατυπώνεται στο πεδίο της σημασιολογίας και αφορά το αίτημα της καθολικότητας των εννοιών. Οι έννοιες, μέσω των οποίων επιχειρούμε να συλλάβουμε και να κατανοήσουμε τον κόσμο, θα πρέπει να βρίσκουν καθολική εφαρμογή σε κάθε πτυχή της πραγματικότητας. Το αίτημα αυτό γίνεται αρκετά ξεκάθαρο όταν πρόκειται για έννοιες που η γενικότητά τους αγγίζει τη γενικότητα της έννοιας του αντικειμένου. Έτσι, αν τα κβαντικά σωματίδια ανταποκρίνονται στον ρόλο του φορέα ιδιοτήτων και άρα μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα, τότε χρειαζόμαστε μια έννοια αντικειμένου που να εφαρμόζεται σε κάθε πτυχή της πραγματικότητας, από τον μικρόκοσμο μέχρι τον μακρόκοσμο και ανεξάρτητα, από τις φυσικές θεωρίες που προκρίνονται κάθε φορά.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο τον τελικό λόγο δείχνει να τον έχει η φιλοσοφία! Ο επαναπροσδιορισμός της έννοιας του αντικειμένου ανήκει στην αρμοδιότητά της, διότι αυτή θέτει τους αναγκαίους περιορισμούς ώστε κάθε εννοιολογική αλλαγή να αφήνει ανέπαφο τον πυρήνα του νοήματος της έννοιας και να μην οδηγεί στον εκφυλισμό της.

Η ιδέα για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας γεννήθηκε κατά κάποιο τρόπο ως φυσική συνέπεια της φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα «Ιστορία και Φιλοσοφία της Επιστήμης και της Τεχνολογίας»^{*} όπου έγινα δεκτός το 2005. Δεν είναι υπερβολή να πω ότι η φοίτησή μου στο εν λόγω πρόγραμμα ήταν μια συναρπαστική εμπειρία. Για την εμπειρία αυτή οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους δασκάλους μου, αφ' ενός γιατί μου μετέδωσαν τον ενθουσιασμό και την αγάπη τους για τη φιλοσοφία, αφετέρου γιατί μου έμαθαν ότι η φιλοσοφία

^{*} Το πρόγραμμα παρείχαν η σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του ΕΜΠ και το τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης του ΕΚΠΑ

είναι πρωτίστως ένας τρόπος σκέψης, ένας τρόπος να αξιολογούμε και να εκφέρουμε απόψεις και να συνδιαλεγόμαστε πάνω σε αυτές, χωρίς να έχει ιδιαίτερη σημασία το ειδικό περιεχόμενό τους. Τους Αριστείδη Μπαλτά, Κώστα Γαβρόγλου και Θεόδωρο Αραμπατζή τους γνώρισα πριν αρχίσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές. Η γοητεία που άσκησε πάνω μου η διδασκαλία τους καθόρισε σε μεγάλο βαθμό και την απόφασή μου να διεκδικήσω μια θέση στο πρόγραμμα. Η αναλυτική σκέψη και η οξύνοια του Γιάννη Στεφάνου από τη μια μεριά και ο ενθουσιασμός και η ευρυμάθεια του Στέλιου Βιρβιδάκη από την άλλη, με οδήγησαν στα μονοπάτια της μοντέρνας φιλοσοφίας όπου αντιλήφθηκα ότι η ιστορία της φιλοσοφίας και η ίδια η φιλοσοφία είναι στην πραγματικότητα οι δύο όψεις του ίδιου νομίσματος και ότι τα μεγάλα φιλοσοφικά ερωτήματα παραμένουν πάντα ερωτήματα και πάντα επίκαιρα. Στις διαλέξεις του Βασίλη Καρακώστα είχα την πρώτη μου επαφή με τη φιλοσοφία της φυσικής, όπου και επέλεξα να εκπονήσω τη διδακτορική μου διατριβή. Η Βάσω Κιντή ήταν τέλος αυτή που με ενθάρρυνε να ξεκινήσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές και πάντα διαθέσιμη «επιμελήθηκε» τις πρωτόλειες φιλοσοφικές εργασίες μου.

Στη διαδρομή μου αυτή είχα επίσης την τύχη να συναντήσω και να συναναστραφώ με ανθρώπους με τους οποίους με συνδέουν πλέον δεσμοί φιλίας. Με τον Παναγιώτη και τη Δώρα, που δεν είναι πια μαζί μας, τον Φίλιππο και τον Νίκο, τη Μαρία και τη Δήμητρα, τον Βασίλη και τον άλλο Βασίλη, ήμασταν οι «συνήθεις ύποπτοι», η αίθουσα «Γκουνταρούλη» ήταν ο τόπος και το σεμινάριο του Στάθη Ψύλλου ήταν ο λόγος της συνάντησής μας.

Η μαθητεία μου δίπλα στον Στάθη Ψύλλο σηματοδότησε τη σχέση μου με τη φιλοσοφία. Βαθύς γνώστης ο ίδιος της φιλοσοφίας της επιστήμης και της μεταφυσικής, με διεθνή συμβολή και αναγνώριση, συστηματικά αποφεύγει την από καθέδρας διδασκαλία προς χάριν ενός διαλόγου που στηρίζεται σε επιχειρήματα. Ο σεβασμός στην αντίθετη άποψη είναι στοιχείο της διδασκαλίας του Ψύλλου. Ο τρόπος με τον οποίο ο ίδιος παρουσιάζει και αναλύει φιλοσοφικές απόψεις δείχνει στους φοιτητές του ότι η οποιαδήποτε κριτική στην αντίθετη άποψη, για να είναι εμπεριστατωμένη, προϋποθέτει τη βαθιά κατανόησή της, την οποία πρέπει να επιχειρούμε χωρίς προκαταλήψεις και δογματισμούς. Έτσι ο Ψύλλος δεν διδάσκει απλά φιλοσοφία· διδάσκει «το φιλοσοφείν» ως μέσο ανάλυσης και σύνθεσης απόψεων. Θεωρώ ότι αυτό ακριβώς είναι σημαντικός λόγος να στραφεί κάποιος προς τη φιλοσοφική μελέτη και έρευνα.

Στον Στάθη Ψύλλο οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ όχι μόνο γιατί επέβλεψε τη διατριβή μου, αλλά κυρίως γιατί με ενθάρρυνε να την ξεκινήσω και γιατί ο ίδιος πίστευε, περισσότερο ίσως από μένα, ότι μπορώ να την ολοκληρώσω. Ευχαριστώ επίσης τα έτερα δύο μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής· τον Δημήτρη Πορτίδη για τη γενικότερη στήριξή του αλλά και για τις καίριες παρατηρήσεις του, χάρη στις οποίες αποσαφηνίστηκαν απόψεις, προτάθηκαν

επιχειρήματα και βελτιώθηκε η δομή του κειμένου· τον Κώστα Δημητρακόπουλο που είχε την ευγένεια να δεχθεί να γίνει μέλος της συμβουλευτικής επιτροπής όταν η διατριβή είχε σχεδόν ολοκληρωθεί.

Οφείλω τώρα μια αναφορά σεβασμού και ευγνωμοσύνης στη μνήμη του εκλιπόντος δασκάλου μου Αριστείδη Αραγεώργη. Ο Άρις ήταν σπουδαίος φιλόσοφος και υπέροχος άνθρωπος. Οι σύγχρονες φυσικές θεωρίες και οι μεταφυσικές τους προκλήσεις βρέθηκαν εξ αρχής στο επίκεντρο των φιλοσοφικών του αναζητήσεων. Ο ίδιος αντιμετώπιζε την οντολογική ερμηνεία μιας φυσικής θεωρίας ως ένα πολυσχιδές εγχείρημα που για να προχωρήσει απαιτεί σαφή και καθαρά ερωτήματα, τα οποία με τη σειρά τους προϋποθέτουν τόσο τη μέγιστη δυνατή αποκωδικοποίηση του φορμαλισμού της, όσο και τη διερεύνηση των καινοτομιών που τη χαρακτηρίζουν. Ο Άρις ήταν σεμνός από τη φύση του και λόγω αυτής της σεμνότητας επεδίωκε και κατάφερνε πάντα να γίνεται ουσιαστικός χωρίς να θέτει μαξιμαλιστικούς φιλοσοφικούς στόχους. Με τη στάση του δίδαξε ότι η πρόοδος στη φιλοσοφία και στην επιστήμη δεν ακολουθούν τους ίδιους ρυθμούς και ότι μια επιστημονική αλλαγή ενσωματώνεται στο σώμα της φυσικής επιστήμης πολύ πιο εύκολα από ότι οι μεταφυσικές της συνέπειες διαμορφώνουν την κρατούσα φιλοσοφική προσέγγιση.

Η συνεργασία μου με τον Αρι κατά την εκπόνηση τόσο της διπλωματικής όσο και της διδακτορικής διατριβής ήταν από τις πλέον πλούσιες και δημιουργικές στιγμές μου και αισθάνομαι τυχερή που είχα αυτή την εμπειρία. Ο χαμός του είναι μια μεγάλη απώλεια όχι μόνο για την ελληνική αλλά και για τη διεθνή φιλοσοφική κοινότητα.

Αθήνα 2020

Η Αρχή του Κυματοσωματιδιακού Δυϊσμού και οι Μεταφυσικές της Προκλήσεις

1.1 Η ανατροπή της κλασικής διάκρισης σωματίδιο/κύμα

Το ερώτημα «τι είναι αντικείμενο;» είναι ένα πολύ παλιό φιλοσοφικό ερώτημα που απασχολεί τη φιλοσοφία σχεδόν από τη γέννησή της. Από τις αρχές όμως του 20^{ου} αιώνα και μέχρι σήμερα αποκτά ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξ αιτίας σημαντικών αλλαγών που συνέβησαν στο πεδίο της φυσικής επιστήμης. Η έλευση της κβαντικής φυσικής δημιούργησε ένα νέο πλαίσιο κατανόησης της πραγματικότητας και μέσα στο πλαίσιο αυτό η έννοια «αντικείμενο» έρχεται αντιμέτωπη με μια σειρά από προκλήσεις. Τα υποατομικά σωματίδια⁶ τα οποία αποτελούν συστατικά της συνηθισμένης ύλης και θεωρούνται οι πλέον κατάλληλες οντότητες υποψήφιος για τον ρόλο των αντικειμένων του μικρόκοσμου, συμπεριφέρονται με τρόπο που αναιρεί μια θεμελιώδη οντολογική διάκριση, κυρίαρχη στην κλασική φυσική, τη διάκριση μεταξύ σωματιδίου και κύματος. Στη κλασική φυσική ένα σωματίδιο είναι μια *εντοπισμένη οντότητα, η οποία κινείται στο χώρο πάνω σε καλά καθορισμένες τροχιές*, ενώ αντίθετα κύμα είναι η διάδοση μιας φυσικής διαταραχής, δηλαδή *μια οντότητα που εκτείνεται στο χώρο*. Συνεπώς εντός του κλασικού πλαισίου οι έννοιες «σωματίδιο» και «κύμα» είναι ασύμβατες μεταξύ τους και η διχοτόμηση του κόσμου σε σωματίδια και κύματα φαίνεται να είναι λογικά επιβεβλημένη. Η αναίρεση της εν λόγω διάκρισης, η οποία σταδιακά συντελέστηκε μέσα στο πρώτο τέταρτο του 20^{ου} αιώνα, σηματοδότησε το πέρασμα από την κλασική στην κβαντική φυσική. Κατά την περίοδο αυτή οι φυσικοί έρχονται αντιμέτωποι με μια σειρά φαινομένων που η εξήγησή τους απαιτεί εκ μέρους τους ρηξικέλευθες υποθέσεις, οι οποίες συγκρούονται με τον απόλυτο χαρακτήρα της διάκρισης σωματίδιο/κύμα και οδηγούν στην εδραίωση της *αρχής του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού* (wave/particle duality). Φαινόμενα όπως η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και το φαινόμενο Compton, αποδεικνύουν ότι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα όταν αλληλεπιδρά με την ύλη εκδηλώνει σωματιδιακά χαρακτηριστικά. Από την άλλη μεριά φαινόμενα συμβολής και περίθλασης ηλεκτρονίων, τα οποία καταγράφονται και μελετώνται πειραματικά, επιβεβαιώνουν την υπόθεση του de Broglie,

⁶ Αν και η έκφραση «υποατομικά σωματίδια» μας παραπέμπει εύλογα στα συστατικά των ατόμων θα τη χρησιμοποιούμε για να αναφερόμαστε σε όλα τα κβαντικά σωματίδια που συγκαταλέγονται στα συστατικά της ύλης. Έτσι εκτός από τα κουάρκ και τα λεπτόνια που είναι στοιχειώδη σωματίδια, υποατομικά σωματίδια θα ονομάζουμε όλα τα σύνθετα σωματίδια που συγκροτούνται από κουάρκ μέσω της ισχυρής δύναμης όπως τα πρωτόνια και τα νετρόνια που είναι συστατικά των ατόμων, αλλά και όλα τα είδη των μεσονίων τα οποία συγκροτούνται από κατάλληλους συνδυασμούς ενός κουάρκ και ενός αντικουάρκ, όπως είναι για παράδειγμα τα πιόνια.

η οποία θέλει τα υποατομικά σωματίδια να φέρουν και κυματικές ιδιότητες.⁷

Ένας εύσημος τρόπος να περιγράψουμε και ποσοτικά τον δυϊσμό σωματίδιο/κύμα είναι να επικαλεσθούμε τις σχέσεις:

$$A. E=hf \quad \text{και} \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

Η ισοδύναμη:

$$B. f = \frac{E}{h} \quad \text{και} \quad \lambda = \frac{h}{p}$$

Η ανάγνωση των παραπάνω σχέσεων με τη μορφή A μας λέει ότι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας f και μήκους κύματος λ συμπεριφέρεται και ως ένα «ρεύμα σωματιδίων» που το καθένα έχει ενέργεια E και ορμή p . Αντίστοιχα θα λέγαμε ότι οι παραπάνω σχέσεις με τη μορφή B μας λένε ότι ένα σωματίδιο ενέργειας E και ορμής p συμπεριφέρεται και ως κύμα συχνότητας f και μήκους κύματος λ .⁸

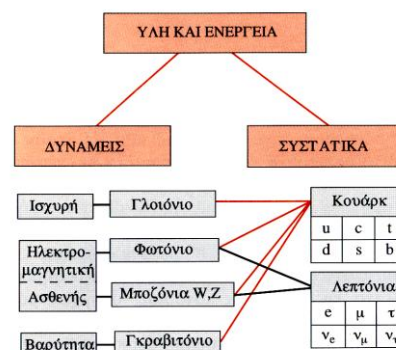
Θα πρέπει ωστόσο να επισημάνουμε ότι η αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού δεν συνεπάγεται την εξομοίωση των οντοτήτων που διέπονται από αυτή. Θα λέγαμε μάλλον ότι υπό την αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού, τα ηλεκτρόνια δεν είναι κλασικώς νοούμενα σωματίδια, διότι παρόλο που ανιχνεύονται ως σωματίδια, υπό ορισμένες συνθήκες φαίνεται να «διαδίδονται» ως κύματα και να παράγουν κυματικά φαινόμενα όπως συμβαίνει στο πείραμα της διπλής σχισμής. Θα λέγαμε επίσης ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν είναι κλασικώς νοούμενα κύματα. Παρά το πλήθος των κυματικών φαινομένων που επιβεβαιώνουν την κυματική του φύση, άλλα φαινόμενα, όπως το φωτοηλεκτρικό, δείχνουν ότι η ενέργεια που μεταφέρει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα απορροφάται και εκπέμπεται από την ύλη με τρόπο ασυνεχή. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην υπόθεση των φωτονίων, σύμφωνα με την οποία τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αποτελούνται από φωτόνια που μεταφέρουν ενέργεια και ορμή.

Έτσι παρά το γεγονός ότι η συμπεριφορά τους συγκλίνει σε κάτι κοινό, τα ηλεκτρόνια και τα φωτόνια εξακολουθούν να ανήκουν σε διαφορετικές οντολογικές κατηγορίες, με διαφορετική συμπεριφορά και διακριτούς ρόλους, οι οποίοι παραπέμπουν στη διάκριση που συνήθως γίνεται μεταξύ αλληλεπιδρώντων μερών και των αλληλεπιδράσεών τους. Η διάκριση αυτή αποτυπώνεται με σαφήνεια στη σχηματική αναπαράσταση (Σχ. 1.1) του *Καθιερωμένου Μοντέλου* (Standard Model), της καλύτερης θεωρίας που διαθέτουμε στη φυσική των στοιχειωδών

⁷ Η πρώτη καταγραφή φαινομένων συμβολής μιας δέσμης ηλεκτρονίων γίνεται το 1927 με το πείραμα των Davisson και Germer. Στη συνέχεια το πείραμα της διπλής σχισμής που αρχικά πραγματοποιήθηκε το 1801 από τον Thomas Young για να επιβεβαιώσει την κυματική φύση του φωτός επαναλαμβάνεται με δέσμη ηλεκτρονίων από τον Claus Jonsson το 1961 και αργότερα από τον Akira Tonomura το 1989. Το πείραμα επιβεβαίωσε την κυματική φύση των ηλεκτρονίων την οποία υπέθεσε ο de Broglie το 1923.

⁸ Στην αδραίωσή της αρχής του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού αναφέρονται τα δύο πρώτα κεφάλαια του εγχειριδίου *Κβαντομηχανική I* του Στέφανου Τραχανά. [Τραχανάς, Σ. (2005), σελ. 3-101]

σωματιδίων. Εκεί βλέπουμε ότι τα στοιχειώδη σωματίδια που απαντώνται στη φύση διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η μια είναι η κατηγορία των σωματιδίων, τα οποία αποτελούν τα συστατικά της ύλης και η άλλη είναι η κατηγορία των σωματιδίων πεδίου που είναι οι φορείς των τεσσάρων θεμελιωδών δυνάμεων που υπάρχουν στη φύση. Στο ίδιο επίσης σχήμα βλέπουμε ότι τα ηλεκτρόνια ανήκουν στα συστατικά της ύλης και ειδικότερα στην κατηγορία των λεπτονίων και ότι συμμετέχουν στις ηλεκτρομαγνητικές και ασθενείς αλληλεπιδράσεις, οι οποίες συντελούνται μέσω φωτονίων ή σωματιδίων $W^\pm$ και Z αντίστοιχα, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των σωματιδίων πεδίου.



Σχ.1. 1 Το καθιερωμένο μοντέλο της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων

1.2 Η έννοια του αντικειμένου έρχεται αντιμέτωπη με τα νέα δεδομένα που δημιουργεί η αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού

Η αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού θέτει εύλογα σε δοκιμασία τις αντιλήψεις μας περί αντικειμένων και ανοίγει τη συζήτηση όχι μόνο γύρω από την ένταση αλλά και την έκταση της έννοιας. Η κλασική ιδέα ότι ένα αντικείμενο σε οποιοδήποτε συνθήκες βρίσκεται κάθε χρονική στιγμή σε μια ορισμένη θέση και κινείται πάνω σε καλά καθορισμένες τροχιές δεν συνάδει με τις κυματικές ιδιότητες των υποατομικών σωματιδίων. Η ανίχνευση και ο εντοπισμός των υποατομικών σωματιδίων γίνεται μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες, οι οποίες μάλιστα διαμορφώνονται γι αυτόν τον σκοπό. Έξω όμως από τις συνθήκες ανίχνευσης και εντοπισμού τα υποατομικά σωματίδια, σύμφωνα με την καθιερωμένη ερμηνεία της κβαντικής θεωρίας, υπάρχουν ως κύματα πιθανότητας, των οποίων η μαθηματική αναπαράσταση είναι μια κυματική ως προς τη δομή της συνάρτηση, το τετράγωνο της οποίας δίνει την πυκνότητα της πιθανότητας (την πιθανότητα ανά μονάδα όγκου), το σωματίδιο να ανιχνευθεί σε μια περιοχή του χώρου. Από την άλλη μεριά ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που η κλασική φυσική περιγράφει ως μια ενιαία και συνεχή ολότητα που εκτείνεται στο χώρο, αποδεικνύεται ότι αποτελείται από ένα αριθμήσιμο πλήθος φωτονίων, τα οποία μπορούν να απορροφώνται ή να εκπέμπονται από την ύλη μόνο ως αδιαίρετες μονάδες. Τα φωτόνια, όπως και όλα τα σωματίδια πεδίου του Καθιερωμένου Μοντέλου είναι αριθμήσιμες οντότητες με καλά καθορισμένες εγγενείς ιδιότητες και άρα διαθέτουν χαρακτηριστικά που παραδοσιακά συμπεριλαμβάνονται στα θεμελιώδη γνωρίσματα των αντικειμένων.

Είναι λοιπόν φανερό ότι, αν και εφόσον οι υποατομικές οντότητες εξακολουθούν να

θεωρούνται αντικείμενα, θα πρέπει η έννοια του αντικειμένου να επαναπροσδιορισθεί υπό το φως των νέων δεδομένων που δημιουργεί η κβαντική φυσική. Θα πρέπει επίσης να εξετασθεί αν μια αναθεωρημένη έννοια αντικειμένου είναι κατάλληλη ώστε να συμπεριλάβει στην έκτασή της εκτός από τα υποατομικά σωματίδια και τα σωματίδια πεδίου. Ήδη οι δύο αυτές ξεχωριστές οντολογικές κατηγορίες εμφανίζουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά που επιτρέπουν στους φυσικούς να αναφέρονται σε αυτές με το κοινό όρο «σωματίδια».

Ωστόσο ο επαναπροσδιορισμός της έννοιας του αντικειμένου δεν μπορεί να αφορά μόνο το πεδίο της φυσικής. Στη φιλοσοφία οι έννοιες δεν είναι *à la carte* και οι εννοιολογικές αλλαγές, κυρίως όταν αυτές αφορούν έννοιες που η γενικότητά τους συγκρίνεται με τη γενικότητα της έννοιας του αντικειμένου, οφείλουν να εντάσσονται στο γενικότερο εννοιολογικό πλαίσιο του πολιτισμού μας και να εφαρμόζονται χωρίς αμφισημίες, πολύ δε περισσότερο χωρίς αντιφάσεις, σε κάθε επίπεδο ή πεδίο της πραγματικότητας. Με τον επαναπροσδιορισμό της έννοιας του αντικειμένου δεν επιδιώκουμε να ορίσουμε τι είναι αντικείμενο στην κβαντική φυσική ή στη φυσική γενικότερα αλλά να επανεξετάσουμε το περιεχόμενο της έννοιας, να το αναλύσουμε και να δούμε αν και πώς αυτή εφαρμόζεται στα σωματίδια της κβαντικής φυσικής.

Μιλώντας γι αυτό το θέμα η Sunny Auyang τονίζει ότι ο επαναπροσδιορισμός της έννοιας του αντικειμένου δεν μπορεί να γίνει πέρα και έξω από την εμπειρία της καθημερινής μας επαφής με τον κόσμο. Επικαλείται τον Immanuel Kant, ο οποίος αναφέρεται στην έννοια του αντικειμένου ως την πλέον βασική προϋπόθεση κάθε εμπειρικής γνώσης για να πει ότι:

«Οι προϋποθέσεις της γνώσης δεν είναι εικασίες που εκφέρονται από τις έδρες των φιλοσόφων. Είναι ήδη ενσωματωμένες σε όλες τις εμπειρίες μας, ακόμα και στις πιο συνηθισμένες, ειδικά στις πιο συνηθισμένες, και ανήκει σε μια από τις πιο τετριμμένες δραστηριότητές μας να αναγνωρίζουμε αντικείμενα. Οι γενικές έννοιες όπως αντικείμενα και ιδιότητες είναι αυτές που σιωπηλά κατανοούμε και αυτόματα χρησιμοποιούμε καθώς καθημερινά αντιμετωπίζουμε τον κόσμο. Αυτές κάνουν καταρχήν τον κόσμο κατανοητό, και βρίσκονται βαθιά στη λογική δομή του καθημερινού τρόπου σκέψης και της συνηθισμένης γλώσσας»⁹

Βέβαια αν τα κβαντικά σωματίδια είναι αντικείμενα, τότε σίγουρα δεν μοιάζουν με τα οικεία καθημερινά πράγματα ούτε βέβαια με τα αντικείμενα της κλασικής φυσικής, τα οποία θεωρούμε ότι αποτελούν εξιδανικεύσεις των καθημερινών πραγμάτων. Γι αυτό η εφαρμογή της έννοιας του αντικειμένου στον κβαντικό κόσμο, αν είναι δυνατή, δεν μπορεί να γίνει με τους ίδιους όρους. Είναι απαραίτητο, λέει η Auyang:

«...να αφαιρέσουμε τα υποστασιοποιημένα χαρακτηριστικά των οικείων πραγμάτων, να ανακαλύψουμε τις καθαρές λογικές μορφές, μέσω των οποίων αναγνωρίζουμε αντικείμενα και να

⁹ Auyang, S. (1995), p6

δείξουμε με ποιο τρόπο οι μορφές αυτές πληρούνται στις κβαντικές θεωρίες».¹⁰

Όμως το όλο εγχείρημα, λέει η Auyang, περιπλέκεται εξ αιτίας του πλούτου, της ασάφειας και της ρευστότητας που χαρακτηρίζουν τον καθημερινό τρόπο σκέψης και η φιλοσοφία δεν θα μπορούσε να ανταποκριθεί σε ένα τέτοιο καθήκον χωρίς τη συμβολή της κβαντικής θεωρίας· ειδικά δε αυτής, επειδή είναι η θεωρία που κοντράρεται με αντιλήψεις περί αντικειμένων παγιωμένες στη συνείδηση του κοινού ανθρώπου. Προς το σκοπό αυτό το ίδιο χρήσιμη δεν θα μπορούσε να είναι η νευτώνεια μηχανική. Τα κλασικά αντικείμενα μοιάζουν με τα αντικείμενα που καθημερινά χειριζόμαστε με αποτέλεσμα η νευτώνεια μηχανική να υποστηρίζει αυτό που ο κοινός νους αντιλαμβάνεται ως αντικείμενο και καμία ανάγκη για περαιτέρω ανάλυση δεν προκύπτει.

Η διερεύνηση όμως του κβαντικού κόσμου μας φέρνει αντιμέτωπους με «περίεργες» συμπεριφορές που δεν συναντάμε στον μακρόκοσμο και προκαλούν αμηχανία σε φυσικούς και φιλοσόφους. Στις συνθήκες αυτές είναι φυσικό να ενισχύονται οι αντιρρεαλιστικές τάσεις απέναντι στις φυσικές θεωρίες και δεν είναι λίγοι οι ερμηνευτές που έχουν υποστηρίξει ότι οι κβαντικές θεωρίες δεν είναι παρά ένας μηχανισμός που μας βοηθά να προβλέψουμε τη συμπεριφορά κλασικών πειραματικών διατάξεων όταν αυτές έρχονται αντιμέτωπες με τον *μη* παρατηρήσιμο κόσμο.¹¹ Η επιστροφή στον ρεαλισμό προϋποθέτει το ξεπέρασμα της αμηχανίας και την ικανοποίηση του αιτήματος της κατανόησης όπου το «περίεργο» γίνεται απλώς «διαφορετικό». Όμως αυτό δεν μπορεί να συμβεί με τον εξοβελισμό του κοινού νου προς χάριν των φυσικών θεωριών. Οι φυσικές θεωρίες λέει ο Howard Sankey¹² πηγαίνουν πέρα από τον κοινό νου με σκοπό μάλλον την εξήγηση παρά την απόρριψή του, για να προσθέσει ότι ο κοινός νους είναι η βάση πάνω στην οποία στηρίζεται ο επιστημονικός ρεαλισμός. Ο κοινός νους διαμορφώνει μια εικόνα για τα αντικείμενα της καθημερινής εμπειρίας, η οποία στην περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων συγκρούεται με αυτό που ορίζει η κβαντική θεωρία. Με αυτό το δεδομένο σκοπός τόσο της ίδιας της θεωρίας όσο και της φιλοσοφίας που ασχολείται με την ερμηνεία της είναι να εξηγήσει *γιατί* και *πώς* τα αντικείμενα του κοινού νου διαφέρουν από τα ηλεκτρόνια και τα κουάρκ του υποατομικού κόσμου. Μόνο τότε υπηρετούμε γνήσια το αίτημα της κατανόησης της κβαντικής θεωρίας, χωρίς δηλαδή να αποκλίνουμε από το «δόγμα» του ρεαλισμού. Ο κοινός νους προσφέρει τη βάση πάνω στην οποία αναδεικνύεται και αξιολογείται

¹⁰ Auyang, S. (1995), p5

¹¹ Στην πραγματικότητα οι αντιρρεαλιστικές τάσεις είναι η μια μορφή αντίδρασης απέναντι στη νέα θεωρία που πρώτα εκδηλώθηκε από φυσικούς όπως ο Niels Bohr και ο Werner Heisenberg οι οποίοι ανήκουν στους μεγάλους πρωταγωνιστές της εδραίωσής της. Μια άλλη μορφή αντίδρασης είναι η αμφισβήτησή της πληρότητας της θεωρίας η οποία έντονα εκφράστηκε από τον Albert Einstein και σηματοδότησε την έναρξη ενός μεγάλου ερευνητικού προγράμματος γνωστού ως η *θεωρία των κρυμμένων μεταβλητών* (hidden variable theory) στο οποίο πρωτοστάτησε ο David Bohm.

¹² Sankey, H., (2014), pp11-24

το «διαφορετικό» και γι αυτό τον λόγο η Sunny Auyang έχει επιμείνει στο σημαίνοντα ρόλο του κοινού νου και στην ανάλυση και εκλέπτυνση του καθημερινού τρόπου σκέψης:

«αν οι κβαντικές θεωρίες παρέχουν αντικειμενική γνώση, τότε έχουν διυλίσει τον πυρήνα της εννοιολογικής δομής του κοινού νου, τον έχουν μορφοποιήσει αυστηρότερα, τον έχουν ενσωματώσει και τον έχουν βάλει να εργασθεί ώστε να ξεπερασθεί το ανοίκειο των θεμάτων τους»¹³

Ζητούμενο στη διαδικασία αυτή είναι να αναδειχθούν στην πιο καθαρή τους μορφή οι γενικές έννοιες, μέσα από τις οποίες η ανθρώπινη νόηση συλλαμβάνει την πραγματικότητα. Ο επαναπροσδιορισμός της έννοιας του αντικειμένου εντάσσεται σε αυτή τη διαδικασία και σκοπός μας είναι καταρχήν να προχωρήσουμε στην «ανάλυση και εκλέπτυνση» του τρόπου με τον οποίο συνήθως αναγνωρίζουμε αντικείμενα και να διακρίνουμε τις έννοιες που εμπλέκονται στη διαδικασία αυτή. Με τον τρόπο αυτό θα καταφέρουμε να αναδείξουμε τις διαφορές και τους περιορισμούς που συναντά κάποιος όταν επιχειρεί να εφαρμόσει τις ίδιες έννοιες στον κβαντικό κόσμο.

1.3. Αναγνωρίζοντας αντικείμενα: κριτήρια και προϋποθέσεις

Αυτό που άμεσα αντιλαμβανόμαστε όταν εκφέρουμε την κρίση «αυτό είναι ένα αντικείμενο» είναι η *διαρκής παρουσία* μιας οντότητας, η οποία χαρακτηρίζεται από *εσωτερική ενότητα* και εμφανίζεται ως *φορέας ιδιοτήτων*. Η εσωτερική ενότητα που αναγνωρίζουμε στα αντικείμενα είναι αυτή που στην πραγματικότητα μας επιτρέπει να αντιλαμβανόμαστε ένα σύνολο ιδιοτήτων ως ιδιότητες που ανήκουν στην ίδια οντότητα, την οποία εν συνεχεία κατηγοριοποιούμε ως αντικείμενο. Άμεση συνέπεια των αρχικών αυτών χαρακτηριστικών είναι η *αριθμησιμότητα* (countability) που χαρακτηρίζει τις συλλογές αντικειμένων. Η αριθμησιμότητα εύλογα συγκαταλέγεται στα πλέον γενικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων και για τον Jonathan Lowe αποτελεί αναγκαία συνθήκη, αν και όχι από μόνη της ικανή, για να είναι κάτι αντικείμενο.¹⁴ Επιπλέον όμως ο Lowe θέτει έναν περιορισμό επισημαίνοντας ότι δεν είναι κάθε συλλογή τυχαία επιλεγμένων αντικειμένων αριθμήσιμη· η αριθμησιμότητα ως έννοια εκφράζει τη δυνατότητα αρίθμησης ενός πλήθους, η οποία δεν είναι πάντα δεδομένη, αλλά υπάρχει μόνο υπό προϋποθέσεις που εγγυώνται την αξιοπιστία της διαδικασίας· εγγυώνται δηλαδή ότι το ίδιο αντικείμενο θα μετρηθεί μόνο μια φορά.¹⁵ Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι λαμβάνουμε την εντολή να *αριθμήσουμε* (count) όλα τα αντικείμενα που υπάρχουν πάνω σε ένα τραπέζι. Είναι φανερό ότι μια τέτοια εντολή δεν είναι δυνατόν να εκτελεσθεί, όχι επειδή υπάρχουν πάρα πολλά αντικείμενα πάνω στο συγκεκριμένο τραπέζι, αλλά διότι η εντολή δεν έχει νόημα αν δεν

¹³ Auyang, S., (1995), p7

¹⁴ Lowe, E., J., (1998), p58

¹⁵ Lowe, E., J., (1998), p31

εξειδικευθούν τα *είδη* των αντικειμένων τα οποία καλούμαστε να αριθμήσουμε. Ο Lowe εξηγεί τους λόγους για τους οποίους θεωρεί αναγκαία μια τέτοια εξειδίκευση λέγοντας ότι κάποιος μπορεί να αριθμήσει τα μέλη μιας συλλογής όταν έχει τη δυνατότητα να *ταυτοποιεί* το είδος του κάθε μέλους της και να το *διαφοροποιεί* από όλα τα υπόλοιπα. Για να προβαίνει όμως σε τέτοιου είδους κρίσεις απαιτούνται κριτήρια, τα οποία όμως δεν είναι ίδια για όλα τα αντικείμενα και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν κριτήρια που θα εφάρμοζε κάποιος για να αριθμήσει αντικείμενα γενικά. Για τον λόγο αυτό το αίτημα της αρίθμησης των αντικειμένων έχει νόημα όταν τίθεται για συγκεκριμένο *είδος* (kind) αντικειμένων, δηλαδή αντικειμένων που ανήκουν στην έκταση μιας *ταξινομητικής έννοιας* (sortal concept), στην οποία αναφερόμαστε κάνοντας χρήση αντίστοιχων *ταξινομητικών όρων* (sortal terms)· λέμε για παράδειγμα, ‘βιβλία’ ή ‘μολύβια’. Έτσι μπορούμε να μετρήσουμε τα βιβλία που βρίσκονται πάνω στο τραπέζι, διότι από τη μια μεριά είμαστε σε θέση να αναγνωρίζουμε ένα αντικείμενο ως βιβλίο ενώ από την άλλη μας είναι ξεκάθαρο τι διαφοροποιεί ένα βιβλίο από ένα άλλο ώστε να εξασφαλίσουμε ότι μετράμε το κάθε βιβλίο μία μόνο φορά.

Ας επισημάνουμε ότι ο όρος «αντικείμενο» παρόλο που από τη σκοπιά της γραμματικής έχει χαρακτηριστικά ταξινομητικού όρου, είναι δηλαδή ένα αριθμήσιμο ουσιαστικό, δεν είναι *γνήσια* ταξινομητικός όρος, διότι αυτό προϋποθέτει τη σύνδεσή του με συγκεκριμένα κριτήρια ταυτότητας, τα οποία δεν υπάρχουν για τα αντικείμενα γενικά. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι η αρίθμηση θα πρέπει να περιορίζεται κάθε φορά σε αντικείμενα του ίδιου είδους. Μπορούμε κάλλιστα να αριθμήσουμε τα βιβλία και τα μολύβια που βρίσκονται πάνω στο τραπέζι αν και τα κριτήρια που εφαρμόζουμε προκειμένου να αναγνωρίσουμε ένα βιβλίο ή ένα μολύβι είναι διαφορετικά. Ο Lowe ωστόσο εφιστά την προσοχή μας λέγοντας ότι υπάρχουν κάποιες προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται όταν κάποιος πρόκειται να μετρήσει αντικείμενα που εμπίπτουν σε διαφορετικά είδη. Αν λοιπόν η εντολή αρίθμησης δίνεται για τα είδη E_1 και E_2 , τότε θα πρέπει τα κριτήρια ταυτότητας με τα οποία συνδέεται το κάθε είδος να είναι τέτοια ώστε τα E_1 και E_2 να αναφέρονται σε αμοιβαία αποκλειόμενα είδη: αν κάτι ανήκει στο είδος E_1 να μην μπορεί να ανήκει ταυτόχρονα και στο είδος E_2 . Η εντολή για παράδειγμα να αριθμηθούν οι *γάτες* και τα *ζώα* που υπάρχουν μέσα σε ένα δωμάτιο δεν είναι εκτελέσιμη, εφόσον κάτι που είναι γάτα είναι την ίδια στιγμή και ζώο και δεν μπορούμε στην ίδια διαδικασία να αριθμήσουμε δύο φορές το ίδιο αντικείμενο τη μια φορά ως γάτα και την άλλη ως ζώο.¹⁶

Να συμπληρώσουμε δε ότι η αρίθμηση αντικειμένων δεν είναι απλώς μια δραστηριότητα στην οποία προβαίνουμε εξασκώντας τις αριθμητικές μας δεξιότητες. Είναι μια διαδικασία που συμβάλλει στην οργάνωση του κόσμου ώστε αυτός να γίνεται καλύτερα κατανοητός. Συνεπώς

¹⁶ Lowe, E., J., (1998), p32

το αποτέλεσμα μιας αρίθμησης θα πρέπει να μεταδίδει μια σαφή πληροφορία για μια συλλογή αντικειμένων και όχι να είναι το αποτέλεσμα μιας συγκεχυμένης πράξης. Μια και το θέμα μας είναι τα κβαντικά σωματίδια, τα οποία σύμφωνα με τη κβαντική θεωρία είναι αριθμήσιμες οντότητες, ας αφήσουμε τις γάτες και τα ζώα και ας σκεφτούμε ένα φυσικό σύστημα, ας πούμε το άτομο ενός στοιχείου. Τι νόημα θα είχε η εντολή να μετρηθούν τα ηλεκτρόνια και τα φερμιόνια του εν λόγω ατόμου, όταν γνωρίζουμε ότι κάτι που είναι ηλεκτρόνιο είναι και φερμιόνιο; Ακόμα κι αν η αρίθμηση γίνει με κάποιο τρόπο και καταλήξει, ας πούμε, στον αριθμό 10, κανείς δεν θα είναι σε θέση να κατανοήσει τι αντιπροσωπεύει ο αριθμός 10 για το σύστημά μας. Θα είχε νόημα όμως να ζητηθεί από κάποιον να μετρήσει τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια ενός ατόμου. Οι όροι «ηλεκτρόνιο» και «πρωτόνιο» είναι διαφορετικοί και αμοιβαία αποκλειόμενοι ταξινομητικοί όροι και ως εκ τούτου η αρίθμηση τους οδηγεί σε ένα αποτέλεσμα, το οποίο δίνει πληροφορίες για το όλο σύστημα. Αν το αποτέλεσμα της αρίθμησης είναι 10, ο αριθμός 10 είναι μια σαφής απάντηση στο ερώτημα «πόσα ηλεκτρόνια και πρωτόνια υπάρχουν στο σύστημα;».

Πέραν της εξειδίκευσης που απαιτείται ώστε να είναι δυνατή μια διαδικασία αρίθμησης, η υλοποίησή της ακολουθεί ορισμένους κανόνες. Στις συνήθεις περιπτώσεις μια διαδικασία αρίθμησης είναι αξιόπιστη όταν διεξάγεται σε συνθήκες ταυτότητας, όταν δηλαδή πέραν του ότι αναγνωρίζουμε ένα αντικείμενο ως αντικείμενο κάποιου είδους είμαστε σε θέση να το διακρίνουμε από κάθε άλλο αντικείμενο ώστε να το προσθέσουμε ως μια μονάδα στη συλλογή μας. Άλλωστε, ένας γνήσια ταξινομητικός όρος, λέει ο Lowe επικαλούμενος την ορολογία του Michael Dummett¹⁷, φέρει ταυτόχρονα ένα κριτήριο *εφαρμογής* (application) και ένα κριτήριο *ταυτότητας* (identity). Έτσι έχουμε συλλάβει πλήρως το νόημα μιας ταξινομητικής έννοιας όταν γνωρίζουμε ταυτόχρονα το είδος των οντοτήτων, στις οποίες εφαρμόζεται και τις συνθήκες ταυτότητας, οι οποίες ισχύουν για τις ίδιες αυτές οντότητες. Το ερώτημα που θα προσπαθήσουμε να διερευνήσουμε στη συνέχεια είναι αν σε μια διαδικασία αρίθμησης είναι εξίσου απαραίτητα τόσο τα κριτήρια εφαρμογής όσο και τα κριτήρια ταυτότητας.

Προηγουμένως όμως θα κάνουμε ορισμένες χρήσιμες διευκρινίσεις σχετικά με την εφαρμογή των κριτηρίων ταυτότητας και το νόημα που αποδίδουμε στις προτάσεις ταυτότητας. Είναι αυτονόητο ότι κάθε δήλωση ταυτότητας για αντικείμενα που ανήκουν σε διαφορετικά και αμοιβαία αποκλειόμενα είδη είναι τετριμμένα ψευδής: όταν κάποιος διαπιστώνει ότι το x είναι E_1 και το y είναι E_2 , τότε είναι προφανές ότι το x δεν ταυτίζεται με το y . Είναι επίσης αυτονόητο ότι οι προτάσεις ταυτότητας, για τις οποίες ενδιαφέρονται οι εμπειρικές επιστήμες, δεν είναι προτάσεις του τύπου «το x είναι το ίδιο E με το x », οι οποίες είναι τετριμμένα αληθείς. Στις

¹⁷ Dummett, M. (1981)

εμπειρικές επιστήμες, αλλά και στη ζωή γενικότερα, μια δήλωση ταυτότητας έχει ενδιαφέρον όταν μεταφέρει πληροφοριακό περιεχόμενο όταν δηλαδή η κρίση της προϋποθέτει εμπειρική έρευνα. Έτσι έχει νόημα να ρωτάμε αν τα αντικείμενα x και y ταυτίζονται όταν είναι καταρχήν αντικείμενα του ίδιου είδους και τα οποία είτε γίνονται αντιληπτά από τον ίδιο παρατηρητή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, είτε γίνονται αντιληπτά την ίδια χρονική στιγμή από δύο διαφορετικούς παρατηρητές. Και στις δύο περιπτώσεις το ερώτημα της ταυτότητας ουσιαστικά ενδιαφέρεται για το εάν τα ονόματα x και y που χρησιμοποιούμε στις προτάσεις ταυτότητας αναφέρονται στο ίδιο αντικείμενο. Στην πρώτη περίπτωση ερευνούμε αν υπάρχουν συνθήκες *διαχρονικής ταυτότητας*, αν δηλαδή το x που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής O τη χρονική στιγμή t_1 είναι το ίδιο με το y που ο ίδιος παρατηρητής αντιλαμβάνεται τη χρονική στιγμή t_2 . Στη δεύτερη περίπτωση ερευνούμε αν υπάρχουν συνθήκες *συγχρονικής ταυτότητας*, αν δηλαδή το x που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής O_1 τη χρονική στιγμή t είναι ίδιο με το y που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής O_2 την ίδια χρονική στιγμή.¹⁸

Κατόπιν τούτων ας ξεκαθαρίσουμε ότι τα κριτήρια εφαρμογής μιας ταξινομητικής έννοιας και τα κριτήρια ταυτότητας που συνδέονται με αυτήν δεν επιτελούν την ίδια λειτουργία. Η εφαρμογή μιας ταξινομητικής έννοιας σημαίνει ότι είμαστε σε θέση να *αναγνωρίσουμε μια οντότητα ως οντότητα που υπάγεται στην εν λόγω έννοια και να λέμε «το x είναι E »*. Τα κριτήρια ταυτότητας όμως περιγράφουν τις συνθήκες κάτω από τις οποίες μια δήλωση ταυτότητας του τύπου «το x είναι το ίδιο E με το y » αποδεικνύεται αληθής ή ψευδής, όπου το E είναι ταξινομητικός όρος και τα x, y αντικείμενα. Επίσης τα κριτήρια εφαρμογής και τα κριτήρια ταυτότητας χαίρουν μιας *σχετικής ανεξαρτησίας*, εφόσον το ερώτημα «είναι το x E ;» μπορεί να τεθεί ανεξάρτητα από το ερώτημα της ταυτότητας του x με το y . Έχει επίσης νόημα να πούμε ότι το x και το y είναι E ακόμα κι αν δεν είμαστε σε θέση να πούμε ότι το x είναι ίδιο ή διαφορετικό από το y . Δεν ισχύει όμως το αντίστροφο. Για να προβεί κάποιος σε μια κρίση ταυτότητας του x με το y θα πρέπει προηγουμένως να αναγνωρίσει τα x και y ως αντικείμενα κάποιου είδους, να έχει δηλαδή ήδη προβεί στην εφαρμογή κάποιας (ή κάποιων) ταξινομητικής έννοιας E .

Εντούτοις ο Dummett¹⁹ παρόλο που επίσης υποστηρίζει την ανεξαρτησία των κριτηρίων ταυτότητας και εφαρμογής, δίνει προτεραιότητα στα κριτήρια ταυτότητας, τα οποία θεωρεί αναπόσπαστο μέρος της *σημασίας* (sense) των ταξινομητικών όρων. Κατά τον Dummett

¹⁸ Εργαζόμενος πάνω στην έννοια της ταυτότητας ο Carnap έχει επίσης επισημάνει ότι το πρόβλημα γύρω από την έννοια της ταυτότητας εγείρεται, διότι συμβαίνει κάποια αντικείμενα να μην έχουν ένα μόνο *όνομα*, είτε αυτό είναι ένα *κύριο όνομα* (proper name), είτε μια *οριστική περιγραφή* (definite description). Ο τύπος $a=a$ δεν γεννά ερωτηματικά, είναι απλώς μια γνήσια ταυτολογία χωρίς πληροφοριακό περιεχόμενο. Όμως ο τύπος $a=b$ είναι μια αληθής πρόταση *αν και μόνο αν* το αντικείμενο στο οποίο αναφερόμαστε με το όνομα a είναι το ίδιο με το αντικείμενο στο οποίο αναφερόμαστε με το όνομα b . Τα ονόματα a και b συνδέονται με διαφορετικές περιγραφές (κατά τον Frege έχουν διαφορετική *σημασία* (sense)), και η έρευνα γύρω από την ταυτότητά τους γίνεται για να διαπιστωθεί αν έχουν κοινή *αναφορά* (reference). [Carnap, R., (1967), § 159]

¹⁹ Dummett, M. (1981), pp73-5

γνωρίζουμε τη σημασία του όρου ‘ποτάμι’, διότι μας είναι ήδη ξεκάθαρη η σημασία της έκφρασης ‘το ίδιο ποτάμι’ με βάση την οποία μπορούμε να κρίνουμε την αλήθεια ή το ψεύδος της πρότασης «το ποτάμι που διαρρέει την πόλη Π είναι το ίδιο ποτάμι που εκβάλει στη θάλασσα Θ ». Για να υποστηρίξει την άποψη αυτή επικαλείται την αμφισημία ορισμένων ταξινομητικών όρων και τη σύγχυση που ενδέχεται να προκληθεί εξ αιτίας της. Υπάρχει για παράδειγμα μια ασάφεια όσον αφορά το νόημα της πρότασης «διαβάζω το ίδιο βιβλίο που διάβαζα χθες», η οποία οφείλεται στις διαφορετικές σημασίες που κάποιος αποδίδει στον όρο ‘βιβλίο’: δεν είναι ξεκάθαρο αν με τον όρο αυτό εννοούμε την ίδια συγγραφική δουλειά ή το ίδιο αντίγραφο μιας συγγραφικής δουλειάς. Συνεπώς, αν η πρόταση θέλουμε να λάβει τιμή αλήθειας είναι απαραίτητο να αποσαφηνίζουμε τι εννοούμε με την έκφραση ‘το ίδιο βιβλίο’ και υπό αυτή την έννοια ο Dummett ισχυρίζεται ότι το κριτήριο ταυτότητας είναι μέρος της σημασίας του ταξινομητικού όρου με τον οποίο συνδέεται. Οι διαφορετικές σημασίες ενός όρου, λέει, απασχολούν μόνο το κριτήριο ταυτότητας και όχι το κριτήριο εφαρμογής του, το οποίο καθορίζει αν είναι σωστή η πρόταση «το x είναι E ». Οι προτάσεις αυτής της μορφής λέει ο Dummett «δεν αφήνουν χώρο σε αμφισημίες και το κριτήριο ταυτότητας είναι άσχετο με την αλήθεια ή το ψεύδος τέτοιων προτάσεων».²⁰

Ωστόσο θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι στις προτάσεις «το βιβλίο *Έγκλημα και Τιμωρία* γράφτηκε από τον Ντοστογιέφσκι» και «το βιβλίο πάνω στο τραπέζι είναι το *Έγκλημα και Τιμωρία*», ο όρος «βιβλίο» αποδίδεται σε δύο εντελώς διαφορετικές έννοιες. Χρησιμοποιούμε (ατυχώς ίσως) τον ίδιο όρο για να αναφερθούμε σε μια συγγραφική δουλειά ή σε ένα αντικείμενο που βρίσκεται πάνω στο τραπέζι όμως η διττή χρήση του όρου «βιβλίο» δεν συνιστά εννοιολογική αμφισημία. Το «βιβλίο ως συγγραφική δουλειά» είναι ένα *αφηρημένο* (abstract) αντικείμενο που υπάρχει στο χρόνο όχι όμως και στο χώρο, ενώ το «βιβλίο πάνω στο τραπέζι είναι ένα *συγκεκριμένο* (concrete) αντικείμενο που υπάρχει στο χώρο και στο χρόνο. Πρόκειται για αντικείμενα που ανήκουν σε διαφορετικές οντολογικές κατηγορίες και που σε σημασιολογικό επίπεδο συλλαμβάνονται από διαφορετικές έννοιες με διαφορετικά κριτήρια εφαρμογής και ταυτότητας. Επιπλέον η διττή χρήση ορισμένων ταξινομητικών όρων, όπως είναι ο όρος ‘βιβλίο’, είναι πηγή ασάφειας σε *κάθε* πρόταση στην οποία εμπλέκεται. Ενόψει της διττής χρήσης του όρου E οι προτάσεις «το x είναι E » και «το x είναι το ίδιο E με το y » είναι το ίδιο ασαφείς και χρειάζονται διευκρινήσεις προκειμένου να αποσαφηνισθεί ποια είναι η σημασία που αποδίδουμε στον όρο E . Μόνο που οι απαραίτητες διευκρινίσεις αφορούν μάλλον την αποσαφήνιση του νοήματος της πρότασης «το x είναι E », η οποία μαζί με την πρόταση ««το y είναι E » διασφαλίζουν την εφαρμογή των κριτηρίων ταυτότητας του ταξινομητικού όρου E .

²⁰ Dummett, M. (1981), p74

Η προτεραιότητα των κριτηρίων εφαρμογής τίθεται όχι μόνο έναντι των κριτηρίων ταυτότητας αλλά και έναντι κάθε διαδικασίας αρίθμησης αντικειμένων. Όπως έχουμε ήδη πει, η διεκπεραίωση μιας διαδικασίας αρίθμησης χρειάζεται εξειδίκευση, χρειάζεται δηλαδή να γνωρίζει κάποιος το είδος των αντικειμένων τα οποία πρόκειται να αριθμήσει. Η αρίθμηση δεν είναι παρά μια διαδικασία πολλαπλής εφαρμογής μιας ταξινομητικής έννοιας, κατά την οποία μετράμε πόσες φορές η εν λόγω έννοια εφαρμόζεται σε μια συλλογή αντικειμένων. Όμως για να απαντήσουμε με σαφήνεια στο ερώτημα «πόσα E » θα πρέπει να γνωρίζουμε τη σημασία της έκφρασης «ένα E », η οποία και πάλι καθορίζεται από τη σημασία που αποδίδουμε στον όρο E . Μόνο με δεδομένη τη σημασία του όρου E και ως εκ τούτου και της έκφρασης «ένα E » μπορούμε να προχωρήσουμε σε μια αξιόπιστη διαδικασία αρίθμησης των αντικειμένων που είναι E , δηλαδή μια διαδικασία κατά την οποία κάθε αντικείμενο που είναι E προσμετρείται μία μόνο φορά. Ισχύει όμως και το αντίστροφο. Η διαδικασία αρίθμησης που επιλέγεται έχει άμεση σχέση με τη σημασία της έκφρασης «ένα E ». Έτσι όταν κάποιος λάβει την εντολή να αριθμήσει τα βιβλία που υπάρχουν στα ράφια μιας βιβλιοθήκης η διαδικασία αρίθμησης που θα επιλέξει εξαρτάται από εάν κατανοεί την έκφραση «ένα βιβλίο» ως ένα φυσικό αντικείμενο ή ως μία συγγραφική δουλειά δηλαδή ένα αφηρημένο αντικείμενο. Διαφορετικές διαδικασίες αρίθμησης είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα χωρίς αυτό να θέτει υπό αμφισβήτηση την αξιοπιστία τους. Κατά τον Lowe οι δύο διαδικασίες μπορούν να είναι εξίσου αξιόπιστες και τα διαφορετικά αποτελέσματά τους να προκύπτουν επειδή αφορούν διαφορετικά είδη αντικειμένων.²¹

1.4 Οι κρίσεις ταυτότητας είναι σύνθετες νοητικές ενέργειες

Είναι αλήθεια ότι στην καθημερινή μας επαφή με τον κόσμο χειριζόμαστε αντικείμενα προβαίνοντας κατά κύριο λόγο σε κρίσεις ταυτότητας, οι οποίες ρητά ή υπόρρητα διενεργούνται στην προσπάθεια οργάνωσης της καθημερινής μας ζωής. Οι κρίσεις ταυτότητας γύρω από τα καθημερινά αντικείμενα είναι αυτοματοποιημένες, εντελώς οικείες και εύλογες για τον κοινό νοο. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι διότι τα καθημερινά αντικείμενα διαθέτουν κριτήρια ταυτότητας που η εφαρμογή τους δεν προϋποθέτει ειδικές συνθήκες: η ταυτότητα ή η διαφορά των αντικειμένων κρίνονται με βάση τα δεδομένα των αισθήσεων και συνήθως καμία περαιτέρω έρευνα δεν απαιτείται γύρω από αυτό. Η ευκολία με την οποία χειριζόμαστε τα αντικείμενα της καθημερινότητας δημιουργεί την ψευδαίσθηση στο κοινό νοο ότι οι κρίσεις ταυτότητας είναι απλές διαδικασίες, οι οποίες δεν επιδέχονται ανάλυση. Αυτό όμως απέχει πολύ από το να είναι αληθές. Όπως έχουμε ήδη πει πρόκειται για σύνθετες νοητικές διαδικασίες, οι

²¹ Lowe, E., J., (1998), p61

οποίες συνδυάζουν την εφαρμογή ταξινομητικών εννοιών μέσω της οποίας τα αντικείμενα αναγνωρίζονται ως αντικείμενα κάποιου είδους και την εφαρμογή κριτηρίων ταυτότητας μέσω των οποίων κρίνεται η ταυτότητα ή η διαφορά αντικειμένων του ίδιου είδους. Μάλιστα μια κρίση ταυτότητας ενδέχεται να ολοκληρωθεί χωρίς να χρειασθεί καν η εφαρμογή κάποιου κριτηρίου ταυτότητας, όπως συμβαίνει όταν αναγνωρίζουμε ένα ‘βιβλίο’ και ένα ‘μολύβι’ δηλαδή δύο εκ των πραγμάτων διαφορετικά αντικείμενα και κανένα κριτήριο ταυτότητας δεν εμπλέκεται στην περίπτωση αυτή.

Επιπλέον οι κρίσεις ταυτότητας που εκφέρουμε για τα αντικείμενα της καθημερινότητας εξυπηρετούν ταυτόχρονα και το σκοπό της αρίθμησης, η οποία όμως στην περίπτωση αυτή λαμβάνει το χαρακτήρα καταμέτρησης. Ο αυτοματισμός με τον οποίο κρίνουμε την ταυτότητα και τη διαφορά των βιβλίων στα ράφια μιας βιβλιοθήκης μας επιτρέπει, ας πούμε μέσω κατάδειξης, να εγκαταστήσουμε μια ‘ένα προς ένα’ αντιστοιχία μεταξύ των βιβλίων και της ακολουθίας των φυσικών αριθμών. Η διαδικασία αυτή είναι διαθέσιμη μόνο όταν επικρατούν συνθήκες ταυτότητας για τα προς αρίθμηση αντικείμενα, διότι μόνο τότε μπορούμε να συλλέγουμε ένα κάθε φορά αντικείμενο και να το αντιστοιχούμε σε ένα φυσικό αριθμό. Από το γεγονός αυτό όμως *δεν προκύπτει ότι τα κριτήρια ταυτότητας είναι αναγκαία συνθήκη για την αριθμησιμότητα των αντικειμένων*. Την κρισιμότητα της παρατήρησης αυτής επισημαίνει ο Lowe, ο οποίος θεωρεί λανθασμένη την άποψη που θέλει μόνο τις οντότητες με καθορισμένη ταυτότητα να είναι αριθμήσιμες φέροντας μάλιστα ως παράδειγμα την περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων. Έτσι ενώ γνωρίζουμε ότι ένα ουδέτερο άτομο ηλίου περιέχει *δύο* ηλεκτρόνια δεν υπάρχει ένα αντικειμενικό γεγονός που να καθορίζει την ταυτότητά τους, δηλαδή ένα γεγονός που να μας επιτρέπει να λέμε ποιο ηλεκτρόνιο είναι ποιο.²² Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία η έλλειψη συνθηκών ταυτότητας για τα δεσμευμένα ηλεκτρόνια ενός ατόμου δεν αποκλείει την αρίθμησή τους γενικά αλλά μόνο τη δυνατότητα καταμέτρησής τους. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι είναι αδύνατον να δημιουργηθούν συνθήκες ταυτότητας για τα ηλεκτρόνια του ηλίου. Σε μια διαδικασία διαδοχικού ιονισμού, για παράδειγμα, τα ηλεκτρόνια ξεφεύγουν από την έλξη του πυρήνα το ένα μετά το άλλο και κατά τη διαδικασία αυτή κάνουμε καταμέτρηση εφαρμόζοντας διαδοχικά και άρα διακριτά την έννοια «ηλεκτρόνιο», γεγονός που μας επιτρέπει να λέμε το 1^ο και το 2^ο ηλεκτρόνιο.

Αν δεχθούμε την παραπάνω ανάλυση, θα λέγαμε ότι τα αντικείμενα τα αναγνωρίζουμε πάντα ως αντικείμενα που ανήκουν σε κάποιο είδος και ότι η εφαρμογή μιας ταξινομητικής έννοιας αποτελεί προϋπόθεση τόσο για την αρίθμησή τους όσο και για την εφαρμογή των κριτηρίων ταυτότητας που συνδέονται με αυτή. Συνεπώς το νόημα μιας ταξινομητικής έννοιας

²² Lowe, E., J. (1998) pp62-3

αφενός εμπεριέχει τη *δυνατότητα* αρίθμησης αντικειμένων που υπάγονται σε αυτή, αφετέρου καθορίζει για τα ίδια αυτά αντικείμενα τις συνθήκες κάτω από τις οποίες κρίνεται η ταυτότητα ή η διαφορά τους. Ωστόσο είναι σημαντικό να επισημάνουμε και πάλι ότι η δυνατότητα αρίθμησης δεν προεξοφλεί και τη διαδικασία που ακολουθεί κάποιος για να αριθμήσει μια συλλογή αντικειμένων και ότι οι συνθήκες ταυτότητας που καθορίζει μια ταξινομητική έννοια για τα αντικείμενα που υπάγονται σε αυτή δεν ταυτίζονται πάντα με τις συνθήκες υπό τις οποίες βρίσκονται. Οφείλουμε λοιπόν να διαχωρίσουμε τη δυνατότητα αρίθμησης που διασφαλίζει η εφαρμογή μιας ταξινομητικής έννοιας από τη διαδικασία αρίθμησης που εκάστοτε ακολουθείται, όπως επίσης οφείλουμε να διαχωρίσουμε την ύπαρξη κριτηρίων ταυτότητας από τις φυσικές συνθήκες εφαρμογής τους.

Ο Lowe έχει με τον τρόπο του προβεί σε ανάλογο διαχωρισμό όταν λέει ότι οι δύο συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται ώστε κάτι x να είναι εξατομικευμένο αντικείμενο, δηλαδή η συνθήκη *αριθμησιμότητας*, σύμφωνα με την οποία «το x οριστικά μετράει ως μία οντότητα» (1) και η συνθήκη της *ταυτότητας* ή *ατομικότητας*, σύμφωνα με την οποία «το x έχει μια καθορισμένη ταυτότητα» (2), δεν εφαρμόζονται κατ' ανάγκη μαζί.²³ Είναι μεταφυσικά δυνατόν το x να χαρακτηρίζεται από εσωτερική ενότητα χάριν της οποίας μετράει ως ένα x , χωρίς να έχει μια καθορισμένη ταυτότητα, ή αντίστροφα είναι μεταφυσικά δυνατόν κάτι x να έχει μια καθορισμένη ταυτότητα χωρίς την ίδια στιγμή να χαρακτηρίζεται από εσωτερική ενότητα και να μετράει ως ένα x . Με βάση τη μεταφυσική δυνατότητα οι έννοιες της αριθμησιμότητας και της ταυτότητας να μην ικανοποιούνται και οι δύο από μία και την αυτή οντότητα x , ο Lowe διακρίνει τέσσερεις δυνατούς τύπους οντοτήτων. Ο πρώτος τύπος είναι οι οντότητες, οι οποίες υπάρχουν με τρόπο ώστε να ικανοποιούν και τις δύο συνθήκες (1) και (2). Οι οντότητες αυτές είναι τα *εξατομικευμένα αντικείμενα* (individual objects), τα οποία υπάγονται σε μια ταξινομητική έννοια E ώστε να είναι αριθμήσιμα και έχουν καθορισμένη ταυτότητα ανεξάρτητα από την κατάσταση στην οποία κάθε φορά βρίσκονται, υπάρχει δηλαδή πάντα ένα αντικειμενικό γεγονός που μας επιτρέπει να κρίνουμε αν η πρόταση «το x είναι το ίδιο E με το y » είναι αληθής ή ψευδής. Τέτοιου τύπου οντότητες υπάρχουν και είναι τα καθημερινά αντικείμενα, τα οποία βρίσκονται πάντα σε συνθήκες ταυτότητας, ενώ η αρίθμησης τους ακολουθεί συνήθως τη διαδικασία της καταμέτρησης. Του ίδιου τύπου επίσης είναι και τα αντικείμενα της κλασικής φυσικής, τα οποία θεωρούνται εξιδανικεύσεις των καθημερινών πραγμάτων. Ο δεύτερος τύπος οντοτήτων είναι αυτές που υπάρχουν με τρόπο ώστε να ικανοποιούν τη συνθήκη (1), όχι όμως και τη (2). Τέτοιου τύπου οντότητες, τις οποίες ο Lowe αποκαλεί *οιονεί-αντικείμενα* (quasi-objects), υπάγονται σε μια ταξινομητική έννοια ώστε να είναι αριθμήσιμες, χωρίς όμως να

²³ Lowe, E., J., (1998), pp63, 74, Lowe, E., J., (2015), p53

βρίσκονται σε συνθήκες ταυτότητας. Για τις οντότητες αυτού του τύπου η αρίθμηση δεν μπορεί να γίνει με καταμέτρηση κι έτσι το πλήθος μιας συλλογής τέτοιων οντοτήτων το πληροφορούμαστε μόνο με *έμμεσο* τρόπο. Σε αυτού του τύπου τις οντότητες ο Lowe εντάσσει τα κβαντικά σωματίδια, τα οποία αν και αριθμήσιμες οντότητες δεν έχουν πάντα καθορισμένη ταυτότητα. Ο τρίτος τύπος οντοτήτων είναι αυτές που υπάρχουν με τρόπο ώστε να ικανοποιούν τη συνθήκη (2), όχι όμως και τη συνθήκη (1). Οι οντότητες αυτές, τις οποίες ο Lowe αποκαλεί *οιονεί-άτομα* (quasi-individuals), αν και έχουν καθορισμένη ταυτότητα, είναι μη αριθμήσιμες. Τέτοιου τύπου οντότητες *θα μπορούσαν* να ήταν οι ποσότητες ή τα μέρη κάποιου *ομογενούς υλικού* (homogeneous stuff), οι οποίες δεν χαρακτηρίζονται από την εσωτερική ενότητα που αναγνωρίζουμε σε αριθμήσιμες οντότητες. Για τις οντότητες αυτές το ερώτημα που έχει νόημα να τεθεί δεν είναι το «πόσα;» αλλά το «πόσο;» και η αναφορά μας σε αυτές γίνεται με όρους που η γραμματική χαρακτηρίζει *μη αριθμήσιμα ουσιαστικά* δηλαδή ουσιαστικά που δεν τα συναντάμε ποτέ στον πληθυντικό αριθμό. Ο Lowe βέβαια εκφράζει τις αμφιβολίες του ως προς το κατά πόσο υπάρχουν πράγματι ομογενή υλικά, δηλαδή υλικά τα οποία όσο και να διαιρούνται παραμένουν υλικά του ίδιου είδους. Για παράδειγμα τα μέρη μιας ποσότητας χρυσού δεν είναι πάντα χρυσός. Ο χρυσός αποτελείται σε τελική ανάλυση από άτομα ορισμένου είδους, τα οποία όμως με τη σειρά τους συγκροτούνται από ηλεκτρόνια, πρωτόνια και νετρόνια.²⁴ Όμως και μόνο η μεταφυσική δυνατότητα να υπάρχουν τέτοιου είδους υλικά επιτρέπει, κατά τον ο Lowe, να εικάσουμε την ύπαρξη οντοτήτων που ανταποκρίνονται στο «επιδιωκόμενο νόημα» της έννοιας των *οιονεί-ατόμων* και να αναζητήσουμε τα κατάλληλα κριτήρια ταυτότητας. Τέλος ο τέταρτος τύπος οντοτήτων μένει να είναι αυτές των οποίων η ύπαρξη δεν ικανοποιεί καμιά από τις συνθήκες (1) και (2) και στις οποίες ο Lowe αναφέρεται με τον όρο *υπο-άτομα* (sub-individuals). Βέβαια ο ίδιος ο Lowe παραδέχεται ότι είναι δύσκολο να σκεφτεί εύλογα παραδείγματα τέτοιου τύπου οντοτήτων, πραγματικά ή φανταστικά, ωστόσο, αν τέτοιου τύπου οντότητες υπάρχουν, τότε μαζί με τις οντότητες που ονομάσαμε *οιονεί-αντικείμενα* και *οιονεί-άτομα* ανήκουν στην κατηγορία των *οχι-ατόμων* (non-individuals).²⁵

Σύμφωνα με την κατά Lowe τυπολογία των οντοτήτων, η οποία διαμορφώνεται με βάση τη δυνατότητα οι έννοιες της αριθμησιμότητας και της ταυτότητας να εφαρμόζονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη, *αντικείμενα* (objects) είναι μόνο τα *άτομα* (individuals), δηλαδή οι οντότητες που παραμένουν αριθμήσιμες και έχουν καθορισμένη ταυτότητα ανεξάρτητα από τις συνθήκες υπό τις οποίες βρίσκονται. Σύμφωνα επίσης με την ίδια τυπολογία τα κβαντικά σωματίδια δεν είναι αντικείμενα αλλά είναι κάτι *σαν* αντικείμενα, *οιονεί-αντικείμενα* ή *ψευτο-αντικείμενα*. Με άλλα λόγια η ατομικότητα αναδεικνύεται σε ουσιώδες γνώρισμα των αντικειμένων: κάτι είναι

²⁴ Lowe, E., J., (1998) p192

²⁵ Lowe, E., J., (2015) pp49-60

αντικείμενο αν και μόνο αν σε κάθε περίπτωση και σε όλες τις συνθήκες είναι άτομο. Ωστόσο πρέπει να επισημάνουμε ότι η ατομικότητα συνδέεται με ένα συγκεκριμένο τρόπο ύπαρξης, τον οποίο επιδεικνύουν και τα κβαντικά σωματίδια όταν βρεθούν στις κατάλληλες συνθήκες. Συνεπώς τα κβαντικά σωματίδια δεδομένου ότι είναι αριθμήσιμες οντότητες που εμμένουν στο χρόνο και φέρουν ιδιότητες για όσο χρόνο εμμένουν, αν αποτυγχάνουν να είναι αντικείμενα, τότε αποτυγχάνουν όχι διότι δεν υπάρχουν ως άτομα γενικά, αλλά διότι δεν υπάρχουν ως άτομα σε όλες τις συνθήκες.

Θεωρούμε όμως ότι η ατομικότητα ως αναγκαία συνθήκη για να είναι κάτι αντικείμενο θέτει έναν εξαιρετικά ισχυρό και ταυτόχρονα αχρείαστο περιορισμό στην εφαρμογή μιας τόσο γενικής έννοιας όπως είναι η έννοια του αντικειμένου. Θεωρούμε επίσης ότι η ιδέα της αναγκαίας σύνδεσης της ατομικότητας με την έννοια του αντικειμένου γεννήθηκε και εδραιώθηκε μέσα από την καθημερινή μας επαφή με τα γήινα καθημερινά αντικείμενα, αυτά γύρω από τα οποία οι κρίσεις ταυτότητας διενεργούνται με τρόπο που αποκρύπτει από τον κοινό νου τον σύνθετο χαρακτήρα τους. Τα κβαντικά σωματίδια δεν συνάδουν βέβαια με την εικόνα των γήινων καθημερινών αντικειμένων. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι δεν είναι αντικείμενα. Η κβαντική φυσική περιγράφει τα σωματίδια της, στοιχειώδη και μη, ως φορείς ιδιοτήτων και γι αυτό θα μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα τουλάχιστον στο πλαίσιο κάθε μεταφυσικής θεωρίας που δέχεται την ύπαρξη αντικειμένων, δέχεται δηλαδή ότι οι ιδιότητες φέρονται από κάτι και δεν υπάρχουν ανεξάρτητα από αυτό το κάτι που τις φέρει. Ωστόσο η υπαγωγή των κβαντικών σωματιδίων στην έννοια «αντικείμενο» προϋποθέτει ότι όλα τα αντικείμενα δεν έχουν καθορισμένη ταυτότητα σε όλες τις συνθήκες και ότι η ατομικότητα δεν ανήκει στα ουσιώδη γνωρίσματά τους.

1.5 Οι έννοιες της διακρισιμότητας και της ατομικότητας δοκιμάζονται στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας

Η πειραματική και η θεωρητική κβαντική φυσική δείχνουν ότι η διαδικασία με βάση την οποία αναγνωρίζουμε τα κβαντικά σωματίδια, εμπλέκει τις ίδιες έννοιες με αυτές στις οποίες καταφεύγουμε για να αναγνωρίσουμε τα αντικείμενα του κοινού νου. Η ταξινόμηση των κβαντικών σωματιδίων, η αριθμησιμότητά τους και η ύπαρξη κριτηρίων ταυτότητας βρίσκουν εφαρμογή στο πλαίσιο της κβαντικής φυσικής και η διαφορά τους από τα συνήθη αντικείμενα εντοπίζεται στον τρόπο εφαρμογής τους. Ειδικότερα όταν οι φυσικές συνθήκες ευνοούν την κυματική παρά τη σωματιδιακή συμπεριφορά ενός κβαντικού συστήματος η εφαρμογή των κριτηρίων ταυτότητας στα σωματίδια του συστήματος είναι αδύνατη παρόλο που είμαστε πολλές φορές σε θέση να γνωρίζουμε το πλήθος τους. Όταν για παράδειγμα δύο ηλεκτρόνια, το

x και το y , δεσμεύονται διαδοχικά από ένα σωματίδιο a εισέρχονται σε μια συζευγμένη κατάσταση συνολικού σπιν μηδέν, όπου δεν υπάρχει ένα αντικειμενικό γεγονός, ας πούμε η τιμή του σπιν, που να μας επιτρέπει να ξεχωρίσουμε το x από το y . Επιπλέον ακόμα κι αν το ένα από τα δύο ηλεκτρόνια απορροφήσει από το περιβάλλον ενέργεια ικανή να το αποσπάσει από το σύστημα δεν μπορούμε να γνωρίζουμε αν αυτό που εκπέμπεται είναι το x ή το y . Δεν υπάρχει τρόπος, με άλλα λόγια, να ξαναβρούμε το ηλεκτρόνιο x (ή ισοδύναμα το y) αφ' ής στιγμής αυτό εισέρχεται σε μια συζευγμένη κατάσταση. Στις καταστάσεις αυτές τα κβαντικά σωματίδια είναι από κάθε άποψη *μη διακρίσιμα* (indistinguishable) όπου όμως η μη διακρισιμότητά τους έχει οντική και όχι επιστημική προέλευση, απορρέει δηλαδή από την κατάσταση των σωματιδίων και όχι από την κατάσταση του παρατηρητή.

Η οντικής προέλευσης μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων, ενόσω αυτά βρίσκονται σε συζευγμένες καταστάσεις, έχει συνδεθεί με την έλλειψη *ατομικότητας* (individuality) και αποτελεί κυρίαρχη άποψη στους κόλπους της φιλοσοφίας της φυσικής ότι τα κβαντικά σωματίδια είναι *οχι-άτομα* (non-individuals).²⁶ Εντούτοις διακρισιμότητα και ατομικότητα είναι δύο διαφορετικές έννοιες. Η διακρισιμότητα εφαρμόζεται σε μια συλλογή αντικειμένων όταν το κάθε αντικείμενο έχει κάποιο ποιοτικό γνώρισμα που το κάνει να ξεχωρίζει από όλα τα υπόλοιπα. Η ατομικότητα όμως εφαρμόζεται κάθε φορά σε ένα μόνο αντικείμενο όταν το ίδιο το αντικείμενο με τη συμπεριφορά του επιτρέπει στον παρατηρητή με βάση ορισμένα κριτήρια να το επιλέξει από μια συλλογή αντικειμένων ακόμα κι αν αυτά είναι όμοια μεταξύ τους και να το αναγνωρίζει ως το ίδιο αντικείμενο σε μελλοντικές χρονικές στιγμές.²⁷ Η σύνδεση της ατομικότητας με τις συνθήκες ταυτότητας είναι προφανής: η ατομικότητα συνεπάγεται μια μορφή συμπεριφοράς, η οποία προϋποθέτει ότι το αντικείμενο βρίσκεται σε συνθήκες ταυτότητας, είτε συγχρονικής οπότε γίνεται διακρίσιμο από άλλα αντικείμενα μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, είτε διαχρονικής οπότε είναι δυνατή η επαναταυτοποίηση του σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Τα κβαντικά σωματίδια δεν βρίσκονται πάντα σε συνθήκες ταυτότητας και τότε η εξατομίκευσή τους δεν είναι δυνατή. Αυτό όμως δεν δικαιολογεί τον γενικευμένο χαρακτηρισμό τους ως *οχι-άτομα* (non-individuals). Για κάθε είδος σωματιδίων υπάρχουν φυσικές συνθήκες υπό τις οποίες εξατομικεύονται είτε γιατί γίνονται διακρίσιμα από άλλα σωματίδια ακόμα και του ίδιου είδους, είτε γιατί διατηρούν την ταυτότητά τους έστω και για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Συνεπώς, παρόλο που η ιδιαιτερότητα των κβαντικών σωματιδίων εντοπίζεται στην οντικής προέλευσης μη διακρισιμότητά τους και στην έλλειψη εξατομικευμένης συμπεριφοράς όταν αυτά εμπλέκονται σε συζευγμένες καταστάσεις και παρόλο που οι καταστάσεις αυτές είναι

²⁶ Schrödinger, E., (1952), (1957), Bohr, N., (1943), Post, H., R., (1963), French, S., (1989)(a)

²⁷ Lowe, E., J., (2003), pp75

πράγματι ένα εκτεταμένο φαινόμενο στον υποατομικό κόσμο, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι αυτές οι καταστάσεις δεν είναι οι μόνες καταστάσεις στις οποίες μπορούν να βρεθούν τα κβαντικά σωματίδια. Σε κάθε περίπτωση πάντως οι έννοιες της διακρισιμότητας και της ατομικότητας είναι αυτές που κυρίως «δοκιμάζονται» στο νέο πλαίσιο κατανόησης της πραγματικότητας που θέτει η κβαντική φυσική διότι η εφαρμογή αυτών των εννοιών είναι που συναντά πρωτόγνωρους περιορισμούς στον υποατομικό κόσμο. Συνεπώς, αν επιθυμούμε να δείξουμε ότι τα κβαντικά σωματίδια παρά τις ιδιαιτερότητές τους μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα θα πρέπει να αναδείξουμε τις ιδιαιτερότητές τους και να μιλήσουμε αφενός μεν για τους περιορισμούς αυτούς, αφετέρου δε για τις συνθήκες υπό τις οποίες οι περιορισμοί αυτοί αίρονται, δηλαδή για τις συνθήκες υπό τις οποίες τα κβαντικά σωματίδια «μιμούνται» τη συμπεριφορά των αντικειμένων του κοινού νου, τα οποία η κλασική/νευτώνεια φυσική περιγράφει με μεγάλη ακρίβεια.

Η συζήτηση γύρω από την εφαρμογή των εννοιών της διακρισιμότητας και της ατομικότητας στην κβαντική φυσική διεξάγεται πάνω σε δύο κυρίως άξονες. Ο πρώτος συνδέεται με τον τρόπο με τον οποίο αποδίδονται ιδιότητες στα κβαντικά σωματίδια. Στο πλαίσιο αυτής της συζήτησης εξέχοντα ρόλο παίζει η *Αρχή της Ταυτότητας των μη διακρίσιμων-ΑΤμΔ* (Principle of the Identity of the Indiscernible - PII) του Leibniz, σύμφωνα με την οποία αντικείμενα που μοιράζονται ακριβώς τις ίδιες ιδιότητες θα πρέπει να ταυτίζονται, θα πρέπει δηλαδή να είναι ένα και το αυτό αντικείμενο. Ο φιλοσοφικός διάλογος που διεξάγεται γύρω από την εν λόγω Αρχή έχει οδηγήσει σε μια πανσπερμία απόψεων, όμως αυτό συμβαίνει διότι η συζήτηση ξεκινάει πολλές φορές από διαφορετικές αφετηρίες, οι οποίες συνδέονται τόσο με τις διαφορετικές ερμηνείες της ίδιας της αρχής όσο και με τη δυνατότητα εφαρμογής της. Το νόημα και ο ρόλος που αποδίδεται στην ΑΤμΔ και η εφαρμογή της στον κβαντικό και κλασικό κόσμο πραγματεύονται τα κεφάλαια 3^ο και 4^ο. Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφονται και αξιολογούνται οι δύο ας πούμε «αντίπαλες» απόψεις η «κυρίαρχη» και η «εναλλακτική». Οι υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης ισχυρίζονται ότι, εφόσον τα κβαντικά σωματίδια παρά τη μη διακρισιμότητά τους παραμένουν αριθμήσιμες οντότητες, η ΑΤμΔ αποτυγχάνει να είναι αληθής στον κβαντικό κόσμο ώστε να λειτουργεί ως αρχή ατομικότητας. Κατόπιν τούτου οι υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης διατείνονται ότι τα κβαντικά σωματίδια είτε θα είναι *οχι-άτομα* (non-individuals) είτε θα είναι *άτομα* (individuals) χάριν μιας άλλης αρχής ατομικότητας. *Εντούτοις έναντι της «κυρίαρχης» άποψης οφείλουμε να επισημάνουμε ότι οι υποστηρικτές της παραβλέπουν συστηματικά την ικανότητα των κβαντικών σωματιδίων να υπάρχουν ως άτομα όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν, παραβλέπουν με άλλα λόγια την πειραματικά αποδεδειγμένη διττή φύση τους. Από την άλλη μεριά οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης θεωρούν εξ αρχής ότι η*

ΑΤμΔ είναι αληθής και την επικαλούνται προκειμένου να πιστοποιήσουν την ταυτότητα ή τη διαφορά μεταξύ αντικειμένων. Το συμπέρασμά τους είναι ότι από το σύνολο των κβαντικών σωματιδίων μόνο τα στοιχειώδη μποζόνια δεν είναι διακρίσιμα, όμως αυτό για τους υποστηρικτές της εναλλακτικής άποψης σημαίνει ότι τα στοιχειώδη μποζόνια δεν είναι αντικείμενα. Η διάκριση αυτή τους οδηγεί σε διακριτές ερμηνείες των κβαντικών καταστάσεων είτε ως σωματιδιακές καταστάσεις, όταν πρόκειται για φερμιόνια ή για σύνθετα μποζόνια, είτε ως διεγέρσεις ενός υποκείμενου κβαντικού πεδίου, όταν πρόκειται για στοιχειώδη μποζόνια. *Θα δούμε ωστόσο ότι η άνευ ετέρου αναγόρευση της ΑΤμΔ στην de facto αρχή που εγγυάται την αριθμητική διαφορά των αντικειμένων οδηγεί στην επιλεκτική ερμηνεία του κβαντομηχανικού φορμαλισμού χωρίς όμως να υπάρχουν ισχυρά θεωρητικά και εμπειρικά ερείσματα που να τη δικαιολογούν.* Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την κριτική που δέχεται η «εναλλακτική» άποψη, μέσω της οποίας διαφαίνεται και ένας τρίτος πόλος απόψεων, σύμφωνα με τις οποίες τα σωματίδια των συζευγμένων καταστάσεων, λόγω του φαινομένου της μη διαχωρισιμότητας δεν βρίσκονται το καθένα σε ξεχωριστές καταστάσεις και δεν φέρουν ιδιότητες άλλες πέραν των εγγενών ιδιοτήτων ως προς τις οποίες όμως είναι μη διακρίσιμα. Αν όμως στις συζευγμένες καταστάσεις η αριθμητική διαφορά των κβαντικών σωματιδίων δεν τεκμαίρεται από τη διακρισιμότητά τους το συμπέρασμα είναι ότι η ΑΤμΔ δεν είναι σε τελική ανάλυση αναγκαία αληθής γεγονός που της αφαιρεί οποιοδήποτε κανονιστικό περιεχόμενο: *η ΑΤμΔ δεν μπορεί να λειτουργεί ούτε ως αρχή ατομικότητας, ούτε ως αρχή που εγγυάται την αριθμητική διαφορά.*

Η αποτυχία της ΑΤμΔ είτε ως αρχή ατομικότητας, είτε ως αρχή που εγγυάται την αριθμητική διαφορά αφήνει ανοιχτά μια σειρά από ενδεχόμενα τα οποία πραγματεύεται το 5^ο κεφάλαιο. *Απέναντι στο δίλημμα άτομα ή όχι-άτομα απαντάμε λέγοντας ότι η ατομικότητα δεν είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό των αντικειμένων αλλά είναι ένας τρόπος ύπαρξης, τον οποίο επιδεικνύουν τα αντικείμενα όταν βρεθούν στις κατάλληλες συνθήκες, οι οποίες είναι συνθήκες ταυτότητας γι αυτά και καθορίζονται από τις εγγενείς τους ιδιότητες, δηλαδή τις ιδιότητες χάριν των οποίων είναι σωματίδια ενός ορισμένου είδους.* Το ίδιο κεφάλαιο πραγματεύεται τη διάκριση μεταξύ των εννοιών της αριθμησιμότητας και της ατομικότητας, η οποία αποκτά βαρύνουσα σημασία στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, εφόσον στη βάση αυτής της διάκρισης τα κβαντικά σωματίδια μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα. Τούτο διότι οι κρίσεις μας γύρω από το πόσα κβαντικά σωματίδια υπάρχουν σε μια δεδομένη κατάσταση θα πρέπει να γίνονται ανεξάρτητα από τις συνθήκες υπό τις οποίες η εν λόγω κατάσταση διαμορφώνεται και υπάρχει. Με άλλα λόγια θα πρέπει να είμαστε σε θέση να βεβαιώσουμε την αριθμητική διαφορά των κβαντικών σωματιδίων ακόμα κι αν αυτά βρίσκονται σε συζευγμένες καταστάσεις, στις οποίες είναι μη διακρίσιμα και η εξατομίκευσή τους δεν είναι δυνατή.

Ενόψει αυτού του αιτήματος ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι διαφορετικές απόψεις γύρω από τον τρόπο ύπαρξης των κβαντικών σωματιδίων στις συζευγμένες καταστάσεις. Όλοι καταρχήν συμφωνούν ότι τα σύνθετα κβαντικά συστήματα εξ αιτίας των συζεύξεων είναι *μη διαχωρίσιμα* (non-separable) με αποτέλεσμα να επιδεικνύουν μια ολιστική συμπεριφορά. Όμως η μη διαχωρισιμότητα των κβαντικών συστημάτων μπορεί να ερμηνεύεται είτε ως ισχυρός ολισμός όπου το σύστημα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα όλο και κάθε αναφορά στα «μέρη» του θα ήταν παραπλανητική, είτε ως ασθενής ολισμός όπου αναγνωρίζουμε το σύνθετο χαρακτήρα του συστήματος, του οποίου όμως τα μέρη του δεν επιδέχονται μια ανεξάρτητη περιγραφή. Οι συνέπειες των δύο αυτών ερμηνειών στην αριθμησιμότητα των κβαντικών συστημάτων είναι προφανείς. Σύμφωνα με την ισχυρή εκδοχή του ολισμού δύο ηλεκτρόνια όταν αλληλεπιδρούν δεν μπορούν πλέον να νοούνται ως δύο διαφορετικά σωματίδια· η αλληλεπίδρασή τους έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός συστήματος/αντικειμένου με διπλάσια μάζα και διπλάσιο φορτίο. Ωστόσο θα δούμε ότι αυτή η εκδοχή του ολισμού είναι ιδιαίτερα ισχυρή, εφόσον είναι δυνατόν και υπό κατάλληλες συνθήκες συμβαίνει η αριθμητική διαφορά δύο σωματιδίων να μην αμφισβητείται, τουλάχιστον πειστικά, ακόμα κι όταν τα σωματίδια βρίσκονται σε συζευγμένες καταστάσεις. Έχουμε ως εκ τούτου λόγους να προτιμήσουμε την ασθενή εκδοχή του ολισμού, σύμφωνα με την οποία στις συζευγμένες καταστάσεις τα κβαντικά σωματίδια διατηρούν την αριθμητική τους διαφορά αν και δεν βρίσκονται το καθένα στη δική του ξεχωριστή κατάσταση.

Ο δεύτερος άξονας της συζήτησης περί των εννοιών της διακρισιμότητας και της ατομικότητας αφορά την ικανότητα των κβαντικών σωματιδίων να γίνονται φορείς αναφορικών συμβόλων είτε αυτά είναι (κύρια) ονόματα, είτε είναι αναγνωριστικοί δείκτες (ή ετικέτες). Η ικανότητα ενός αντικειμένου να φέρει ένα όνομα είναι απόδειξη εξατομικευμένης συμπεριφοράς και όταν στο πλαίσιο μια φυσικής θεωρίας είμαστε σε θέση να κρίνουμε αν τα αντικείμενά της κατέχουν την εν λόγω ικανότητα, τότε μπορούμε να λέμε ότι αυτά συμπεριφέρονται ως άτομα. Συνεπώς το ερώτημα περί της ατομικότητας των κβαντικών σωματιδίων συνδέεται άμεσα με τη δυνατότητα που μας δίνει η κβαντική θεωρία να αναφερόμαστε στο κάθε σωματίδιο ξεχωριστά κάνοντας χρήση αναφορικών συμβόλων. Εντούτοις η πλειοψηφία των ερευνητών αποφαίνεται και εύλογα, ότι οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στις αναπαραστάσεις συζευγμένων καταστάσεων στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής δεν λειτουργούν γενικά ως αναφορικά σύμβολα. Αρκετοί επίσης ερευνητές θεωρούν ότι η συμπερίληψή τους στα στοιχεία του φορμαλισμού είναι παραπλανητική, διότι δημιουργεί την ψευδαίσθηση ότι τα κβαντικά σωματίδια των συζευγμένων καταστάσεων, παρά την οντική μη διακρισιμότητά τους, είναι άτομα. Για τον λόγο αυτό προτείνουν ως καταλληλότερο τον φορμαλισμό του χώρου Fock της μη σχετικιστικής κβαντικής θεωρίας πεδίων, όπου το ερώτημα «ποια είναι η πιθανότητα το

σωματίδιο α να βρεθεί στην κατάσταση s μετά από την κατάλληλη μέτρηση;» αντικαθίσταται από το ερώτημα «πόσα σωματίδια και με ποια πιθανότητα μπορούν να βρεθούν στην κατάσταση s μετά την κατάλληλη μέτρηση;». Σε αντίθεση με το πρώτο ερώτημα η απάντηση στο δεύτερο δεν απαιτεί τη χρήση δεικτών. *Ωστόσο θα δούμε ότι ο πλήρης εξοβελισμός των δεικτών από τις αναπαραστάσεις των κβαντικών συστημάτων έχει ως αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις τη μη πλήρη περιγραφή τους διότι η απουσία των δεικτών αποκρύπτει πληροφορίες γύρω από την κατάστασή τους.* Στις ειδικές αυτές περιπτώσεις υπάρχει δυνατότητα εξατομικευμένης αναφοράς στα σωματίδια του συστήματος, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση των δεικτών. Ο ρόλος των αναφορικών συμβόλων στην κβαντική φυσική καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε την εμπλοκή των κβαντικών σωματιδίων στη δημιουργία συστημάτων και θα μας απασχολήσει στο 6^ο κεφάλαιο.

Το 7^ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας είναι αφιερωμένο στις μεταφυσικές θεωρίες περί αντικειμένων και διερευνά την έννοια της εξατομίκευσης με τη μεταφυσική της σημασία. Διερευνά συγκεκριμένα τη δυνατότητα να υπάρχει μια αρχή ατομικότητας, χάριν της οποίας τα αντικείμενα επιδεικνύουν εξατομικευμένη συμπεριφορά, η οποία να είναι συμβατή με τη διττή ως προς την ατομικότητα φύση των κβαντικών σωματιδίων. Σκοπός μας είναι να αναδείξουμε το αδιέξοδο στο οποίο περιέρχονται οι αναγωγιστικές μεταφυσικές θεωρίες περί αντικειμένων, οι οποίες αντιμετωπίζουν τα αντικείμενα ως συμπλέγματα άλλων απλούστερων οντοτήτων. Τέτοιου είδους θεωρίες είναι η θεωρία «δέσμης», η οποία ορίζει το αντικείμενο ως ένα σύμπλεγμα ιδιοτήτων και μόνο ιδιοτήτων και η θεωρία «υποστρώματος», η οποία ορίζει το αντικείμενο ως ένα σύμπλεγμα ιδιοτήτων που εμφυτεύονται ή φέρονται από μια άλλης οντολογικής κατηγορίας οντότητα, την οποία αποκαλούμε «υπόστρωμα» ή «γυμνό καθέκαστο». Το πρόβλημα με τις εν λόγω θεωρίες είναι ότι ο προσδιορισμός των αντικειμένων ως ένα σύμπλεγμα απλούστερων οντοτήτων, επιβάλλει η αρχή ατομικότητας να συμπεριλαμβάνεται στα μεταφυσικά συστατικά του αντικειμένου. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η μεταφυσική σχέση εξατομίκευσης δεν μπορεί να είναι ενδεχομενική, αποκλείει κάθε δυνατότητα διττής συμπεριφοράς.

Στον αντίποδα των αναγωγιστικών θεωριών βρίσκεται η θεωρία «υποστάσεων», σύμφωνα με την οποία τα αντικείμενα είναι οντότητες, οι οποίες παρόλο που έχουν μια κάποια εσωτερική δομή, δεν θεωρούνται συμπλέγματα άλλων απλούστερων οντοτήτων. Είναι οντολογικά πρότερα των ιδιοτήτων τους. Οι ιδιότητές τους δεν είναι μεταφυσικά συστατικά τους αλλά *τρόποι* (mode) του είναι τους. Στο πυρήνα αυτής της θεωρίας βρίσκεται η έννοια του είδους: κάθε αντικείμενο είναι αντικείμενο ενός ορισμένου είδους και το είδος στο οποίο υπάγεται ένα αντικείμενο όχι μόνο καθορίζει κάθε δυνατό τρόπο του είναι του αλλά εγγυάται αφενός την εσωτερική του

ενότητα, χάριν της οποίας το αντικείμενο είναι «ένα», αφετέρου καθορίζει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες το αντικείμενο επιδεικνύει εξατομικευμένη συμπεριφορά. Το σλόγκαν «τα αντικείμενα αριθμούνται και εξατομικεύονται κατά είδος» χαρακτηρίζει την θεωρία «υποστάσεων» και δείχνει ότι στο πλαίσιο αυτής της θεωρίας δεν υπάρχει ανάγκη μια αρχής ατομικότητας, η οποία να εγγυάται την ατομικότητά του κάθε αντικειμένου· η ατομικότητα είναι τρόπος του αντικειμένου, τον οποίο πραγματώνει όταν βρεθεί σε συνθήκες που είναι συνθήκες ταυτότητας γι αυτό.

Αν όμως η ατομικότητα εκλαμβάνεται ως τρόπος ύπαρξης των αντικειμένων, η διάκριση μεταξύ των εννοιών της αριθμησιμότητας και της ατομικότητας, την οποία θεωρούμε αναγκαία ώστε τα κβαντικά σωματίδια να είναι αντικείμενα, ξεπερνά τις δυσκολίες που συναντά στο πλαίσιο των αναγωγιστικών θεωριών. Ωστόσο το γεγονός αυτό από μόνο του δεν θα ήταν ικανός λόγος να στραφούμε προς τη θεωρία «υποστάσεων» αν η ίδια αυτή θεωρία δεν αποδεικνυόταν ως η πλέον κατάλληλη μέσα από τον τρόπο άσκησης της φυσικής επιστήμης είτε σε θεωρητικό είτε σε πειραματικό επίπεδο. Όπως θα δούμε στο 8^ο και τελευταίο κεφάλαιο αυτής της εργασίας στα εργαστήρια φυσικής τα κβαντικά σωματίδια ανιχνεύονται πάντα ως σωματίδια ορισμένου είδους από συγκεκριμένες μετρικές διατάξεις που κατασκευάζονται γι αυτόν το σκοπό· θα δούμε επίσης ότι στο πλαίσιο της θεωρητικής φυσικής τα σωματίδια συγκροτούνται ως φορείς ιδιοτήτων μέσα από μια διαδικασία συγκρότησης, η οποία όμως ισοδυναμεί με τη διαδικασία ταξινόμησής τους σε είδη. Τα στοιχεία αυτά συνηγορούν υπέρ της άποψης ότι τα κβαντικά σωματίδια υπάρχουν και ανιχνεύονται ως σωματίδια ορισμένου είδους, γεγονός που με τη σειρά του συνηγορεί υπέρ της θεωρίας «υποστάσεων».

Στο 8^ο επίσης κεφάλαιο τίθεται το αίτημα της καθολικότητας της έννοιας του αντικειμένου, το οποίο συνδέουμε με το αίτημα μιας καθολικής φυσικής θεωρίας. Είναι φανερό ότι αν θέλουμε τα κβαντικά σωματίδια να είναι αντικείμενα, τότε πρέπει να είναι μεταφυσικά δυνατό κάτι που είναι αντικείμενο να μην είναι την ίδια στιγμή άτομο. Είναι επίσης φανερό ότι οι κλασικά νοούμενες έννοιες «σωματίδιο» και «πεδίο» δεν συλλαμβάνουν αυτό που συμβαίνει στον υποατομικό κόσμο και ότι δεν υφίστανται ως έννοιες σε οποιαδήποτε κβαντική θεωρία. Στην πραγματικότητα στις κβαντικές θεωρίες συμβαίνει μια σύνθεση, η οποία επιτρέπει το χειρισμό τόσο των σωματιδίων όσο και των πεδίων μέσα σε ένα ομοιόμορφο θεωρητικό πλαίσιο εντός του οποίου οι κλασικές φυσικές θεωρίες φαίνεται να υπάρχουν ως κατάλληλα όρια μιας υποκείμενης κβαντικής πραγματικότητας. Στα ίδια όρια επίσης βρίσκει εφαρμογή και η «κλασική» έννοια του αντικειμένου, η οποία κατ' αναλογία θα πρέπει να θεωρείται ως το κλασικό όριο της γενικευμένης έννοιας «αντικείμενο», όπως αυτή διαμορφώνεται στη βάση της υποκείμενης κβαντικής πραγματικότητας.

Στη βάση όμως όλων αυτών των συζητήσεων βρίσκεται η στατιστική μηχανική, μέσω της οποίας μαθαίνουμε για τη συλλογική συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων και καταγράφουμε τους περιορισμούς που οι έννοιες της διακρισιμότητας και της ατομικότητας αντιμετωπίζουν κατά την εφαρμογή τους στον κβαντικό κόσμο. Ο Erwin Schrödinger, μεγάλος πρωταγωνιστής στην edραίωση της κβαντικής μηχανικής και δεινός γνώστης ο ίδιος της στατιστικής επιστήμης έχει πει ότι «η κβαντική μηχανική γεννήθηκε στη στατιστική και θα τελειώσει με αυτή»²⁸ τονίζοντας με τον τρόπο αυτό τη μεγάλη συμβολή της στατιστικής μελέτης στην αποκάλυψη των μυστικών του υποατομικού κόσμου. Βέβαια η στατιστική επιστήμη δεν προσφέρει τα εργαλεία της μόνο στην κβαντική μηχανική. Στις μεθόδους της καταφεύγουν και οι φυσικοί, οι οποίοι εργάζονται με κλασικά συστήματα όταν δεν υπάρχει δυνατότητα εξατομικευμένης μελέτης. Η κοινή επιστημονική μέθοδος δίνει τη δυνατότητα άμεσων συγκρίσεων μεταξύ κλασικών και κβαντικών συστημάτων και γι αυτό τα αποτελέσματα της στατιστικής μελέτης τροφοδότησαν και τροφοδοτούν σε μεγάλο βαθμό το φιλοσοφικό διάλογο γύρω από τη φύση των κβαντικών σωματιδίων και των διαφορών τους από τα κλασικά ομόλογά τους. Τα αποτελέσματα της στατιστικής μελέτης κλασικών και κβαντικών συστημάτων και η ερμηνεία τους θα μας απασχολήσουν στο 2^ο κεφάλαιο που ακολουθεί.

²⁸ Moore, W., (1989), *Schrödinger: Life and Thought*, Cambridge University Press p416

2

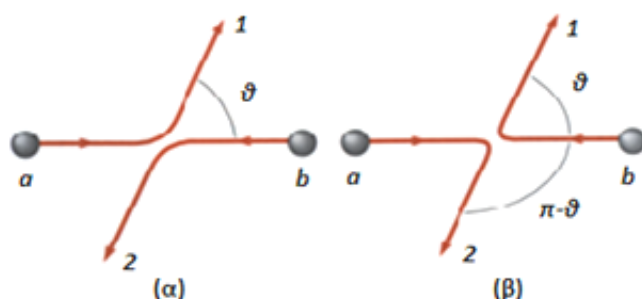
Κβαντική Στατιστική

Ερμηνείες και Παρερμηνείες

2.1. Η μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων

Η αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού οδηγεί σε μια καθοριστική για την θεμελίωση της κβαντικής μηχανικής διαπίστωση: τα *όμοια* (identical) κβαντικά σωματίδια είναι *εγγενώς μη διακρίσιμες* οντότητες υπό την έννοια ότι η μη διακρισιμότητά τους δεν οφείλεται σε τεχνικές δυσκολίες της παρατήρησης. Η σκέδαση δύο ηλεκτρονίων είναι ένα παράδειγμα, το οποίο δανειζόμαστε από ένα εγχειρίδιο σύγχρονης φυσικής²⁹ και θα μας βοηθήσει να διευκρινίσουμε το νόημα αυτής της διαπίστωσης. Στην εικόνα 2.1 απεικονίζονται δύο διαφορετικά συμβάντα όπου η σκέδαση των δύο ηλεκτρονίων φαίνεται να είναι κατά πολύ ισχυρότερη στην περίπτωση (β). Όπως όμως δείχνει η εικόνα το παραγόμενο αποτέλεσμα είναι το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις, εφόσον μετά την κρούση το καθένα από τα δύο όμοια σωματίδια εμφανίζεται να κινείται είτε στη διαδρομή 1 είτε

στη 2, χωρίς να μπορούμε να αποφανθούμε εάν είναι το *a* ή το *b* ηλεκτρόνιο που ακολουθεί τη διαδρομή 1. Συνεπώς η καταγραφή του τελικού αποτελέσματος από μόνη της δεν μας πληροφορεί ποιο από τα δύο γεγονότα έχει πράγματι συμβεί. Ο μόνος τρόπος να έχουμε αυτή την πληροφορία θα ήταν να ακολουθήσουμε το κάθε ηλεκτρόνιο



Εικόνα 2.1 Κλασική απεικόνιση του φαινομένου της σκέδασης δύο ηλεκτρονίων κατά την οποία το κάθε ηλεκτρόνιο φαίνεται να διαγράφει τη δική του ξεχωριστή τροχιά. Σε κάθε παρατηρούμενη γωνία εκτροπής θα αντιστοιχούν δύο διαφορετικά συμβάντα.

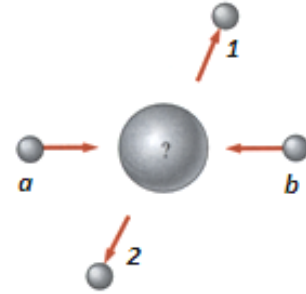
κατά τη διαδρομή του και να καταγράψουμε την τροχιά του. Ωστόσο η τροχιά είναι μια κλασική έννοια που στην κβαντική φυσική δεν βρίσκει εφαρμογή παρά μόνο σε πολύ ειδικές συνθήκες, στις οποίες τα σωματίδια εκδηλώνουν τη σωματιδιακή μάλλον παρά την κυματική τους φύση. Στις συνθήκες όμως υπό τις οποίες λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της σκέδασης ευνοούνται τα κυματικά φαινόμενα, εφόσον τα δύο σωματίδια έρχονται αρκετά κοντά το ένα στο άλλο με αποτέλεσμα οι κυματοσυναρτήσεις τους να αλληλεπικαλύπτονται σε μεγάλο βαθμό. Αυτό έχει ως συνέπεια η πιθανότητα να ανιχνευθεί το ηλεκτρόνιο *a* σε ένα στοιχειώδη όγκο στην περιοχή

²⁹ Το παράδειγμα της σκέδασης των δύο ηλεκτρονίων μαζί με τα σχήματα που το συνοδεύουν παρατίθεται στο εγχειρίδιο φυσικής με τίτλο *Σύγχρονη Φυσική* του Στάφανου Τραχανά από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2000). Σελ. 269-70

σκέδασης να μην αποκλείει την πιθανότητα να ανιχνευθεί στον ίδιο στοιχειώδη όγκο και το ηλεκτρόνιο b . Υπό μία έννοια θα λέγαμε λοιπόν ότι η απροσδιοριστία της θέσης που πηγάζει από την κυματική φύση των σωματιδίων επικαλύπτει η μια την άλλη και ότι η «ασάφεια» στις ενδεχόμενες «τροχιές» τους εκτείνεται μέσα στα ίδια χωρικά όρια.

Ωστόσο θα πρέπει για να αποφύγουμε τις παρεξηγήσεις να διευκρινίσουμε για μια ακόμη φορά ότι η απροσδιοριστία της θέσης και η συνεπαγόμενη «ασάφεια» στον καθορισμό της τροχιάς των δύο ηλεκτρονίων, δεν οφείλονται στην άγνοια του παρατηρητή. Κάτι τέτοιο θα σήμαινε ότι το κάθε ηλεκτρόνιο διαγράφει μια καλά καθορισμένη τροχιά, την οποία απλώς δεν γνωρίζουμε επειδή δεν έχουμε πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες που αφορούν την εξέλιξη του φαινομένου.

Αυτό όμως δεν ισχύει. Η απροσδιοριστία της θέσης και η συνεπαγόμενη ασάφεια της τροχιάς οφείλονται στις κυματικές ιδιότητες των κβαντικών σωματιδίων και δεν αφορούν την κατάσταση του παρατηρητή. Σπείδουμε



Εικόνα 2.2 Η έννοια της τροχιάς δεν εφαρμόζεται στο φαινόμενο της σκέδασης και δεν μπορούμε εκ του αποτελέσματος να ξεχωρίσουμε τα ηλεκτρόνια μεταξύ τους.

λοιπόν να επισημάνουμε ότι τα ενδεχόμενα (α) και (β) της εικόνας 2.1 συνιστούν μια κλασική ανάγνωση του φαινομένου της σκέδασης των ηλεκτρονίων, η οποία δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή για ένα κατ' εξοχήν κβαντικό φαινόμενο. Οι δύο εναλλακτικές δυνατότητες που στην κλασική φυσική θα ήταν διαθέσιμες προκειμένου να εξηγήσουμε τη σκέδαση των ηλεκτρονίων κατά γωνία θ στην κβαντική φυσική συμφύρονται σε ένα μοναδικό συμβάν και ο πιο κατάλληλος τρόπος να το απεικονίσουμε δίνεται στην εικόνα 2.2.

Με αναφορά στην εικόνα 2.2 ας υποθέσουμε ότι διακρίνουμε αρχικά τα δύο ηλεκτρόνια ονομάζοντας a το εξ αριστερών και b το εκ δεξιών προερχόμενο. Για την κλασική φυσική υπάρχουν δύο εναλλακτικές προτάσεις που περιγράφουν το εικονιζόμενο αποτέλεσμα. Η πρώτη λέει ότι «το ηλεκτρόνιο a ακολουθεί τη διαδρομή 1 και το ηλεκτρόνιο b ακολουθεί τη διαδρομή 2», ενώ η δεύτερη λέει ότι «το ηλεκτρόνιο b ακολουθεί τη διαδρομή 1 και το ηλεκτρόνιο a ακολουθεί τη διαδρομή 2». Οι δύο αυτές προτάσεις προκύπτουν η μια από την άλλη μέσω της αμοιβαίας εναλλαγής των ονομάτων a και b και περιγράφουν δύο διαφορετικά συμβάντα εκ των οποίων το ένα πράγματι έχει συμβεί ακόμα κι αν, εξ αιτίας της ομοιότητας των σωματιδίων, δεν γνωρίζουμε ποιο είναι αυτό. Για την κβαντική φυσική όμως η αμοιβαία εναλλαγή των ονομάτων δεν οδηγεί σε μια διαφορετική περιγραφή και οι δύο εναλλακτικές προτάσεις περιγράφουν ένα και το αυτό συμβάν. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνουμε ότι *μετά την αλληλεπίδρασή τους τα δύο ηλεκτρόνια είναι πλέον μη διακρίσιμα* και μια υποτιθέμενη αμοιβαία εναλλαγή τους δεν έχει

καμιά πραγματική συνέπεια: το φυσικό σύστημα που συγκροτούν παραμένει κυριολεκτικά στην ίδια κατάσταση.

Η παραπάνω ανάλυση, η οποία γενικεύεται για όλα τα κβαντικά συστήματα που αποτελούνται από ένα πλήθος όμοιων σωματιδίων, δείχνει υπό ποία έννοια τα κβαντικά σωματίδια θεωρούνται μη διακρίσιμες οντότητες. Στην καρδιά αυτής της θεώρησης βρίσκεται ένα *αίτημα*, στο οποίο θα αναφερόμαστε ως *Αίτημα του Αναλλοίωτου υπό Μεταθέσεις* (AAM) (Permutation Invariance Requirement)³⁰, σύμφωνα με το οποίο *οι αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων αφήνουν αναλλοίωτη την κατάσταση του συστήματος στο οποίο μετέχουν*. Το AAM είναι αυτό που τυπικά εξηγεί τις διαφορές μεταξύ κλασικής και κβαντικής στατιστικής. Η στατιστική μελέτη δείχνει ότι τα κβαντικά σωματίδια σε αντίθεση με τα κλασικά ομολογούν, ικανοποιούν το AAM και υπό αυτή την έννοια θα χαρακτηρίζονται *στατιστικά μη διακρίσιμες οντότητες*. Θα πρέπει ωστόσο από την αρχή να διευκρινισθεί ότι το AAM επιδέχεται δύο ερμηνείες, μια ασθενή και μια ισχυρή. Σύμφωνα με την ασθενή ερμηνεία οι αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων αφήνουν αναλλοίωτη την κατάσταση του συστήματος υπό την έννοια ότι δεν έχουν παρατηρήσιμες συνέπειες ή ισοδύναμα ότι οι αναμενόμενες τιμές όλων των παρατηρήσιμων μεγεθών παραμένουν ίδιες. Στη περίπτωση αυτή οι αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων οδηγούν σε ποιοτικά μη διακρίσιμες όμως αριθμητικά διαφορετικές καταστάσεις. Σύμφωνα όμως με την ισχυρή ερμηνεία οι αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων αφήνουν το σύστημα στην *ίδια κυριολεκτικά κατάσταση*, δηλαδή οι καταστάσεις του συστήματος πριν και μετά τις αμοιβαίες μεταθέσεις σωματιδίων δεν διαφέρουν ούτε ποιοτικά, ούτε όμως και αριθμητικά. Όπως θα έχουμε στη συνέχεια την ευκαιρία να διαπιστώσουμε, στη στατιστική μηχανική το AAM εφαρμόζεται με το νόημα που του δίνει η ισχυρή ερμηνεία και υπό το φως αυτής της ερμηνείας κωδικοποιούνται και γίνονται σαφείς οι διαφορές μεταξύ κβαντικής και κλασικής στατιστικής.

2.2 Η στατιστική μηχανική αποκαλύπτει τα «μυστικά» του μικρόκοσμου

Η στατιστική μηχανική υπήρξε ανέκαθεν προνομιακός χώρος αναζήτησης απαντήσεων σε ερωτήματα που αφορούν τη φύση των κβαντικών σωματιδίων όχι μόνο επειδή τα ευρήματα της μεταφέρουν πληροφορίες που αφορούν τις οντότητες του μικρόκοσμου, αλλά κυρίως επειδή οι

³⁰ Η ονομασία που προτάθηκε αρχικά από τους Greenberg και Messiah (1964) ήταν «Indistinguishability Postulate». Ωστόσο θα ακολουθήσουμε τις επιλογές άλλων ερευνητών [van Fraassen (1991), French and Rickles (2003)] που αναφέρονται στην αρχή με τον τίτλο «Permutation Invariance Requirement (ή Principle)». Η επιλογή αυτή αποδίδει καλύτερα το νόημα της αρχής, διότι αυτό που έχει σημασία να τονισθεί είναι ότι το εν λόγω Αίτημα (ή Αρχή) αφορά το αναλλοίωτο των *καταστάσεων* των κβαντικών συστημάτων και όχι τη μη διακρισιμότητα των σωματιδίων τους. Η μη διακρισιμότητα είναι ένα παραπέρα συμπέρασμα το οποίο στηρίζεται μεν στο AAM, δεν έχει όμως γενικευμένη ισχύ υπό την έννοια ότι υπάρχουν συνθήκες υπό τις οποίες τα κβαντικά σωματίδια είναι διακρίσιμα.

πληροφορίες αυτές αναδεικνύουν σαφείς διαφορές μεταξύ κβαντικών και κλασικών σωματιδίων. Η στατιστική μελέτη έδειξε ότι οι τιμές ορισμένων μακροσκοπικών μεγεθών που παρατηρούνται για θερμοδυναμικά συστήματα μεγάλου αριθμού όμοιων κβαντικών σωματιδίων δεν δικαιολογούνται παρά μόνο εάν δεχθούμε ότι τα συστήματα αυτά ικανοποιούν το *Αίτημα του Αναλλοίωτου υπό Μεταθέσεις-AAM*. Πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα, το οποίο οφείλουμε στη στατιστική μηχανική και στο οποίο δεν θα ήταν υπερβολή να πούμε ότι θεμελιώθηκε η κβαντική μηχανική.

Πώς όμως από μακροσκοπικές παρατηρήσεις καταλήγουμε σε συμπεράσματα που αφορούν τη φύση και τον τρόπο ύπαρξης των σωματιδίων που συγκροτούν το υπό μελέτη σύστημα; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό βρίσκεται στη μέθοδο που εφαρμόζει η στατιστική μηχανική. Υπάρχει καταρχήν ένα κεντρικό ερώτημα που κατευθύνει την έρευνα, στο οποίο θα αναφερόμαστε ως *Συνδυαστικό Ερώτημα (ΣΕ)* και το οποίο διατυπώνεται ως εξής:

ΣΕ: «*με πόσους διαφορετικούς τρόπους ένα σύνολο n ως προς το πλήθος όμοιων σωματιδίων κατανέμονται σε m ξεχωριστές καταστάσεις;*»

Το ΣΕ μας δείχνει ότι αυτό που κυρίως απασχολεί τη στατιστική μηχανική είναι, όταν ένα μεγάλο αλλά πεπερασμένο πλήθος όμοιων σωματιδίων πρόκειται να κατανεμηθεί σε ένα πλήθος καταστάσεων, να υπολογίσει τον αριθμό των διαφορετικών *κατανομών* ή *διαμορφώσεων* (configurations) που είναι δυνατόν να προκύψουν, καθώς επίσης και την πιθανότητα της κάθε μιας εξ αυτών να συμβεί. Οι υπολογισμοί βασίζονται σε ορισμένες παραδοχές που αφορούν τη φύση και τη συμπεριφορά του κάθε σωματιδίου ξεχωριστά, και διαμορφώνουν μια εικόνα για τον μικρόκοσμο, ή ένα στατιστικό μοντέλο. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία, η οποία οδηγεί τελικά στην πρόβλεψη και μάλιστα με πολύ μεγάλη ακρίβεια, των τιμών ορισμένων παρατηρήσιμων μεγεθών, οι οποίες στη συνέχεια ελέγχονται πειραματικά. Η πειραματική επιβεβαίωση ή διάψευση των προβλέψεων ελέγχει ουσιαστικά την καταλληλότητα του στατιστικού μοντέλου στο οποίο βασίζονται οι υπολογισμοί, ελέγχει δηλαδή κατά πόσο το μοντέλο που συγκροτούν οι αρχικές παραδοχές για τη φύση των σωματιδίων μπορεί να περιγράψει τη συμπεριφορά πραγματικών θερμοδυναμικών συστημάτων. Η μέθοδος της στατιστικής μηχανικής ανέδειξε τρία διαφορετικά μοντέλα: το κλασικό μοντέλο Maxwell-Boltzmann και τα δύο κβαντικά μοντέλα Bose-Einstein και Fermi-Dirac. Το κριτήριο με βάση το οποίο ένα στατιστικό μοντέλο χαρακτηρίζεται κλασικό ή κβαντικό παρέχεται από το AAM. Συγκεκριμένα η απόρριψη του AAM οδηγεί στη στατιστική Maxwell-Boltzmann (MB) ενώ η αποδοχή του στις στατιστικές Bose-Einstein (BE) και Fermi-Dirac (FD).

2.3 Η κλασική στατιστική Maxwell-Boltzmann

Η απόρριψη του AAM είναι η μια από τις δύο βασικές παραδοχές τις οποίες υιοθετεί η στατιστική Maxwell-Boltzmann. Η απόρριψη του AAM σημαίνει ότι παρόλο που τα σωματίδια του συστήματος είναι όμοια μεταξύ τους, έχουν δηλαδή τις ίδιες εγγενείς ιδιότητες ή είναι σωματίδια του ίδιου είδους, κάθε φορά που δύο εξ αυτών ανταλλάσσουν τις καταστάσεις τους, το όλο σύστημα οδηγείται σε μια νέα κατάσταση. Βέβαια η αμοιβαία μετάθεση όμοιων σωματιδίων δεν έχει παρατηρήσιμες συνέπειες και η κατάσταση στην οποία περιέρχεται το σύστημα μετά από κάθε αμοιβαία μετάθεση σωματιδίων είναι *ποιοτικά μη διακρίσιμη* από την αρχική. Ωστόσο η έλλειψη ποιοτικής διαφοράς δεν εμποδίζει τη στατιστική MB να προσμετρά ως *δύο* τις καταστάσεις αυτές. Αυτό συμβαίνει διότι στη στατιστική MB η απόρριψη του AAM συνοδεύεται από δευτερεύουσες παραδοχές, ακόμα κι αν αυτές δεν διατυπώνονται ρητά, με βάση τις οποίες τα σωματίδια από τη σκοπιά της στατιστικής είναι διακρίσιμα. Η διακρισιμότητά τους προφανώς δεν οφείλεται σε κάποιες εγγενείς ποιότητες των σωματιδίων, διότι αυτές είναι εξ ορισμού ίδιες. Πιθανόν να οφείλεται σε κάποιο άλλο ποιοτικό χαρακτηριστικό ή σε κάποιο μη ποιοτικό παράγοντα, ή ακόμα να είναι ένα μη αναγώγιμο γεγονός που απορρέει από την ίδια τη φύση των σωματιδίων και τον τρόπο ύπαρξής τους. Όποια κι αν είναι όμως η εξήγηση αυτό που έχει σημασία να κρατήσουμε στην παρούσα φάση είναι ότι η στατιστική διακρισιμότητα των σωματιδίων που υποστηρίζεται από τη στατιστική MB εννοιολογικά ταυτίζεται με την απόρριψη του AAM στην ισχυρή εκδοχή του.

Η δεύτερη παραδοχή του μοντέλου MB θεωρεί ότι δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των σωματιδίων, τα οποία μπορούν να βρεθούν στην ίδια κατάσταση. Ως προς αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε ότι στο μοντέλο MB η έννοια της κατάστασης νοείται με τον τρόπο που την ορίζει η κλασική φυσική. Ας θυμηθούμε ότι στην κλασική φυσική η κατάσταση ενός σωματιδίου καθορίζεται από έξι συνολικά παραμέτρους, οι οποίες αντιστοιχούν στις συνιστώσες της ορμής και της θέσης του σωματιδίου στον πραγματικό τρισδιάστατο χώρο. Με τον τρόπο αυτό νοούμενες οι καταστάσεις αναπαριστώνται ως σημεία ενός μαθηματικού χώρου έξι διαστάσεων, τον οποίο έχουμε ονομάσει *χώρο των φάσεων*. Όταν λοιπόν δίνεται η μακροκατάσταση ενός συστήματος, ή με άλλα λόγια όταν δίνεται η συνολική του ενέργεια, τότε αυτή καθορίζει μια περιοχή (υπερεπιφάνεια) στο χώρο των φάσεων, της οποίας ο διαμερισμός σε ένα πλήθος υποπεριοχών ή κελιών καθορίζει το πλήθος των διαθέσιμων μονοσωματιδιακών καταστάσεων. Κατά συνέπεια όταν λέμε ότι στο κλασικό στατιστικό μοντέλο δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των σωματιδίων που μπορούν να βρεθούν στην ίδια κατάσταση εννοούμε ότι δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των σωματιδίων που μπορούν να βρεθούν στο ίδιο κελί της περιοχής του χώρου των φάσεων, η οποία καθορίζεται από τη

μακροκατάσταση του συστήματος.³¹

Με βάση τις αρχικές παραδοχές της η στατιστική MB απαντά στο ΣΕ με τον τύπο: $N(n,m)=m^n$ (2.1). Αν για παράδειγμα, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.1, δύο σωματίδια α_1 και α_2 είναι να καταλάβουν δύο διαφορετικές καταστάσεις, ο τύπος (2.1) μας λέει ότι αυτό μπορεί να γίνει με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους. Με δεδομένο δε ότι όλες οι δυνατές διαμορφώσεις του συστήματος έχουν την ίδια πιθανότητα να συμβούν συμπεραίνουμε ότι η

Στατιστική Maxwell-Boltzmann (διακρίσιμα σωματίδια)				
Δυνατές καταστάσεις	Δυνατές κατανομές			
	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
1 ^η	$\alpha_1,$ α_2		α_1	α_2
2 ^η		$\alpha_1,$ α_2	α_2	α_1
πιθανότητα	1/4	1/4	1/4	1/4

Πίνακας 2.1: Για δύο σωματίδια α_1 και α_2

και δύο καταστάσεις η στατιστική MB δίνει τέσσερις διαφορετικές κατανομές.

πιθανότητα της κάθε κατανομής είναι $1/4$. Ας εστιάσουμε όμως την προσοχή μας στην 3^η και 4^η κατανομή. Παρατηρούμε ότι, όταν τα δύο σωματίδια βρεθούν το ένα στην κατάσταση του άλλου, τότε προκύπτει μια διαφορετική κατανομή και άρα το όλο σύστημα οδηγείται σε μια νέα (μικρο)κατάσταση. Ωστόσο, όπως έχει ήδη λεχθεί, οι αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων δεν έχουν παρατηρήσιμες συνέπειες και οι καταστάσεις που αντιστοιχούν στην 3^η και 4^η κατανομή δεν έχουν ποιοτικές διαφορές. Όμως το κλασικό στατιστικό μοντέλο μας πληροφορεί για τις αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων, διότι η υπόθεση της στατιστικής διακρισιμότητάς τους υπεισέρχεται στη δομή του και ειδικότερα στον κανόνα καταμέτρησης του πλήθους των δυνατών διαμορφώσεων. Κατόπιν τούτου η εγκυρότητα της εν λόγω υπόθεσης ελέγχεται ταυτόχρονα με την εγκυρότητα του μοντέλου MB που την υιοθετεί.

Η στατιστική MB εφαρμόζεται επιτυχώς σε θερμοδυναμικά συστήματα που βρίσκονται σε συνθήκες υπό τις οποίες τα σωματίδιά τους δεν εκδηλώνουν κυματικές ιδιότητες. Τα πραγματικά αέρια είναι το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων συστημάτων. Όταν ο αριθμός των διαφορετικών κατανομών που δίνει ο τύπος (2.1) και οι τιμές των πιθανοτήτων που αποδίδονται σε κάθε μια από αυτές εισέρχονται στον υπολογισμό της εντροπίας των αερίων, οι υπολογισμοί καταλήγουν σε τιμές που επιβεβαιώνονται πειραματικά.

2.4 Οι κβαντικές στατιστικές Bose-Einstein και Fermi-Dirac

Τα κβαντικά μοντέλα Bose-Einstein και Fermi-Dirac εφαρμόζονται εκεί που αποτυγχάνει το μοντέλο Maxwell-Boltzmann, δηλαδή στις περιπτώσεις συστημάτων για τα οποία δεν είναι

³¹ Μόνο υπό την έννοια αυτή έχει νόημα να μιλάμε για ένα πλήθος σωματιδίων που βρίσκονται στην ίδια κατάσταση. Είναι προφανές ότι η κατάσταση δύο σωματιδίων δεν μπορεί την ίδια χρονική στιγμή να αναπαριστάνεται από το ίδιο σημείο του χώρου των φάσεων, διότι τότε θα έπρεπε τα σωματίδια να βρίσκονται και στην ίδια θέση του πραγματικού χώρου εφόσον οι χωρικές τους συντεταγμένες θα ταυτίζονταν τη δεδομένη χρονική στιγμή. Συνεπώς αυτό που συνιστά μονοσωματιδιακή κατάσταση στο μοντέλο MB είναι ένα σύνολο σημείων του χώρου των φάσεων τα οποία χαρακτηρίζονται από ενεργειακή και χωρική εγγύτητα.

πλέον δυνατόν να αγνοηθούν οι κυματικές ιδιότητες των σωματιδίων τους. Οι στατιστικές BE και FD από κοινού δέχονται το AAM. Η αποδοχή του AAM συνεπάγεται ότι από τη σκοπιά της στατιστικής τα σωματίδια είναι μη διακρίσιμα με αποτέλεσμα να αλλάζει ριζικά ο τρόπος με τον οποία τα δύο κβαντικά στατιστικά μοντέλα απαντούν στο ΣΕ. Για να είμαστε ακριβείς η αποδοχή του AAM αλλάζει ριζικά το ίδιο το νόημα του ερωτήματος. Έτσι όταν ένα σύνολο n *μη διακρίσιμων* σωματιδίων πρόκειται να κατανεμηθούν σε ένα σύνολο m καταστάσεων τότε αυτό που έχει σημασία δεν είναι πλέον *ποιο* σωματίδιο θα βρεθεί σε *ποια* κατάσταση, αλλά *ποιες* από τις διαθέσιμες καταστάσεις καταλαμβάνονται και από πόσα σωματίδια. Συνεπώς οι μετακινήσεις όμοιων σωματιδίων μεταξύ μονοσωματιδιακών καταστάσεων, αν συμβαίνουν, δεν οδηγούν το σύστημα σε μια νέα κατανομή αρκεί το πλήθος των σωματιδίων κάθε συγκεκριμένης κατάστασης να παραμένει αμετάβλητο.

Βέβαια η έννοια της κατάστασης στην κβαντική φυσική δεν είναι ίδια με την αντίστοιχη κλασική έννοια. Η διαφορά τους είναι διαφορά νοήματος και δεν αφορά μόνο τον τρόπο αναπαράστασης. Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, οι κλασικές καταστάσεις καθορίζονται από τις τιμές της θέσης και της ορμής και αναπαριστώνται ως σημεία στο χώρο των φάσεων. Ο χώρος των φάσεων είναι ένας συνεχής και ενιαίος χώρος αναπαράστασης, ο οποίος διαμορφώνεται πέρα και έξω από οποιαδήποτε πειραματική διαδικασία. Επιπλέον αυτό που στην κλασική στατιστική μηχανική ορίζεται ως *μία* κατάσταση ενός σωματιδίου είναι ένας στοιχειώδης όγκος στο χώρο των φάσεων και το πλήθος των m καταστάσεων προκύπτει από μια *αυθαίρετη* διαίρεση του χώρου των φάσεων σε m στοιχειώδεις όγκους.³² Στην κβαντική φυσική όμως η ταυτόχρονη γνώση της θέσης και της ορμής δεν είναι δυνατή και ο χώρος των φάσεων δεν είναι κατάλληλος χώρος αναπαράστασης των κβαντικών καταστάσεων.³³ Τουναντίον οι κβαντικές καταστάσεις καθορίζονται από την κατανομή των πιθανοτήτων πάνω στα δυνατά αποτελέσματα μιας μέτρησης ενός παρατηρήσιμου μεγέθους και αναπαριστώνται ως διανύσματα σε ένα χώρο Hilbert, του οποίου οι διαστάσεις αντιστοιχούν στο πλήθος των δυνατών αποτελεσμάτων της μέτρησης. Ως εκ τούτου ο χώρος Hilbert διαμορφώνεται πάντα σε σχέση με μια μετρική διαδικασία, της οποίας τα δυνατά αποτελέσματα ως συντεταγμένες αυτού του χώρου καθορίζονται από τους νόμους και τα αξιώματα της κβαντικής φυσικής.³⁴ Έτσι

³² Σε κάθε περίπτωση υπάρχουν πάντα περισσότεροι του ενός τρόποι να ορισθούν οι διαθέσιμες καταστάσεις ενός κλασικού συστήματος, όσοι είναι οι δυνατοί τρόποι διαμερισμού της υπερεπιφάνειας του χώρου των φάσεων που οριοθετείται από τους περιορισμούς της ολικής ενέργειας και του πλήθους των σωματιδίων.

³³ Στην κβαντική φυσική τα μεγέθη της θέσης και της ορμής είναι *ασύμμετρα* (incommensurable) μεταξύ τους υπό την έννοια ότι δεν υπάρχει πειραματική διαδικασία που να μετράει ταυτόχρονα τις τιμές και των δύο μεγεθών ώστε να είναι δυνατή η ταυτόχρονη γνώση τους. Αντίθετα ένα πείραμα που στήνεται για να ανιχνεύσει την θέση ενός σωματιδίου έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια κάθε πληροφορίας που αφορά την τιμή της ορμής του και αντίστροφα.

³⁴ Τον κύριο ρόλο στον προσδιορισμό των κβαντικών καταστάσεων παίζει ο τελεστής ενέργειας ή η χαμιλτονιανή του συστήματος που αναπαριστάνει το σύνολο της κινητικής και δυναμικής ενέργειας και ενσωματώνει όλες τις πληροφορίες που αφορούν την ενεργειακή κατάσταση και τη δυναμική εξέλιξή του. Η γνώση της χαμιλτονιανής

αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στη κλασική περίπτωση, σε ένα κβαντικό σύστημα ο καθορισμός του πλήθους των καταστάσεων δεν είναι θέμα επιλογής. Το *ποιες* και *πόσες* είναι οι διαθέσιμες καταστάσεις ενός κβαντικού συστήματος καθορίζεται από την ίδια τη θεωρία και καμιά αυθαιρεσία δεν υπεισέρχεται σε αυτό.

Στις στατιστικές BE και FD οι καταστάσεις νοούνται με τον τρόπο που τις ορίζει η κβαντική φυσική και στις καταστάσεις αυτές τα σωματίδια ικανοποιούν το AAM. Πέραν τούτου τα δύο κβαντικά στατιστικά μοντέλα διαφοροποιούνται ως προς το πλήθος των σωματιδίων, τα οποία είναι δυνατόν να βρεθούν στην ίδια κατάσταση. Σε συμφωνία με το μοντέλο MB, η στατιστική BE δεν θέτει περιορισμούς στον αριθμό των σωματιδίων που καταλαμβάνουν μια ορισμένη κατάσταση. Αντίθετα η στατιστική FD διαμορφώνεται ώστε να υπακούει στην *Απαγορευτική Αρχή* – AA (Exclusion Principle) του Pauli, η οποία ορίζει ότι για ένα δεδομένο πλήθος σωματιδίων και ένα δεδομένο πλήθος καταστάσεων, σε κάθε κατάσταση μπορεί να βρεθεί το πολύ ένα σωματίδιο. Κατόπιν τούτων η απάντηση της στατιστικής BE στο συνδυαστικό ερώτημα δίνεται από τον τύπο:

$$N(n, m) = \binom{n+m-1}{n} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!} \quad (2.2)^{35}$$

Ο Πίνακας 2.2 δίνει το αποτέλεσμα της εφαρμογής του τύπου (2.2) στην απλή περίπτωση κατά την οποία δύο σωματίδια πρόκειται να κατανεμηθούν σε δύο καταστάσεις. Η στατιστική BE οδηγεί σε τρεις διαφορετικές κατανομές και αν υποθέσουμε ότι η κάθε μια έχει την ίδια πιθανότητα να συμβεί, η πιθανότητα αυτή θα είναι ίση με $1/3$.

Στατιστική Bose-Einstein (μη διακρίσιμα σωματίδια)			
Δυνατές καταστάσεις	Δυνατές κατανομές		
	1 ^η	2 ^η	3 ^η
1 ^η	α, α		α
2 ^η		α, α	α
Πιθανότητα	$1/3$	$1/3$	$1/3$

Πίνακας 2.2: Για δύο όμοια σωματίδια και δύο καταστάσεις η στατιστική Bose-Einstein δίνει τρεις διαφορετικές κατανομές

Αντίστοιχα η απάντηση που δίνει στο συνδυαστικό ερώτημα η στατιστική FD δίνεται από τον τύπο:

$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + U(x)$ είναι απαραίτητη για την επίλυσή της εξίσωσης του Schrödinger $H\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$ και την εύρεσή της κυματοσυνάρτησης Ψ του συστήματος.

³⁵ Στον τύπο (2.2) εφαρμόζεται ο συνδυαστικός τύπος $\binom{k}{l} = \frac{k!}{l!(k-l)!}$ ο οποίο μετράει το πλήθος των δυνατών

συνδυασμών που προκύπτουν από ένα σύνολο k στοιχείων όταν κάθε συνδυασμός αποτελείται από l στοιχεία ($l \leq k$). Στην καταμέτρηση των δυνατών συνδυασμών αυτό που ενδιαφέρει είναι *ποια* είναι τα l στοιχεία που έχουν επιλεγεί από το σύνολο των k στοιχείων για τη δημιουργία ενός συνδυασμού και όχι η σειρά με την οποία αυτά έχουν επιλεγεί. Έτσι σε ένα σύνολο l στοιχείων, το οποίο μετράει ως ένας συνδυασμός, μπορούμε να θεωρούμε ότι συμβαίνουν ανακατατάξεις στοιχείων χωρίς αυτές να οδηγούν σε νέους συνδυασμούς. Η στατιστική Bose-Einstein καταλήγει στον τύπο (2) υποθέτοντας ότι διαθέτουμε ένα σύνολο n σωματιδίων και $m-1$ εσωτερικών διαχωριστικών γραμμών μεταξύ των m καταστάσεων. Διαθέτουμε δηλαδή ένα σύνολο $n+m-1$ στοιχείων για τα οποία μετράμε τους δυνατούς συνδυασμούς με κάθε συνδυασμό να περιέχει n στοιχεία, όσα τα σωματίδια του περί ου ο λόγος φυσικού συστήματος. [Reichenbach (1956) p230]

$$N(n,m) = \binom{m}{n} = \frac{m!}{n!(m-n)!} \quad (2.3)^{36}$$

Ο Πίνακας 2.3 δείχνει το αποτέλεσμα της εφαρμογής του τύπου (2.3) όταν δύο σωματίδια κατανέμονται σε δύο καταστάσεις. Η ΑΑ ορίζει ότι κάθε κατάσταση μπορεί να φιλοξενεί ένα το πολύ σωματίδιο και εφόσον δεν έχει πλέον σημασία ποιο σωματίδιο θα βρεθεί σε ποια κατάσταση οι δυνατότητες περιορίζονται σε μια μόνο κατανομή και η πιθανότητα της να συμβεί θα είναι προφανώς ίση με 1. Έχει δε σημασία να προσέξουμε ότι οι δείκτες ‘1’ και ‘2’, οι οποίοι προσάπτονται ως ετικέτες των σωματιδίων του πίνακα 2.1 και δικαιολογούν κατά κάποιο τρόπο τη διάκριση μεταξύ 3^{ης} και 4^{ης} κατανομής, σκόπιμα απουσιάζουν από τους πίνακες 2.2 και 2.3 όπου τα σωματίδια θεωρούνται στατιστικά μη διακρίσιμες οντότητες.

Στατιστική Fermi-Dirac (μη διακρίσιμα σωματίδια υποκείμενα στην απαγορευτική αρχή του Pauli)	
Δυνατές καταστάσεις	Μία δυνατή κατανομή
1 ^η	α
2 ^η	α
Πιθανότητα	1

Πίνακας 2.3: Για δύο όμοια σωματίδια και δύο καταστάσεις η στατιστική Fermi-Dirac δίνει μια μόνο κατανομή.

Οι κβαντικές στατιστικές BE και FD προορίζονται να περιγράψουν φυσικές διαδικασίες οι οποίες συντελούνται σε διαφορετικού τύπου κβαντικά συστήματα. Ονομάζουμε *μποζόνια* (bosons) τα σωματίδια φυσικών συστημάτων που υπακούουν στη στατιστική BE. Τα μποζόνια είναι σωματίδια με ακέραιο σπιν και δεν υπακούν στην ΑΑ. Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα μποζονίων είναι τα φωτόνια με σπιν 1, τα σωματίδια α με σπιν 0 και τα πόνια με σπιν 0. Αντίστοιχα ονομάζουμε *φερμιόνια* (fermions) τα σωματίδια φυσικών συστημάτων που υπακούν στη στατιστική FD. Τα φερμιόνια είναι σωματίδια με ημιακέραιο σπιν που υπακούν στην ΑΑ. Χαρακτηριστικά παραδείγματα φερμιονίων είναι το ηλεκτρόνιο, το πρωτόνιο και το νετρόνιο όλα με σπιν $\frac{1}{2}$. Η διάκριση των κβαντικών σωματιδίων σε φερμιόνια και μποζόνια είναι από εμπειρική σκοπιά μια πλήρης διάκριση υπό την έννοια ότι όλα τα κβαντικά σωματίδια που απαντώνται (μέχρι τώρα) στη φύση είναι είτε μποζόνια είτε φερμιόνια. Το κριτήριο ταξινόμησης παρέχεται ισοδύναμα είτε από την απαγορευτική αρχή του Pauli, είτε από την τιμή του σπιν, είτε από τον τύπο του κβαντικού στατιστικού μοντέλου που εφαρμόζεται. Και τα τρία κριτήρια ταξινόμησης χαράσσουν την ίδια διαχωριστική γραμμή πάνω στο σύνολο των κβαντικών σωματιδίων. Έχει ενδιαφέρον τέλος να επισημάνουμε ότι από τα στοιχειώδη σωματίδια του Καθιερωμένου Μοντέλου, τα μεν σωματίδια πεδίου, δηλαδή τα σωματίδια που είναι φορείς αλληλεπιδράσεων είναι μποζόνια, ενώ τα *στοιχειώδη* σωματίδια από τα οποία συγκροτείται η ύλη είναι φερμιόνια. Βέβαια δεν είναι φερμιόνια όλα τα υλικά σωματίδια. Ήδη

³⁶ Με την εφαρμογή του ίδιου συνδυαστικού τύπου (υποσ.35) η στατιστική Fermi-Dirac καταλήγει στον τύπο (2.3) υποθέτοντας ότι διαθέτουμε ένα σύνολο m στοιχείων που αντιστοιχούν σε m διαφορετικές κβαντικές καταστάσεις και θέλουμε να μετρήσουμε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς που ο καθένας θα αριθμεί n στοιχεία όσες είναι δηλαδή και οι καταστάσεις που καταλαμβάνονται κάθε φορά από τα n σωματίδια του φυσικού συστήματος. [Reichenbach (1956) p231]

έχουμε αναφέρει τα σωματίδια α και τα πιόνια που είναι υλικά σωματίδια με μηδενικό σπιν και ταξινομούνται ως μποζόνια.

Οι κβαντικές στατιστικές είναι εμπειρικά τεκμηριωμένες, διότι η εφαρμογή τους σε μια σειρά περιπτώσεων οδηγεί σε προβλέψεις που επιβεβαιώνονται από το πείραμα. Για παράδειγμα ο νόμος του Planck, που περιγράφει το φαινόμενο της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος μπορεί να προκύψει από την κατανομή BE αν θεωρήσουμε την ακτινοβολία ως ένα «αέριο» φωτονίων σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας. Ομοίως η εφαρμογή της στατιστικής BE εξηγεί τις ιδιότητες του υγρού ηλίου (σωματίδια α) σε θερμοκρασίες πολύ κοντά στο απόλυτο μηδέν. Από την άλλη μεριά η στατιστική FD εφαρμόζεται επιτυχώς στην περίπτωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων ενός μετάλλου, ερμηνεύει για παράδειγμα την αγωγιμότητα των μετάλλων σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες καθώς και την από κλασική σκοπιά απροσδόκητα μικρή συμβολή του «αερίου» των ελεύθερων ηλεκτρονίων στην θερμοχωρητικότητα των στερεών. Η πειραματική τεκμηρίωση των κβαντικών στατιστικών, πέραν της ορθότητας των υπολογιστικών κανόνων, συνηγορεί επιπλέον υπέρ της ορθότητας των αρχικών παραδοχών και ως εκ τούτου έχουμε λόγους να πιστεύουμε ότι τα όμοια κβαντικά σωματίδια είναι στατιστικά μη διακρίσιμες οντότητες υπό την έννοια ότι οι αμοιβαίες μεταθέσεις τους αφήνουν αναλλοίωτη την κατάσταση του συστήματος στο οποίο μετέχουν.

Η στατιστική μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων έναντι της αντίστοιχης διακρισιμότητας των κλασικών ομολόγων τους είναι ένα συμπέρασμα ευρέως αποδεκτό από φυσικούς και φιλοσόφους και θεωρείται ως μια από τις κύριες προκλήσεις που η έννοια του αντικειμένου έχει να αντιμετωπίσει ενόψει των αλλαγών στη φυσική. Αν τα κβαντικά σωματίδια θεωρούνται αντικείμενα, τότε η μη διακρισιμότητα που καταγράφει η στατιστική μελέτη θα πρέπει να μην εμποδίζει την κατηγοριοποίησή τους ως αντικείμενα. Όμως η διακρισιμότητα δεν είναι μια έννοια ουδέτερη απέναντι στην έννοια του αντικειμένου. Εκφράζει τη δυνατότητα που το ίδιο το αντικείμενο δίνει στον παρατηρητή να το ξεχωρίζει μέσα από ένα σύνολο άλλων αντικειμένων και η ύπαρξή της είναι αναγκαία προκειμένου ένα αντικείμενο να αναγνωρισθεί και να ταξινομηθεί ως αντικείμενο κάποιου είδους. Εντούτοις η κβαντική στατιστική μας διδάσκει ότι για τα κβαντικά συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων*, μια τέτοια δυνατότητα δεν υπάρχει. Αυτό όμως δεν οφείλεται στο ότι τα κβαντικά σωματίδια είναι γενικά μη διακρίσιμες οντότητες· οφείλεται στην κατάσταση που διαμορφώνεται από τέτοιου είδους συστήματα και στις συνθήκες που επικρατούν. Άλλωστε χωρίς καν τη δυνατότητα της διακρισιμότητας δεν θα ήταν δυνατή όχι μόνο η αναγνώριση ενός σωματιδίου ως σωματίδιο κάποιου είδους αλλά και η ανακάλυψή του. Στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων η ανακάλυψη και η ταξινόμηση των σωματιδίων είναι δυνατή, διότι τα σωματίδια αυτά δίνουν κάτω από ειδικές συνθήκες στον

παρατηρητή τη δυνατότητα να τα διακρίνει ως κάτι καινούργιο και να επιχειρήσει να τα γνωρίσει διαμορφώνοντας τις ίδιες κάθε φορά συνθήκες. Συνεπώς για τα κβαντικά σωματίδια η διακρισιμότητα ή η έλλειψή της είναι θέμα φυσικών συνθηκών και η κβαντική στατιστική μας λέει ότι στις συνθήκες υπό τις οποίες συγκροτούνται θερμοδυναμικά συστήματα πολλών-όμοιων-σωματιδίων τα σωματίδια συμπεριφέρονται με τρόπο που δεν επιτρέπει τη διάκρισή τους.

2.5 Η Υπόθεση των Ίσων Πιθανοτήτων ως αναγκαία προϋπόθεση της μη διακρισιμότητας

Για να είμαστε βέβαιοι ακριβείς το να μιλάμε για τη στατιστική μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων έναντι της αντίστοιχης διακρισιμότητας των κλασικών ομολόγων τους δεν είναι παρά ένας άλλος τρόπος για να πούμε ότι το *Αίτημα του Αναλλοίωτου υπό Μεταθέσεις* ικανοποιείται από την κβαντική όχι όμως και από την κλασική στατιστική. Ωστόσο θα πρέπει να επισημάνουμε ότι το συμπέρασμα αυτό στηρίζεται στην παραδοχή ότι τα θερμοδυναμικά φυσικά συστήματα πολλών-όμοιων-σωματιδίων συμπεριφέρονται ως *μικροκανονικά στατιστικά σύνολα* (microcanonical ensembles) δηλαδή μονωμένα ενεργειακά συστήματα με σταθερό πλήθος σωματιδίων για τα οποία δεχόμαστε ως αληθή την *Υπόθεση των Ίσων Πιθανοτήτων-ΥΙΠ*, η οποία λέει ότι σε κάθε μικροκατάσταση του συστήματος (ή σε κάθε δυνατή διαμόρφωσή του) αντιστοιχεί ίση τιμή πιθανότητας. Όπως έχει όμως αποδειχθεί, αν κάποιος δεν δεσμεύεται στη ΥΙΠ, τότε τουλάχιστον από τεχνική σκοπιά είναι δυνατόν να καταλήξουμε στις κβαντικές στατιστικές απορρίπτοντας το AAM και τη συνεπαγόμενη μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων. Η τεχνική αυτή δυνατότητα είναι φυσικό να αφήνει ανοιχτό το ενδεχόμενο στα κβαντικά συστήματα πολλών-όμοιων-σωματιδίων η μη διακρισιμότητα να μην είναι ένα αναπόφευκτο συμπέρασμα. Το ενδεχόμενο αυτό έχει γίνει αντικείμενο έρευνας από στοχαστές είτε αυτοί διάκεινται θετικά είτε αρνητικά απέναντί του και ως να ήταν αναμενόμενο στο επίκεντρο των ερευνών τους βρέθηκε η ΥΙΠ και η δικαιολόγησή της.

Πριν εισέλθουμε όμως στην ουσία αυτής της αντιπαράθεσης, θα εκθέσουμε τον τρόπο με τον οποίο είναι δυνατόν να καταλήξουμε στις κβαντικές στατιστικές χωρίς το AAM. Να πούμε καταρχήν ότι το μέγεθος που εισάγεται στους στατιστικούς υπολογισμούς, προκειμένου να οδηγηθούμε σε πειραματικά ελέγξιμες προβλέψεις, δεν είναι το πλήθος των δυνατών κατανομών καθαυτό, αλλά η τιμή της πιθανότητας που αποδίδεται σε κάθε μία από αυτές. Κατόπιν τούτου η κεντρική ιδέα της συλλογιστικής που ακολουθείται στην παραγωγή των κβαντικών στατιστικών χωρίς το AAM είναι να δεχθούμε ότι τα σωματίδια, κλασικά και κβαντικά είναι στατιστικά διακρίσιμα και ότι η απάντηση στο ΣΕ για το ίδιο πλήθος σωματιδίων και το ίδιο πλήθος καταστάσεων είναι ίδια για κλασικά και κβαντικά συστήματα. Τότε όμως η συμμόρφωση του

στατιστικού μοντέλου με τα πειραματικά ευρήματα επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας με κατάλληλο τρόπο τις τιμές των πιθανοτήτων, οι οποίες αποδίδονται σε κάθε δυνατή διαμόρφωση του συστήματος, πράγμα το οποίο σημαίνει την απόρριψη της ΥΠΙ.

Ο Belousek εργαζόμενος πάνω στο θέμα αυτό εκθέτει καταρχήν τη λογική στην οποία στηρίζεται η παραγωγή των τριών στατιστικών μοντέλων, όταν εκλαμβάνουμε την ΥΠΙ ως μια αληθή υπόθεση. Επισημαίνει ότι μόνο εάν θεωρούμε δεδομένη την ΥΠΙ η απόρριψη του AAM οδηγεί στη στατιστική MB και αντίστοιχα η αποδοχή του AAM οδηγεί είτε στη στατιστική BE, είτε στη στατιστική FD όπου λαμβάνεται υπόψη και η Απαγορευτική Αρχή του Pauli. Έτσι η λογική δομή της παραγωγής των τριών στατιστικών συνοψίζεται ως εξής³⁷:

(α) ΥΠΙ & $\neg$ AAM $\rightarrow$ MB

(β) ΥΠΙ & AAM $\rightarrow$ BE

(γ) ΥΠΙ & AAM & AA $\rightarrow$ FD

Από τα παραπάνω λογικά σχήματα προκύπτει ότι η αποδοχή του AAM και η συνεπαγόμενη μη διακρισιμότητα δεν είναι *ικανή* συνθήκη για την παραγωγή των κβαντικών στατιστικών. Όπως σωστά επισημαίνει ο Belousek, για να συνάγουμε με λογικά συνεπή τρόπο από τις κβαντικές στατιστικές τη μη διακρισιμότητα των όμοιων κβαντικών σωματιδίων θα πρέπει η υπόθεση της διακρισιμότητας, ήτοι η απόρριψη του AAM, να *αποκλείει* τις κβαντικές στατιστικές σε κάθε περίπτωση, ανεξάρτητα από το εάν υιοθετούμε ή όχι υποθέσεις διαφορετικές από την ΥΠΙ³⁸. Θα πρέπει δηλαδή να ισχύουν οι συνεπαγωγές:

(β') $\neg$ AAM $\rightarrow \neg$ BE

(γ') $\neg$ AAM & AA $\rightarrow \neg$ FD

Όμως η άρνηση του AAM δεν αποκλείει άνευ ετέρου τις κβαντικές στατιστικές. Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι δύο στατιστικά διακρίσιμα μποζόνια, το α_1 και το α_2 , πρόκειται να κατανεμηθούν σε δύο μονοσωματιδιακές καταστάσεις. Η διακρισιμότητα των σωματιδίων σημαίνει την απόρριψη του AAM και με βάση το δεδομένο αυτό προκύπτουν τέσσερις διαφορετικές κατανομές, σε συμφωνία με τη στατιστική MB. Θα μπορούσαμε όμως να καταλήξουμε και πάλι στη στατιστική BE αν η τιμή της κάθε πιθανότητας δεν αποδίδεται σύμφωνα με την ΥΠΙ. Όπως φαίνεται στον πίνακα 2.4, η αμοιβαία μετάθεση των δύο μποζονίων οδηγεί σε δύο διαφορετικές κατανομές, την 3^η και την 4^η, και υπό την έννοια αυτή τα μποζόνια είναι διακρίσιμες οντότητες.

Στατιστική Bose-Einstein (διακρίσιμα σωματίδια)				
Δυνατές καταστάσεις	Δυνατές κατανομές			
	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
1 ^η	$\alpha_1,$ α_2		α_1	α_2
2 ^η		$\alpha_1,$ α_2	α_2	α_1
Πιθανότητα	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$

Πίνακας 2.4: Τα σωματίδια α_1 και α_2

είναι στατιστικά διακρίσιμα ενώ οι πιθανότητες των τεσσάρων διαφορετικών κατανομών δεν είναι ίσες.

³⁷ Belousek, D. (2000), p5

³⁸ Belousek, D. (2000), p5

Ωστόσο η κατανομή των πιθανοτήτων δεν γίνεται με βάση την ΥΠΙ. Αντ' αυτής οι τιμές των πιθανοτήτων μεταβάλλονται με τρόπο ώστε να οδηγούμαστε και πάλι στη στατιστική BE πράγμα που γίνεται εύκολα αντιληπτό, αρκεί να παρατηρήσουμε στο πίνακα 2.4 ότι η πιθανότητα την $3^{η}$ και $4^{η}$ κατανομής είναι αθροιστικά ίση με $1/3$ σε συμφωνία με τη στατιστική BE όπου προσμετρούμε ως μία τις δύο αυτές κατανομές.

Ανάλογα θα μπορούσαμε να σκεφτούμε και στην περίπτωση φερμιονικών συστημάτων, όπου όμως θα πρέπει να συνυπολογίσουμε ότι για αυτού του τύπου τα συστήματα ισχύει η Απαγορευτική Αρχή του Pauli. Έτσι σε ένα αντίστοιχο παράδειγμα δύο φερμιονίων, αν υποθέσουμε ότι τα δύο σωματίδια είναι στατιστικά διακρίσιμα ή ισοδύναμα ότι δεν ικανοποιούν το AAM, καταλήγουμε σε δύο διαφορετικές κατανομές όπως

Στατιστική Fermi-Dirac (διακρίσιμα σωματίδια)				
Δυνατές καταστάσεις	Δυνατές κατανομές			
	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
1 ^η	-	-	α_1	α_2
2 ^η	-	-	α_2	α_1
Πιθανότητα	0	0	$1/2$	$1/2$

Πίνακας 2.5: Τα φερμιόνια α_1 και α_2

είναι στατιστικά διακρίσιμα και υπακούν στην Απαγορευτική Αρχή του Pauli.

φαίνεται στον πίνακα 2.5. Και πάλι διαπιστώνουμε ότι παρόλο που η $3^{η}$ και $4^{η}$ κατανομή λόγω της διακρισιμότητας των σωματιδίων μετρούν ως δύο διαφορετικές κατανομές το άθροισμα των πιθανοτήτων τους είναι ίσο με 1 σε συμφωνία με τη στατιστική FD.³⁹

Τα παραπάνω παραδείγματα δείχνουν ότι είναι δυνατόν να καταλήξουμε στις κβαντικές στατιστικές απορρίπτοντας το AAM και ότι η στατιστική μη διακρισιμότητα των όμοιων κβαντικών σωματιδίων δεν είναι αναγκαία για τις κβαντικές στατιστικές. Είναι δυνατόν τα κβαντικά σωματίδια να θεωρούνται στατιστικά διακρίσιμες οντότητες και παρόλα αυτά η στατιστική τους συμπεριφορά να περιγράφεται από τις στατιστικές BE και FD. Αρκεί βέβαια να απορριφθεί η ΥΠΙ. Αν όμως επιμείνουμε ότι η ΥΠΙ ισχύει και πρέπει να εφαρμοσθεί, τότε για τις κβαντικές στατιστικές το AAM ικανοποιείται υποχρεωτικά και η στατιστική μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων προκύπτει ως αναπόφευκτο συμπέρασμα.

2.6 Μη διακρισιμότητα ή αιτιακές παρεκκλίσεις

Η από φιλοσοφική σκοπιά κυρίαρχη άποψη της μη διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων βασίζεται στην ΥΠΙ και είναι εύλογο να αναζητήσει κάποιος τους λόγους που καθιστούν επιβεβλημένη την αποδοχή της ή τουλάχιστον που τη δικαιολογούν. Ένας τρόπος να υπερασπισθεί κάποιος την ΥΠΙ είναι να διερευνήσει τις συνέπειες της απόρριψής της, δείχνοντας ότι οι συνέπειες αυτές δεν είναι λιγότερο ενοχλητικές από το συμπέρασμα της μη διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων. Είναι αλήθεια ότι η έλλειψη διακρισιμότητας δημιουργεί μια αμηχανία ως προς το πώς είναι δυνατόν οι αμοιβαίες μεταθέσεις αριθμητικά

³⁹ Belousek, D. (2000), p5

διαφορετικών οντοτήτων να μην έχουν κάποια στατιστική βαρύτητα. Εντούτοις ο Reichenbach διερευνώντας την άλλη όψη του νομίσματος καταλήγει σε ένα μάλλον ενοχλητικότερο συμπέρασμα, το οποίο λέει ότι η υπόθεση της διακρισιμότητας και η συνεπαγόμενη απόρριψη της ΥΠ απαιτεί να αναγνωρίσουμε στα κβαντικά σωματίδια φυσικές τάσεις, οι οποίες είναι αιτιακά μη αναμενόμενες. Το γεγονός αυτό κατά τον Reichenbach είναι επαρκής λόγος για να απορρίψει τη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων, εκτιμώντας ότι στην αντίθετη περίπτωση το κόστος που πρέπει κανείς να καταβάλλει γίνεται απαγορευτικό:

«παρόλο που έχουμε να επιλέξουμε μεταξύ δύο ισοδύναμων περιγραφών, μόνο η μια από αυτές αφορά ένα φυσιολογικό σύστημα δηλαδή ένα σύστημα απαλλαγμένο από αιτιακές ανωμαλίες και αυτή είναι η περιγραφή σύμφωνα με την οποία τα κβαντικά σωματίδια είναι μη διακρίσιμες οντότητες»⁴⁰

Οι αιτιακά μη αναμενόμενες συμπεριφορές των κβαντικών σωματιδίων ενόψει της διακρισιμότητάς τους θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια. Θα ξεκινήσουμε με την περίπτωση που η ενέργεια ενός μποζονικού συστήματος κατανέμεται σε δύο μονοσωματιδιακές καταστάσεις. Με δεδομένη τη στατιστική διακρισιμότητα των σωματιδίων η στατιστική Bose-Einstein επιβάλλει την άνιση κατανομή πιθανοτήτων πάνω σε τέσσερις δυνατές κατανομές. Όπως φαίνεται στον πίνακα 2.4, η πιθανότητα τα δύο σωματίδια να βρεθούν και τα δύο στην ίδια κατάσταση είναι ίση με $\frac{1}{3}$ ενώ η πιθανότητα να βρεθούν σε δύο διαφορετικές καταστάσεις είναι επίσης ίση με $\frac{1}{3}$ μόνο που αυτή μοιράζεται ισοδύναμα στα δύο διαφορετικά ενδεχόμενα που αντιστοιχούν στην 3^{η} και 4^{η} κατανομή, τα οποία εξ αιτίας της διακρισιμότητας των σωματιδίων μετρούμε ως διαφορετικά.⁴¹ Με βάση τη νέα αυτή διευθέτηση στην κατανομή των πιθανοτήτων προκύπτει ότι η πιθανότητα ενός σωματιδίου να καταλάβει μια συγκεκριμένη κατάσταση δεν είναι στατιστικά ανεξάρτητη από το αν και με πόσα σωματίδια η εν λόγω κατάσταση είναι ήδη κατειλημμένη. Εφαρμόζοντας απλούς κανόνες του λογισμού των πιθανοτήτων (Παράρτημα Α), διαπιστώσουμε ότι στην περίπτωση των δυο διακρίσιμων μποζονίων, αν το ένα μποζόνιο έχει ήδη καταλάβει τη μια από τις δύο διαθέσιμες καταστάσεις, το δεύτερο εμφανίζει πιθανότητα ίση με $\frac{2}{3}$ να βρεθεί στην ίδια κατάσταση σε σχέση με την πιθανότητα να βρεθεί σε διαφορετική κατάσταση που είναι ίση με $\frac{1}{3}$.

Οι παραπάνω συγκρίσεις οδηγούν στο εξής συμπέρασμα: αν η διακρισιμότητα τίθεται ως αρχική παραδοχή, τότε οι τιμές των πιθανοτήτων που αποδίδονται στις δυνατές κατανομές δύο

⁴⁰ Reichenbach, H., (1956), p235

⁴¹ Η απόδοση ίσων πιθανοτήτων στις κατανομές εκείνες που η μια προκύπτει από την άλλη μετά από την αμοιβαία μετάθεση δύο όμοιων σωματιδίων δεν θεωρείται κατά τον Belousek απαραίτητη. Θα μπορούσαμε για παράδειγμα να αποδώσουμε πιθανότητες $\frac{3}{12}$ και $\frac{1}{12}$ στην 3^{η} και 4^{η} κατανομή αντίστοιχα ή και αντιστρόφως. Ο μόνος περιορισμός που τίθεται προκειμένου να οδηγηθούμε στη στατιστική BE είναι το άθροισμα των δύο πιθανοτήτων να είναι ίσο με $\frac{1}{3}$ [Belousek (1999), p6]. Βέβαια η συμμετρικότητα που χαρακτηρίζει τις κατανομές που διαφέρουν μεταξύ τους μόνο ως προς τη μετάθεση δύο όμοιων σωματιδίων κάνει από φυσική σκοπιά την ισοκατανομή των πιθανοτήτων να φαίνεται εύλογη. Εντούτοις ακόμα κι αν η ισοκατανομή δεν ισχύει η ουσία του επιχειρήματος παραμένει.

μποζονίων σε δύο καταστάσεις δείχνουν ότι τα σωματίδια του συστήματος εμφανίζουν την τάση να καταλαμβάνουν καταστάσεις, στις οποίες ήδη βρίσκονται όμοια με αυτά σωματίδια. Ωστόσο το συμπέρασμα αυτό, το οποίο γενικεύεται για κάθε μποζονικό σύστημα ανεξάρτητα από το πλήθος των σωματιδίων ή το πλήθος των διαθέσιμων καταστάσεων, δεν είναι γενικά ευπρόσδεκτο. Απέναντι στο συμπέρασμα αυτό φυσικοί και φιλόσοφοι έχουν δείξει τη δυσανεξία τους, διότι προκειμένου να εκδηλωθεί μια τέτοιου είδους «προτίμηση» θα πρέπει τα μποζόνια με κάποιο τρόπο να αλληλεπιδρούν παρά το γεγονός ότι ενδέχεται να βρίσκονται αρκετά μακριά το ένα από το άλλο. Για τον Reichenbach⁴² ένα τέτοιο ενδεχόμενο συνιστά μια μορφή *δράσης από απόσταση*, όπου τα αλληλεπιδρώντα δεν φαίνεται να συνδέονται αιτιακά μεταξύ τους. Συνεπώς το δίλημμα με το οποίο μας φέρνει αντιμέτωπους η κβαντική στατιστική είναι να επιλέξουμε μεταξύ της υπόθεσης της μη διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων και μιας συμπεριφοράς αιτιακά ανεξήγητης. Στην αντιμετώπιση αυτού του διλήμματος η διάσωση ή μη της ΥΠΙ είναι απλώς μια παράπλευρη συνέπεια και όχι το κύριο διακύβευμα.

Η κατάσταση διαγράφεται κάπως διαφορετική για τη στατιστική Fermi-Dirac. Το ενδιαφέρον στην περίπτωση αυτή είναι ότι η διακρισιμότητα των σωματιδίων του συστήματος σε συνδυασμό με την Απαγορευτική Αρχή του Pauli οδηγεί στη στατιστική FD χωρίς *κατ' ανάγκη* η ΥΠΙ να παραβιάζεται.⁴³ Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι αποφεύγονται οι αιτιακές ανωμαλίες οι οποίες συνδέονται αυτή τη φορά με την Απαγορευτική Αρχή, εφόσον αυτή εκφράζει μια ισχυρή αμοιβαία συσχέτιση αρνητικής μορφής μεταξύ όμοιων φερμιονίων που δεν εξηγείται αιτιακά. Έτσι σύμφωνα και πάλι με τον λογισμό των πιθανοτήτων (Παράρτημα Α) όταν το ένα από τα δύο φερμιόνια καταλάβει τη μία από τις δύο διαθέσιμες καταστάσεις, τότε το άλλο έχει μηδενική πιθανότητα να βρεθεί στην ίδια κατάσταση και πιθανότητα ίση με τη μονάδα να βρεθεί σε διαφορετική κατάσταση.⁴⁴

Διαπιστώνουμε έτσι ότι στην περίπτωση των φερμιονίων οι αιτιακά μη αναμενόμενες συμπεριφορές δεν αποφεύγονται ακόμα κι αν δεχθούμε τη μη διακρισιμότητά τους. Όπως

⁴² Reichenbach, H. (1956), p 234

⁴³ Επισημαίνουμε το «κατ' ανάγκη» διότι όπως και στην περίπτωση των μποζονίων η απόδοση ίσων πιθανοτήτων στις κατανομές που διαφέρουν μόνο κατά την αμοιβαία μετάθεση δύο όμοιων σωματιδίων είναι μια από τις δυνατές επιλογές που έχει κάποιος στη διάθεσή του. Έτσι θα μπορούσαμε να αποδώσουμε στην 3^η και 4^η κατανομή του πίνακα 5 τις τιμές $\frac{1}{3}$ και $\frac{2}{3}$, τιμές δηλαδή που βρίσκονται σε συμφωνία με τη στατιστική Fermi-Dirac. Με τον τρόπο αυτό ο Belousek (1999) θέλει να δείξει ότι μπορούμε σε κάθε περίπτωση να οδηγηθούμε στη σωστή στατιστική χωρίς οι τιμές των πιθανοτήτων να αποδίδονται με βάση ΥΠΙ.

⁴⁴ Η δυνατότητα να εξακολουθεί να ισχύει η ΥΠΙ υπάρχει ακόμα και στη γενική περίπτωση n στατιστικά διακρίσιμων φερμιονίων τα οποία κατανέμονται σε m μονοσωματιακές καταστάσεις. Σύμφωνα με τη στατιστική Fermi-Dirac το πλήθος των δυνατών κατανομών n διακρίσιμων φερμιονίων σε m καταστάσεις σε σχέση με το πλήθος των δυνατών κατανομών n μη διακρίσιμων φερμιονίων σε m καταστάσεις είναι $n!$ φορές μεγαλύτερο, όσες είναι και οι αμοιβαίες μεταθέσεις των n φερμιονίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ίσες πιθανότητες που αποδίδουμε στις δυνατές κατανομές διακρίσιμων φερμιονίων να είναι $n!$ φορές μικρότερες από τις πιθανότητες που αποδίδουμε στις δυνατές κατανομές μη διακρίσιμων φερμιονίων πράγμα που σημαίνει ότι η μετάβαση από τα διακρίσιμα στα μη διακρίσιμα σωματίδια δεν ακυρώνει το ισοπλήθες των κατανομών.

έχουμε ήδη αναφέρει, η ίδια η Απαγορευτική Αρχή συνιστά μια αρνητικής μορφής συσχέτιση μεταξύ όμοιων φερμιονίων, η οποία δεν εξαλείφεται αν υποθέσουμε ότι τα φερμιόνια είναι μη διακρίσιμα. Όμως ανάλογης μορφής συσχετίσεις συναντούμε κατά κόρον στον κβαντικό κόσμο και οι συνέπειες τους ξεπερνούν κατά πολύ τα όρια της στατιστικής συμπεριφοράς των κβαντικών σωματιδίων. Ωστόσο αυτού του τύπου οι συσχετίσεις δεν συνιστούν αιτιακή ανωμαλία διότι δεν έχουν δυναμική προέλευση και θα ήταν λάθος να προσπαθήσουμε να τις κατανοήσουμε καταφεύγοντας στην κλασική έννοια της νευτώνειας δύναμης. Θα πρέπει συνεπώς να ξεχωρίσουμε τις λεγόμενες *κβαντικές συσχετίσεις* (quantum correlations) από τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωματιδίων. Οι κβαντικές συσχετίσεις και η υπόθεση της μη διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων είναι δύο φαινόμενα με κοινή προέλευση, πρωτόγνωρα για τον κλασικό λεγόμενο κόσμο. Την εξήγησή τους θα πρέπει να την αναζητήσουμε στη φύση των κβαντικών σωματιδίων και ειδικότερα στις κυματικές τους ιδιότητες, οι οποίες είναι προφανές ότι δεν συνάδουν με την έννοια της διακρισιμότητας. Σε συνθήκες όπου τα σωματίδια επιδεικνύουν κυματική συμπεριφορά οι κυματοσυναρτήσεις τους αλληλεπικαλύπτονται και η διακρισιμότητά τους είναι φυσικώς αδύνατη. Το πιο σημαντικό όμως είναι ότι η υπόθεση της διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων ανάγει τις κβαντικές συσχετίσεις σε αιτιακές ανωμαλίες. Αυτό υπονοεί ο Reichenbach όταν λέει ότι: «η αιτιακή ανωμαλία της στατιστικής Fermi-Dirac συνίσταται, μάλλον, στην απαγορευτική αρχή, αν αυτή η αρχή ερμηνευθεί ως μια δύναμη που ασκείται μεταξύ εξατομικευμένων σωματιδίων»⁴⁵. Διότι όταν δύο σωματίδια εξατομικεύονται είναι δηλαδή διακρίσιμα σε μια δεδομένη κατάσταση, η οποιαδήποτε συσχέτισή τους είναι δυνατή μόνο μέσω ενός τρίτου παράγοντα είτε αυτός νοείται ως η κλασική νευτώνεια δύναμη είτε ως κάποιο άλλο κβαντικό σωματίδιο. Όταν όμως η ίδια η θεωρία δεν προβλέπει και δεν δικαιολογεί την παρουσία ενός τέτοιου παράγοντα, τότε η δημιουργία συσχετίσεων συνιστά πράγματι αιτιακή ανωμαλία και για να την αποφύγουμε θα πρέπει να επιμείνουμε στη μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων. Συνεπώς τα κβαντικά στατιστικά μοντέλα θα πρέπει να ικανοποιούν το AAM όμως αυτό απαιτεί την απόδοση ίσων πιθανοτήτων σε όλες τις δυνατές διαμορφώσεις των συστημάτων.

Για ορισμένους ερμηνευτές ωστόσο οι συσχετίσεις μεταξύ διακρίσιμων σωματιδίων δεν είναι αιτιακά μη αναμενόμενες αλλά εμφανίζονται ως τέτοιες, διότι η ίδια η θεωρία αδυνατεί να περιγράψει τους παράγοντες που ευθύνονται γι αυτές. Οι ερμηνευτές αυτοί θεωρούν ότι η κβαντική θεωρία δεν είναι μια πλήρης θεωρία και ότι υπάρχουν δυναμικοί παράγοντες⁴⁶, άγνωστοι προς το παρόν, οι οποίοι εξηγούν αιτιακά τις κβαντικές συσχετίσεις. Μεταξύ αυτών ο

⁴⁵ Reichenbach, H., (1956), p235

⁴⁶ Παράγοντες δυναμικού χαρακτήρα θεωρούνται αυτοί οι οποίοι εκφράζονται από κάποιες παραμέτρους στη χαμιλτονιανή των συστημάτων.

Darrin Belousek ισχυρίζεται ότι η ύπαρξη τέτοιων παραγόντων δεν θα πρέπει *de facto* να αποκλεισθεί και ότι οι κβαντικές συσχετίσεις που πράγματι επιδεικνύουν τα κβαντικά συστήματα θα μπορούσαν να τύχουν μιας δυναμικής εξήγησης με την εισαγωγή *μη* τοπικών αιτιακών αλληλεπιδράσεων μέσω ενός «κβαντικού δυναμικού», δηλαδή ενός παράγοντα που συναντάμε στις θεωρίες των μη τοπικών κρυμμένων μεταβλητών και ο οποίος «ευθύνεται» για την εμφάνιση μόνιμων συσχετίσεων μεταξύ των σωματιδίων. Συνεπώς, σύμφωνα με τον Belousek, αν δεν υπάρχουν λογικά ή εμπειρικά επιχειρήματα που να δικαιολογούν την προσήλωση μας στα μικροκανονικά στατιστικά σύνολα και στην ΥΠ, θα πρέπει να δεχθούμε ότι υπάρχει μια εναλλακτική ερμηνεία της κβαντικής στατιστικής, στην οποία η ΥΠ δεν ισχύει και τα κβαντικά σωματίδια μπορούν να θεωρούνται διακρίσιμα. Ωστόσο, όπως ο ίδιος αναγνωρίζει, η δυναμική εξήγηση των κβαντικών συσχετίσεων γίνεται σε βάρος της τοπικότητας και γι αυτό αν κάποιος την επιλέγει, θα πρέπει να σταθμίσει το κόστος της επιλογής του να θυσιάσει την τοπικότητα προς χάριν της διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων. Γι αυτό από τη δική του σκοπιά το εάν τα κβαντικά σωματίδια είναι στατιστικά μη διακρίσιμα ή όχι είναι ένα συμβατικό ζήτημα που αφορά ουσιαστικά την επιλογή μιας θεωρίας που υποκαθορίζεται από τη λογική και το πείραμα.⁴⁷

Οι κβαντικές συσχετίσεις είναι πράγματι παρούσες στον κβαντικό κόσμο και όπως θα δούμε στη συνέχεια αποτυπώνονται στις αναπαραστάσεις των κβαντικών καταστάσεων. Εντούτοις οι συσχετίσεις στις οποίες οδηγεί ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός αφορούν αποτελέσματα μετρήσεων και όχι τις μικροκαταστάσεις των κβαντικών συστημάτων. Όπως αναφέρει ο Dennis Dieks, στην κβαντική μηχανική το επιχείρημα υπέρ της ομοιόμορφης κατανομής πιθανοτήτων πάνω στις δυνατές καταστάσεις ενός συστήματος δεν ισχύει κατά την κατανομή πιθανοτήτων πάνω στα δυνατά αποτελέσματα των μετρήσεων. Αυτό συμβαίνει διότι στην κβαντική μηχανική, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στην κλασική, δεν υπάρχει μια ένα προς ένα αντιστοιχία μεταξύ των αποτελεσμάτων μιας μέτρησης και των δυναμικών καταστάσεων ενός συστήματος και ότι η ίδια μέτρηση πάνω στην ίδια κατάσταση είναι δυνατόν να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα. Έτσι όταν το ίδιο πείραμα επαναλαμβάνεται κάθε φορά σε πανομοιότυπα συστήματα όμοιων σωματιδίων η ροή των αποτελεσμάτων δείχνει ότι μεταξύ αυτών δεν υπάρχει πάντα στατιστική ανεξαρτησία και ότι από το σύνολο των δυνατών αποτελεσμάτων κάποια έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβούν. Το φαινόμενο της μη διαχωρισιμότητας οφείλεται σε τέτοιου είδους συσχετίσεις, οι οποίες όμως, επισημαίνει ο Dieks, εκδηλώνονται *μόνο* πειραματικά. Επισημαίνει επίσης ότι αυτές οι πειραματικά ανιχνεύσιμες κβαντικές συσχετίσεις αναπτύσσονται μόνο μεταξύ φυσικών συστημάτων (ή απλά σωματιδίων) εξ αιτίας της αλληλοεπικάλυψης των

⁴⁷ Belousek, D., (2000), p11

κυματοσυναρτήσεών τους, η οποία είχε συμβεί κατά το παρελθόν και διατηρούνται με κάποιο τρόπο, ακόμα κι όταν τα συστήματα βρεθούν αρκετά μακριά το ένα από το άλλο.⁴⁸

Για τους λόγους αυτούς ο Dieks θεωρεί ότι η ύπαρξη κβαντικών συσχετίσεων όχι μόνο δεν υπονομεύει την καθιερωμένη στατιστική μέθοδο αλλά είναι παντελώς άσχετη με αυτή. Εξηγεί τις κβαντικές συσχετίσεις με βάση τις κυματικές ιδιότητες των σωματιδίων και θεωρεί ότι ούτως νοούμενες δεν μπορούν να μεταβάλλουν τη δυναμική των συστημάτων και να προκαλέσουν μόνιμες εσωτερικές τάσεις, οι οποίες να παραμένουν εσωτερικές, μακροσκοπικά μη ανιχνεύσιμες, και παρόλα αυτά να ευνοούν κάποιες μικροκαταστάσεις εις βάρος κάποιων άλλων. Αντίθετα εσωτερικές τάσεις αναπτύσσονται μόνο όταν το σύστημα ανταλλάσει ενέργεια με το περιβάλλον του και έχουν ως αποτέλεσμα τη μετατόπισή του σε μια νέα μακροκατάσταση. Στον βαθμό όμως που το σύστημα παραμένει απομονωμένο και σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας όλες οι διεργασίες στο εσωτερικό του αλληλοεξουδετερώνονται και οι μόνες δυνατές διαμορφώσεις του είναι αυτές στις οποίες αποδίδουμε ίσες πιθανότητες και τις οποίες αναγνωρίζουμε από τον δυναμικά ισοδύναμο ρόλο τους. Υπάρχει θα λέγαμε μια λειτουργική σχέση μεταξύ των καταστάσεων θερμοδυναμικής ισορροπίας και της ΥΠΠ, η οποία καθορίζει το πλήθος των δυνατών διαμορφώσεων ενός συστήματος: η κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας σημαίνει την ομοιόμορφη κατανομή των πιθανοτήτων και κάθε απόκλιση από αυτήν οδηγεί στη διατάραξη της ισορροπίας, την οποία το σύστημα θα αναζητήσει αναπτύσσοντας εσωτερικές τάσεις. Η διαδικασία αυτή δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη κβαντικών συσχετίσεων, εφόσον αυτές δεν έχουν δυναμική προέλευση και δεν μπορούν να επηρεάσουν τη στατιστική συμπεριφορά των κβαντικών συστημάτων. Αν όμως η ομοιόμορφη κατανομή πιθανοτήτων είναι πράγματι λειτουργικό στοιχείο των καταστάσεων θερμοδυναμικής ισορροπίας, τότε ο κανόνας καταμέτρησης των δυνατών διαμορφώσεων θα πρέπει να περιορίζει το πλήθος τους στις στατιστικά ισοδύναμες. Όμως αυτό καθιστά βασική προκείμενη των κβαντικών στατιστικών το ΑΑΜ και το συμπέρασμα της στατιστικής μη διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων είναι αναπόφευκτο.

Ο Schrödinger ήταν από τους πρώτους θεωρητικούς φυσικούς, βαθύς γνώστης ο ίδιος της στατιστικής μηχανικής, που έδειξε εμπιστοσύνη στις καθιερωμένες μεθόδους της στατιστικής μηχανικής. Η απόδοση ίσων πιθανοτήτων ήταν μια πάγια πρακτική της κλασικής στατιστικής μηχανικής, η οποία εφαρμόστηκε σε όλα τα στάδια της εξέλιξής της. Το γεγονός αυτό λειτουργεί τουλάχιστον διαισθητικά υπέρ της ΥΠΠ και αυτή ακριβώς τη διαίσθηση εκφράζει ο Schrödinger χαρακτηρίζοντας ως *φυσιολογική* (natural) την παραδοσιακά εφαρμοζόμενη στατιστική μέθοδο. Εργαζόμενος πάνω στη νέα στατιστική Bose-Einstein αν και αναγνωρίζει

⁴⁸ Dieks, D., (1990) pp 146-52

την ανάγκη αλλαγών υποστηρίζει ότι:

«Ίσως καταφέρουμε να αποκτήσουμε μια βαθύτερη κατανόηση της αληθινής φύσης της νέας θεωρίας αν κατορθώσουμε να κρατήσουμε ανέπαφη τη λογικά βάσιμη και πειραματικά δοκιμασμένη στατιστική μέθοδο, αλλάζοντας τις παραδοχές σε ένα μέρος που δεν απαιτεί πνευματική θυσία»⁴⁹

Το AAM είναι μια προσθήκη, η οποία πράγματι διασώζει τη «λογικά βάσιμη και πειραματικά δοκιμασμένη στατιστική μέθοδο». Δεν είναι όμως μια ανέξοδη προσθήκη. Η μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων συγκρούεται με παγιωμένες ιδέες περί αντικειμένων. Στον αντίποδα όμως αυτής της προσθήκης το διακύβευμα φαίνεται να είναι μεγαλύτερο και δεν περιορίζεται μόνο στην απόρριψη μιας επιτυχημένης επιστημονικής μεθόδου. Για να είναι η επιλογή της διακρισιμότητας μια διαθέσιμη επιλογή θα πρέπει να δεχθούμε ότι στο εσωτερικό των συστημάτων αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις, οι οποίες είτε παραμένουν ανεξήγητες, οπότε συνιστούν αιτιακή ανωμαλία, είτε «εξηγούνται» με την ad hoc προσθήκη δυναμικών παραγόντων, οι οποίοι μπορούν με κάποιο μυστηριώδη τρόπο να προκαλούν μη τοπικές αλληλεπιδράσεις.

2.7 Ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός συμμορφώνεται με τη στατιστική συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων

Με δεδομένη τη στατιστική συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων θα δούμε στη συνέχεια με ποιο τρόπο ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός συμμορφώνεται με τα ευρήματα της στατιστικής μελέτης. Για να το κάνουμε αυτό θα καταφύγουμε για λόγους απλότητας στο παράδειγμα ενός συστήματος δύο όμοιων σωματιδίων. Τα συμπεράσματα ωστόσο στα οποία θα καταλήξουμε έχουν γενικευμένη ισχύ και αφορούν κάθε κβαντικό σύστημα N όμοιων σωματιδίων. Έστω $\mathcal{H}$ ένας αναπαραστατικός χώρος Hilbert καθαρών μονοσωματιδιακών καταστάσεων και έστω $|x\rangle$ και $|y\rangle$ δύο διάνυσματα του χώρου αυτού. Έστω επίσης ότι οι δύο αυτές καταστάσεις είναι ιδιοκαταστάσεις ενός παρατηρήσιμου μεγέθους, με αντίστοιχες ιδιοτιμές x και y . Τούτων δεδομένων η κατάσταση ενός συστήματος δύο όμοιων σωματιδίων θα είναι ένα διάνυσμα του χώρου $\mathcal{H} \otimes \mathcal{H} = \mathcal{H}^2$. Έτσι αν οι διαθέσιμες μονοσωματιδιακές καταστάσεις για τη σύσταση του συστήματος είναι οι $|x\rangle$ και $|y\rangle$ τότε οι δυνατές κατανομές των σωματιδίων στις διαθέσιμες καταστάσεις θα είναι οι εξής τέσσερις:

$$|x_1\rangle |x_2\rangle \quad (2.4) \quad |y_1\rangle |y_2\rangle \quad (2.5) \quad |x_1\rangle |y_2\rangle \quad (2.6) \quad |y_1\rangle |x_2\rangle \quad (2.7)$$

όπου οι δείκτες '1' και '2' αναγράφονται ως αναφορικά σύμβολα των δύο σωματιδίων. Για ένα κλασικό σύστημα οι τέσσερις παραπάνω κατανομές είναι και δυνατές διαμορφώσεις του

⁴⁹ Schrödinger, E. (1926), p95

συστήματος, διότι η στατιστική MB απορρίπτει το AAM και άρα οι κατανομές (2.6) και (2.7) όπου τα σωματίδια εμφανίζονται να έχουν ανταλλάξει τις καταστάσεις τους θα μετρούν ως δύο διαφορετικές διαμορφώσεις. Αντίθετα η κβαντική στατιστική αποδέχεται το AAM και αυτό σημαίνει ότι οι αμοιβαίες μεταθέσεις των σωματιδίων του συστήματος θα πρέπει να αφήνουν αναλλοίωτη την κατάστασή του· όμως το AAM δεν ικανοποιείται από τις κατανομές (2.6) και (2.7), οι οποίες ως εκ τούτου δεν μπορούν να αναπαριστούν καταστάσεις μη διακρίσιμων σωματιδίων. Αντί αυτών οι μόνες καταστάσεις που επιτρέπονται, σε συμφωνία με το AAM είναι αυτές που αναπαριστώνται από συμμετρικά ή αντισυμμετρικά διανύσματα του χώρου $\mathcal{H}^2$. Από το σύνολο των διανυσμάτων του χώρου $\mathcal{H}^2$, συμμετρικά είναι τα διανύσματα της μορφής:

$$|x_1\rangle |x_2\rangle \quad (2.4) \quad |y_1\rangle |y_2\rangle \quad (2.5) \quad \frac{1}{\sqrt{2}}(|x_1\rangle |y_2\rangle + |y_1\rangle |x_2\rangle) \quad (2.8)$$

και αντισυμμετρικά τα διανύσματα της μορφής:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|x_1\rangle |y_2\rangle - |y_1\rangle |x_2\rangle) \quad (2.9)$$

Τα συμμετρικά διανύσματα (2.4), (2.5) και (2.8) αναπαριστούν μποζονικές καταστάσεις, εφόσον δεν θέτουν περιορισμούς στο πλήθος των σωματιδίων που μπορούν να βρεθούν στην ίδια μονοσωματιδιακή κατάσταση. Αντίστοιχα το αντισυμμετρικό διάνυσμα (2.9) αναπαριστά ένα φερμιονικό σύστημα, εφόσον η δομή του ικανοποιεί την Απαγορευτική Αρχή του Pauli, η οποία δεν επιτρέπει σε δύο όμοια φερμιόνια να βρεθούν στην ίδια μονοσωματιδιακή κατάσταση. Διαπιστώνουμε έτσι ότι για ένα σύστημα δύο όμοιων μποζονίων οι δυνατές διαμορφώσεις του είναι τρεις ενώ για ένα σύστημα δύο όμοιων φερμιονίων είναι μόνο μία σε πλήρη συμφωνία με τις στατιστικές BE και FD.

Γενικεύοντας, για ένα σύστημα N όμοιων σωματιδίων ο αναπαραστατικός χώρος της κατάστασής τους είναι ο χώρος $\mathcal{H}^N$, όμως από όλα τα διανύσματα του χώρου αυτού μόνο τα συμμετρικά και τα αντισυμμετρικά αναπαριστούν κβαντικές καταστάσεις. Αν $|\psi\rangle$ είναι ένα διάνυσμα του χώρου $\mathcal{H}^N$ και P ένας μοναδιακός (unitary) τελεστής μετάθεσης, ο οποίος αναπαριστάνει κάποια από τις $N!$ αμοιβαίες μεταθέσεις των σωματιδίων του συστήματος, τότε το διάνυσμα $|\psi\rangle$ αναπαριστά μια κατάσταση του συστήματος, αν ικανοποιεί τη συνθήκη $P|\psi\rangle = \pm |\psi\rangle$ σύμφωνα με την οποία η δράση του τελεστή P είτε αφήνει το διάνυσμα ίδιο, όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις των διανυσμάτων (2.4), (2.5) και (2.8), οπότε αυτό είναι συμμετρικό, είτε αλλάζει απλώς το πρόσημό του, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του διανύσματος (2.9) οπότε είναι αντισυμμετρικό. Η συνθήκη αυτή εκλαμβάνεται ως αξίωμα και αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως *Αξίωμα Συμμετρικοποίησης-ΑΣ* (Symmetrization Postulate) και

λειτουργεί κατά κάποιο τρόπο ως ένας κανόνας επιλογής (selection rule), εφόσον περιορίζει τις φυσικά δυνατές κβαντικές καταστάσεις σε συμμετρικές και αντισυμμετρικές.

Επιπλέον έχει σημασία να τονισθεί ότι ο τύπος συμμετρίας των κβαντικών καταστάσεων διατηρείται με την πάροδο του χρόνου. Τη διατήρηση του τύπου συμμετρίας των κβαντικών καταστάσεων εγγυάται η συμμετρία της χαμιλτονιανής, η οποία επίσης παραμένει αναλλοίωτη στις αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων. Η χαμιλτονιανή λειτουργεί ως ο απειροστικός γεννήτορας της χρονικής εξέλιξης των κβαντικών συστημάτων, πράγμα που σημαίνει ότι η κατάσταση ενός συστήματος μια ορισμένη χρονική στιγμή προκύπτει ως αποτέλεσμα της δράσης της χαμιλτονιανής του στην ακριβώς προηγούμενη κατάστασή του. Η δράση όμως ενός συμμετρικού τελεστή δεν μπορεί να μεταβάλλει τη συμμετρία του διανύσματος πάνω στο οποίο δρα και γι αυτό η χρονική εξέλιξη των κβαντικών καταστάσεων συμβαίνει χωρίς αλλαγές στο τύπο συμμετρίας τους.⁵⁰ Θα λέγαμε λοιπόν ότι το ΑΣ σε συνδυασμό με τη δράση της χαμιλτονιανής οριοθετεί στο χώρο $\mathcal{H}^N$ δύο κλειστούς ως προς τη χρονική εξέλιξη των συστημάτων υποχώρους, έναν συμμετρικό και έναν αντισυμμετρικό και υποστηρίζει ένα θεμελιώδη φυσικό διαχωρισμό που θέλει κάθε κβαντική κατάσταση πολλών-όμοιων-σωματιδίων να είναι είτε συμμετρική είτε αντισυμμετρική, ή ισοδύναμα που θέλει τα κβαντικά σωματίδια να είναι είτε μποζόνια, είτε φερμιόνια. Ο φυσικός αυτός διαχωρισμός δεν αμφισβητείται στο πεδίο άσκησης της φυσικής επιστήμης: όλα τα γνωστά μέχρι τώρα υποατομικά σωματίδια είναι είτε μποζόνια είτε φερμιόνια και ανταποκρίνονται στο διαχωρισμό αυτό.

2.8 Η ερμηνεία του ΑΑΜ ως περιορισμός δυνατών καταστάσεων ή δυνατών παρατηρήσιμων

Σύμφωνα με την ανάλυση που κάναμε στην προηγούμενη ενότητα το ΑΣ αποτελεί *ικανή* συνθήκη για το ΑΑΜ, εφόσον συμμετρικές και αντισυμμετρικές καταστάσεις παραμένουν αναλλοίωτες στις αμοιβαίες μεταθέσεις σωματιδίων. Το ΑΣ όμως δεν αποτελεί ταυτόχρονα και αναγκαία συνθήκη για το ΑΑΜ. Όπως θα δούμε στη συνέχεια το ΑΑΜ ικανοποιείται ακόμα και όταν οι περιορισμοί μπαίνουν στα παρατηρήσιμα των συστημάτων και όχι απαραίτητα στις καταστάσεις τους. Στην περίπτωση αυτή το ΑΑΜ απαιτεί τα παρατηρήσιμα μεγέθη να είναι συμμετρικά στις αμοιβαίες μεταθέσεις των σωματιδίων, το οποίο σημαίνει ότι οι τελεστές των παρατηρήσιμων θα πρέπει να *μετατίθενται* (commute) με κάθε μοναδιακό τελεστή μετάθεσης.

Να θυμηθούμε καταρχήν ότι η κατάσταση ενός κβαντικού συστήματος καθορίζεται από το σύνολο των πληροφοριών, οι οποίες απαιτούνται για τον καθορισμό της πιθανότητας ένα οποιοδήποτε παρατηρήσιμο μέγεθος να λάβει μια συγκεκριμένη τιμή όταν πραγματοποιηθεί η κατάλληλη μέτρηση. Η κατανομή πιθανοτήτων στα δυνατά αποτελέσματα της μέτρησης οδηγεί

⁵⁰ Redhead, M.-Teller, P. (1992) p207

στη συνέχεια στον υπολογισμό της *αναμενόμενης τιμής* (expectation value) του μεγέθους και αυτή είναι η τελική πληροφορία που η κατάσταση του συστήματος μας δίνει για το μέγεθος αυτό. Κατόπιν τούτων θα λέγαμε ότι το αναλλοίωτο των κβαντικών καταστάσεων συνεπάγεται το αναλλοίωτο στις *αναμενόμενες τιμές* όλων των παρατηρήσιμων μεγεθών και ως εκ τούτου το AAM, το οποίο ικανοποιείται από τα κβαντικά στατιστικά μοντέλα Bose-Einstein και Fermi-Dirac, επιβάλλει οι αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων να μην έχουν καμιά επίπτωση ούτε στις τιμές των πιθανοτήτων που κατανέμονται στα δυνατά αποτελέσματα της μέτρησης κάποιου παρατηρήσιμου μεγέθους, ούτε στην αναμενόμενη τιμή του.

Έτσι αν $|\psi\rangle$ είναι το διάνυσμα κατάστασης ενός συστήματος N όμοιων σωματιδίων και P ένας μοναδιακός (unitary) τελεστής που αναπαριστάνει κάποια από τις $N!$ αμοιβαίες μεταθέσεις σωματιδίων του, τότε το AAM απαιτεί τα διανύσματα $|\psi\rangle$ και $P|\psi\rangle$ να αναπαριστάνουν την ίδια κβαντική κατάσταση και οι αναμενόμενες τιμές οποιουδήποτε παρατηρήσιμου να μη αλλάζουν όταν το σύστημα «μεταβαίνει» από την κατάσταση $|\psi\rangle$ στην κατάσταση $P|\psi\rangle$. Συνεπώς, αν Q είναι ένας ερμιτιανός τελεστής ενός παρατηρήσιμου, τότε η αναμενόμενη τιμή του Q θα πρέπει να παραμένει αμετάβλητη είτε το σύστημα αναπαριστάνεται στην κατάσταση $|\psi\rangle$ είτε στην $P|\psi\rangle$. Θα πρέπει δηλαδή να ισχύει ότι⁵¹:

$$\langle P\psi | Q | P\psi \rangle = \langle \psi | P^{-1}QP | \psi \rangle = \langle \psi | Q | \psi \rangle \quad (2.10)$$

Η παραπάνω διπλή ισότητα εξισώνει τις αναμενόμενες τιμές του παρατηρήσιμου Q στις καταστάσεις $P|\psi\rangle$ και $|\psi\rangle$ και αν υποθέσουμε ότι ισχύει για κάθε φυσικά δυνατό παρατηρήσιμο Q και για κάθε φυσικά δυνατή κατάσταση, τότε φαίνεται εύλογο να ισχυρισθούμε ότι η ισότητα (2.10) εκφράζει το AAM.⁵² Ωστόσο η ισότητα (2.10) ισχύει εναλλακτικά σε δύο περιπτώσεις. Ισχύει όταν το διάνυσμα $|\psi\rangle$ είναι είτε συμμετρικό είτε αντισυμμετρικό, οπότε ικανοποιείται η συνθήκη $P|\psi\rangle = \pm |\psi\rangle$ η οποία εκφράζει το ΑΣ. Επιπλέον όμως ισχύει όταν ο τελεστής Q ικανοποιεί την ισότητα $P^{-1}QP = Q$ ή ισοδύναμα την ισότητα $QP = PQ$ που σημαίνει ότι ο τελεστής Q μετατίθεται με τον τελεστή μετάθεσης P είναι δηλαδή συμμετρικός στις αμοιβαίες μεταθέσεις των σωματιδίων.

Καταλήγουμε έτσι στο συμπέρασμα, ότι το AAM όπως αποδίδεται από την ισότητα (2.10) ικανοποιείται είτε όταν ισχύει το ΑΣ, είτε όταν τα παρατηρήσιμα περιορίζονται σε αυτά που είναι συμμετρικά στις αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων. Διαπιστώνουμε έτσι ότι σύμφωνα με το κβαντομηχανικό φορμαλισμό μόνο όταν δεν μπαίνουν περιορισμοί στα

⁵¹ Σύμφωνα με τον κβαντομηχανικό φορμαλισμό η αναμενόμενη τιμή ενός παρατηρήσιμου μεγέθους Q υπολογίζεται από το *εσωτερικό γινόμενο* (inner product) $\langle \psi | Q | \psi \rangle$ των διανυσμάτων $|\psi\rangle$ και $Q|\psi\rangle$,

⁵² French, S. –Rickles, D. (2003) p217

παρατηρήσιμα μεγέθη και κάθε ερμιτιανός τελεστής του χώρου Hilbert είναι δυνατόν να αναπαριστά ένα φυσικά δυνατό παρατηρήσιμο, το ΑΣ αποτελεί αναγκαία συνθήκη για το ΑΑΜ. Εάν όμως από τους ερμιτιανούς τελεστές, οι οποίοι προβλέπονται από τον φορμαλισμό του χώρου Hilbert, μόνο οι συμμετρικοί αναπαριστούν φυσικά παρατηρήσιμα, τότε το ΑΑΜ ισχύει ανεξάρτητα από οποιοδήποτε περιορισμό στις καταστάσεις του συστήματος. Στην περίπτωση αυτή το ΑΣ αποτελεί μεν ικανή όχι όμως και αναγκαία συνθήκη για το ΑΑΜ. Όπως όμως θα δούμε στη συνέχεια αφενός μεν η επιλογή μεταξύ συμμετρικών και μη συμμετρικών παρατηρήσιμων δεν είναι στην πραγματικότητα μια διαθέσιμη επιλογή και ότι όλα τα φυσικά παρατηρήσιμα *οφείλουν* να είναι συμμετρικά στις αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων, αφετέρου δε το ΑΑΜ μπορεί από μόνο του να εξηγήσει την κβαντική στατιστική με το ΑΣ να είναι μεν μια προσθήκη όχι όμως αναγκαία.

2.9 Η συμμετρία των φυσικών παρατηρήσιμων σε κλασική και κβαντική φυσική

Ας ξεκινήσουμε καταρχήν από έναν απολύτως εύλογο περιορισμό που θέλει τα φυσικά παρατηρήσιμα να είναι μετρήσιμα μεγέθη υπό την έννοια ότι η μέτρησή τους θα πρέπει να είναι κατ' αρχάς δυνατή μέσω μια πειραματικής διαδικασίας, η οποία σχεδιάζεται και εκτελείται για αυτό το σκοπό. Αν αυτό γίνει αποδεκτό, τότε τα παρατηρήσιμα μεγέθη θα πρέπει να είναι κατ' ανάγκη συμμετρικά στις αμοιβαίες μεταθέσεις των όμοιων σωματιδίων. Την άποψη αυτή έχει υποστηρίξει με πειστικό τρόπο ο Dennis Dieks, λέγοντας ότι οι αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων, εξ αιτίας της ομοιότητάς τους και μόνο, δεν μπορούν να μεταβάλλουν τη δυναμική του συστήματος, η οποία καθορίζει την έκβαση κάθε πειραματικής διαδικασίας. Συνεπώς οι αναμενόμενες τιμές των φυσικών παρατηρήσιμων θα παραμένουν αναλλοίωτες στις αμοιβαίες μεταθέσεις των όμοιων σωματιδίων πράγμα που σημαίνει ότι από το σύνολο των ερμιτιανών τελεστών που δρουν στο χώρο $\mathcal{H}^N$ μόνο αυτοί που είναι συμμετρικοί αντιστοιχούν σε φυσικά παρατηρήσιμα.⁵³ Το στοιχείο αυτό γίνεται σημείο αιχμής του επιχειρήματος που διατυπώνει ο Dieks, διότι η ουδετερότητα των πειραματικών διατάξεων απέναντι στις αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων είναι ένα γενικευμένο φαινόμενο που συνδέεται με τη φύση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός φυσικού συστήματος και μιας μετρικής διάταξης και δεν εξαρτάται από την ιδιαίτερη φύση των κβαντικών σωματιδίων.

Τόσο στην κλασική όσο και στην κβαντική μηχανική όταν χειριζόμαστε συστήματα πολλών-όμοιων-σωματιδίων κάνουμε χρήση δεικτών για να εισάγουμε τεχνητά μια διάκριση μεταξύ των σωματιδίων, η οποία όμως δεν υποστηρίζεται από το πείραμα: δεν υπάρχει πειραματική διαδικασία που να διακρίνει το σωματίδιο που φέρει το δείκτη i από αυτό που φέρει

⁵³ Dieks, D. (1990) pp136-7

το δείκτη j . Όταν ένας ανιχνευτής ηλεκτρονίων εντοπίζει σε μια ορισμένη θέση ένα ηλεκτρόνιο εντοπίζει απλώς ένα σωματίδιο που ανήκει στο είδος «ηλεκτρόνιο» και όχι το i ή το j ηλεκτρόνιο. Τα αναφορικά σύμβολα είναι μη ανιχνεύσιμες μεταβλητές και εφόσον καμιά άλλη διαφορά δεν υπάρχει μεταξύ όμοιων σωματιδίων η αμοιβαία μετάθεσή τους ισοδυναμεί με μια απλή ανταλλαγή αναφορικών συμβόλων χωρίς παρατηρήσιμες συνέπειες. Συνεπώς το αποτέλεσμα μιας μέτρησης καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από τη δυναμική κατάσταση και τις εγγενείς ιδιότητες των σωματιδίων και στη διαδικασία αυτή οι δείκτες των σωματιδίων δεν παίζουν κανένα ρόλο. Εφόσον όμως δεχόμαστε ως φυσικά παρατηρήσιμα μόνο τις μετρήσιμες ιδιότητες, τότε η ανταλλαγή των δεικτών στις αναπαραστάσεις φυσικών παρατηρήσιμων δεν μπορεί να επηρεάσει τις αναμενόμενες τιμές τους. Αυτό όμως σημαίνει ότι τα φυσικά παρατηρήσιμα είναι συμμετρικά στις αμοιβαίες μεταθέσεις των δεικτών και κατ' επέκταση των σωματιδίων στα οποία αναφέρονται. Έτσι ενώ για παράδειγμα η απόσταση $|\vec{r}_i - \vec{r}_j|$ δύο όμοιων σωματιδίων που φέρουν τους δείκτες i και j είναι ένα φυσικό παρατηρήσιμο, δεν συμβαίνει το ίδιο με το μέγεθος $\vec{r}_i - \vec{r}_j$. Όταν μέσω μιας πειραματικής διαδικασίας ανιχνεύονται δύο ηλεκτρόνια, είναι δυνατόν να πληροφορηθούμε το μέγεθος της απόστασής τους, κανένα όμως δεδομένο δεν προκύπτει από τη διαδικασία αυτή που να μας πληροφορεί ποιο ηλεκτρόνιο ανιχνεύεται και σε ποια θέση. Ανάλογες σκέψεις όμως οδηγούν τον Dieks στο ίδιο συμπέρασμα και στην περίπτωση των κλασικών συστημάτων. Όταν δύο όμοια σωματίδια ενός κλασικού συστήματος μετά από μια αμοιβαία μετάθεση βρεθούν το ένα στην κατάσταση του άλλου οι τιμές των παρατηρήσιμων μεγεθών παραμένουν αναλλοίωτες. Συνεπώς στη κλασική όπως και στην κβαντική μηχανική τα παρατηρήσιμα μεγέθη θα πρέπει να είναι συμμετρικά στις αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων και ως εκ τούτου η συμμετρία των φυσικών παρατηρήσιμων δεν αποτελεί ιδιαιτερότητα του κβαντομηχανικού φορμαλισμού.

Η παραπάνω ανάλυση οδηγεί τελικά τον Dieks στο συμπέρασμα ότι το AAM δεν μπορεί να εξηγήσει τις συμμετρικές ιδιότητες των κβαντικών καταστάσεων και ότι το ΑΣ ακολουθεί ως μια αναγκαία προσθήκη. Οδηγείται δε σε αυτό το συμπέρασμα διότι ερμηνεύει την ισότητα (2.10), η οποία εκφράζει το AAM, ως *αίτημα παρατηρησιακής μη διακρισιμότητας* (requirement of observational indistinguishability)⁵⁴, το οποίο όμως θα ικανοποιείται χωρίς να θέτουμε περιορισμούς στις καταστάσεις των συστημάτων, εφόσον δεχόμαστε ότι τα φυσικά παρατηρήσιμα στην περίπτωση των όμοιων σωματιδίων οφείλουν να είναι συμμετρικά. Αν όμως το AAM ερμηνεύεται ως παρατηρησιακή μη διακρισιμότητα, θα ισχύει τόσο στην κβαντική όσο και στην κλασική περίπτωση και ως εκ τούτου δεν μπορεί ούτε να εξηγήσει τις συμμετρικές

⁵⁴ Dieks, D., (1990) p135

ιδιότητες των κβαντικών καταστάσεων ούτε να εκφράσει τη διαφορά μεταξύ κλασικής και κβαντικής στατιστικής. Ωστόσο το συμπέρασμα αυτό δεν λαμβάνει υπόψη του τη διάκριση μεταξύ των εννοιών της ομοιότητας, η οποία εφαρμόζεται σε σωματίδια που μοιράζονται τις ίδιες εγγενείς ιδιότητές και της στατιστικής μη διακρισιμότητας, η οποία εφαρμόζεται σε σωματίδια που ικανοποιούν το AAM. Οι αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων, χάριν της ομοιότητας, οδηγούν σε παρατηρησιακά μη διακρίσιμες καταστάσεις, εφόσον δεν μεταβάλλουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των συστημάτων, είτε αυτά είναι κλασικά, είτε κβαντικά. Η στατιστική όμως μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων σημαίνει κάτι περισσότερο από την απλή ομοιότητα· σημαίνει ότι *ελλείπει ποιοτικών διαφορών δεν μπορούμε να μιλάμε για διαφορετικές καταστάσεις*. Αυτό είναι το γεγονός που αποτυπώνεται στα ευρήματα της στατιστικής μελέτης και προς το γεγονός αυτό οφείλει να συμμορφώνεται ο κβαντομηχανικός formalismός. Θα επιμείνουμε ως εκ τούτου ότι το AAM αποτελεί βασική προκείμενη των κβαντικών στατιστικών, διότι αυτό που πράγματι αιτεί είναι οι αμοιβαίες μεταθέσεις να αφήνουν το σύστημα στην ίδια κατάσταση και όχι να το οδηγούν σε μια νέα κατάσταση ποιοτικά μη διακρίσιμη από την αρχική. Για το σκοπό αυτό θα επικαλεσθούμε στη συνέχεια την εργασία των Greenberg & Messiah⁵⁵, στην οποία υποστηρίζεται ότι το AAM μπορεί να εξηγήσει τις συμμετρικές ιδιότητες των κβαντικών καταστάσεων χωρίς να καταφεύγουμε κατ' ανάγκη στο ΑΣ.

2.10 Το Αξίωμα Συμμετρικοποίησης δεν είναι στοιχείο του κβαντομηχανικού formalismού

Με δεδομένη τη διπλή ερμηνεία της ισότητας (2.10) οι Greenberg & Messiah, έχουν δείξει ότι η ερμηνεία του AAM ως περιορισμός στα παρατηρήσιμα μπορεί να εξηγήσει τις κβαντικές στατιστικές χωρίς να απαιτείται η προσθήκη του ΑΣ. Από την αρχή σπεύδουν να επισημάνουν ότι το ΑΣ είναι μια εξαιρετικά ισχυρή συνθήκη και αμφισβητούν ότι αποτελεί αναγκαία προσθήκη για το χειρισμό των όμοιων κβαντικών σωματιδίων με συνεπή τρόπο. Αποδίδουν μάλιστα στα επιχειρήματα που συνήθως δίνονται υπέρ της εισαγωγής του ΑΣ στην κβαντική μηχανική έναν *ad hoc* χαρακτήρα, εφόσον δεν διατυπώνονται στη βάση κάποιων άλλων γενικότερων αρχών.⁵⁶ Το επιχείρημά τους ξεκινάει με την παραδοχή ότι το AAM ισχύει για όλες τις δυναμικές καταστάσεις συστημάτων πολλών-όμοιων-σωματιδίων, που αναπαριστώνται από τα διανύσματα $|\psi\rangle$ και $P|\psi\rangle$ αρκεί τα φυσικά παρατηρήσιμα να είναι αναλλοίωτα στις μεταθέσεις των όμοιων σωματιδίων. Όπως και ο Dieks θεωρούν φυσικά παρατηρήσιμα αυτά που μπορούν να μετρηθούν μέσα από μια πραγματική πειραματική διαδικασία και ως εκ τούτου από

⁵⁵ Greenberg, O. W. - Messiah, A. M. L., (1964)

⁵⁶ Greenberg, O. W. - Messiah, A. M. L., (1964) p248

τους ερμιτιανούς τελεστές, οι οποίοι δρουν στο χώρο Hilbert, μόνο οι συμμετρικοί θα μπορούσαν να αναπαριστούν φυσικά παρατηρήσιμα. Όμως η δράση συμμετρικών τελεστών, μεταξύ των οποίων και η χαμιλτονιανή, δεν μπορεί να αλλάξει τον τύπο συμμετρίας ενός συστήματος, ο οποίος καθορίζεται εξ αρχής λόγω των συνθηκών που επικρατούν κατά τη διαδικασία προετοιμασίας του.⁵⁷ Συγκεκριμένα το σύνολο των συμμετρικών τελεστών λειτουργεί ως ένας «μηχανισμός», ο οποίος χωρίζει το χώρο Hilbert σε ένα πλήθος μη αναγώγιμων υποχώρων, αναλλοίωτων υπό μεταθέσεις, ο καθένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από διαφορετικό τύπο συμμετρίας και συνδέεται με κάποιο εναλλακτικό στατιστικό μοντέλο. Επιπλέον αν ένα σύστημα αρχίσει να εξελίσσεται μέσα σε έναν συγκεκριμένο υποχώρο η δυναμική του είναι τέτοια ώστε να μη μπορεί να εξέλθει ποτέ από αυτόν.⁵⁸ Ας πούμε στην περίπτωση τριών σωματιδίων αναπαραστατικός χώρος του συστήματος είναι ο $\mathcal{H}^3$ που με τη δράση του AAM χωρίζεται σε τέσσερις συνολικά υποχώρους μη αναγώγιμους ως προς την ομάδα των μεταθέσεων: δύο μονοδιάστατους, ένα συμμετρικό και έναν αντισυμμετρικό, και δύο δισδιάστατους με διαφορετικούς και πιο σύνθετους τύπους συμμετρίας. Τα διανύσματα των δύο μονοδιάστατων υποχώρων αναπαριστούν τις γνωστές μποζονικές και φερμιονικές καταστάσεις, ενώ τα διανύσματα των δύο δισδιάστατων υποχώρων αναπαριστούν καταστάσεις σωματιδίων, στα οποία αναφερόμαστε ως *παρασωματίδια* (paraparticles) και τα οποία, αν υπάρχουν, θα επιδεικνύουν μια διαφορετικού τύπου στατιστική συμπεριφορά (parastatistics).⁵⁹ Το γεγονός ότι *παραστατιστικές* (parastatistics) συμπεριφορές δεν έχουν ποτέ μέχρι τώρα παρατηρηθεί δεν εξασθενίζει το επιχείρημα των Greenberg & Messiah, ότι δηλαδή το AAM ως περιορισμός των παρατηρήσιμων μεγεθών εξηγεί τις στατιστικές BE και FD, εφόσον υπό τη δράση συμμετρικών παρατηρήσιμων οι δυνατές καταστάσεις των μποζονικών και φερμιονικών συστημάτων περιορίζονται στους αντίστοιχους υποχώρους. Τούτων δεδομένων το ΑΣ εισάγεται ως μια επιπλέον προσθήκη, η οποία εκφράζει ένα εμπειρικό δεδομένο, σύμφωνα με το οποίο τα σωματίδια που έχουν μέχρι τώρα παρατηρηθεί είναι είτε μποζόνια είτε φερμιόνια και δεν αποτελεί στοιχείο του κβαντομηχανικού φορμαλισμού.

Παρόλα αυτά η δικαιολόγηση του ΑΣ έχει απασχολήσει τις κοινότητες φυσικών και φιλοσόφων και δεν έχουν εκλείψει οι προσπάθειες να βρεθεί μια άλλη θεμελιώδης αρχή από την οποία να αντλεί την ισχύ του. Σε μια από τις πλέον συζητημένες προσπάθειες το ενδιαφέρον των ερευνητών στράφηκε προς τη σχέση μεταξύ της τιμής του σπιν των σωματιδίων και του τύπου συμμετρίας των καταστάσεών τους, όπως αυτή περιγράφεται από τον Pauli σε μια ιστορική

⁵⁷ Greenberg, O. W. - Messiah, A. M. L., (1964) p251

⁵⁸ French, S., (1989) p443

⁵⁹ French, S.,-Krause, D., (2006) pp146-7

δημοσίευσή του το 1940.⁶⁰ Ωστόσο, όπως θα διαπιστώσουμε, κάνοντας μια σύντομη αναφορά στη συνέχεια, το θεώρημα που αποδεικνύει στην εργασία του αυτή ο Pauli δεν μπορεί να παρέχει την ζητούμενη θεμελίωση στο ΑΣ διότι η απόδειξή του το προϋποθέτει.

Ρίχνοντας μια ματιά στην ιστορία της επιστήμης διαπιστώνουμε ότι η εδραίωση της σχέσης του σπιν και των συμμετριών δρομολογήθηκε σχεδόν αμέσως μετά την αρχική διατύπωση της Απαγορευτικής Αρχής-ΑΑ από τον Pauli το 1925, σύμφωνα με την οποία στο ίδιο άτομο (atom) δεν μπορούν να υπάρχουν δύο ηλεκτρόνια για τα οποία οι τιμές των τεσσάρων κβαντικών αριθμών να συμπίπτουν. Η προσαρμογή της ΑΑ στο νεοσύστατο φορμαλιστικό πλαίσιο της κβαντομηχανικής πολύ γρήγορα έδειξε ότι η ΑΑ είναι συνέπεια της αντισυμμετρίας των κυματοσυναρτήσεων, οι οποίες αναπαριστούν συστήματα όμοιων φερμιονίων. Η Ανάλυση πειραματικών δεδομένων που ακολούθησαν στη συνέχεια, έδειξε επίσης ότι η ΑΑ ως συνέπεια της αντισυμμετρίας των κυματοσυναρτήσεων εφαρμόζεται πέραν των στοιχειωδών σωματιδίων και σε κάθε άλλο σύνθετο υποατομικό σωματίδιο, το οποίο κατηγοριοποιείται ανάλογα με τη συνολική τιμή του σπιν του, είτε ως φερμιόνιο είτε ως μποζόνιο. Οι εξελίξεις αυτές οδήγησαν τελικά σε μια γενική διατύπωση της ΑΑ που επεκτείνει την εφαρμογή της αρχής σε όλα τα γνωστά (μέχρι τώρα) σωματίδια. Στη γενική αυτή διατύπωση, όπως τη μεταφέρει ο Kaplan⁶¹, διαβάζουμε ότι:

«οι μόνες καταστάσεις ενός συστήματος όμοιων σωματιδίων με σπιν s οι οποίες πράγματι συμβαίνουν είναι αυτές των οποίων η συνολική κυματοσυνάρτηση πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα $(-1)^{2s}$ κατά την αμοιβαία μετάθεση κάποιου ζεύγους σωματιδίων. Δηλαδή, είναι συμμετρικές για ακέραιες τιμές του σπιν (Bose-Einstein στατιστική) και αντισυμμετρικές για ημιακέραιες τιμές του σπιν (Fermi-Dirac στατιστική)».

Υπό τη γενική αυτή μορφή λέει ο Kaplan, η ΑΑ είναι μια γενίκευση πειραματικών δεδομένων, γεγονός που ποτέ δεν ικανοποίησε τον ίδιο τον Pauli, ο οποίος επεδίωξε τη θεμελίωση της αρχής του σε άλλες γενικότερες αρχές. Προς την κατεύθυνση αυτή εργαζόμενος ο Pauli το 1940 απέδειξε το διάσημο θεώρημα της σύνδεσης σπιν και στατιστικής, σύμφωνα με το οποίο τα σωματίδια με ακέραιο σπιν δηλαδή τα μποζόνια, δεν μπορούν με συνέπεια να κβαντωθούν σε αντισυμμετρικές καταστάσεις, ενώ αντίστοιχα τα σωματίδια με ημιακέραιο σπιν ήτοι τα φερμιόνια, δεν μπορούν με συνέπεια να κβαντωθούν σε συμμετρικές καταστάσεις.⁶² Σε αυτή τη βάση συμπέρανε ότι τα σωματίδια με ακέραιο σπιν, υπακούν στη στατιστική ΒΕ ενώ τα

⁶⁰ Pauli, W. (1940), "The connection between spin and statistics" *Physical Review*, Vol 58

⁶¹ Kaplan, I., G. (1975) p 989

⁶² Ειδικότερα ο Pauli έδειξε ότι στην κβαντική θεωρία πεδίου οι τελεστές των σωματιδίων με ακέραιο σπιν δεν μπορούν να υπακούν στις φερμιονικές σχέσεις μετάθεσης, διότι αυτό οδηγεί σε παραβίασή της αιτιότητας και αντίστοιχα οι τελεστές των σωματιδίων με ημιακέραιο σπιν δεν μπορούν να υπακούν στις μποζονικές σχέσεις μετάθεσης, διότι αυτό οδηγεί σε αρνητικές τιμές της συνολικής ενέργειας του συστήματος.[Kaplan, I., G. (1975) p 989]

σωματίδια με ημιακέραιο σπιν, υπακούν στη στατιστική FD.

Η σύνδεση που κάνει το θεώρημα του Pauli μεταξύ της τιμής του σπιν και των κβαντικών στατιστικών ερμηνεύεται πολλάκις διασταλτικά υπό την έννοια ότι η τιμή του σπιν προτείνεται ως πηγή από την οποία αντλεί την εγκυρότητά του το ΑΣ. Ωστόσο μια τέτοια ερμηνεία δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή. Το θεώρημα του Pauli πράγματι απαγορεύει τις αντισυμμετρικές καταστάσεις για τα σωματίδια με ακέραιο σπιν και αντίστοιχα τις συμμετρικές για τα σωματίδια με ημιακέραιο σπιν, όμως από το γεγονός αυτό δεν προκύπτει ότι οι συμμετρικές και οι αντισυμμετρικές καταστάσεις είναι οι μόνες που υπάρχουν. Στην πραγματικότητα, όπως διευκρινίζει ο Kaplan⁶³, το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε ο Pauli μας λέει ότι αν συμμετρικές και αντισυμμετρικές καταστάσεις είναι οι μόνες που υπάρχουν, τότε τα σωματίδια με ημιακέραιο σπιν θα είναι φερμιόνια ενώ αυτά με το ακέραιο σπιν θα είναι μποζόνια. Κατόπιν τούτων φαίνεται ότι η απόδειξη του θεωρήματος του Pauli προϋποθέτει, έστω και σιωπηρά, το ΑΣ και ως εκ τούτου η θεμελίωση του εν λόγω αξιώματος δεν μπορεί να πηγάζει από το θεώρημα αυτό.

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση το ΑΣ δεν φαίνεται να αντλεί την ισχύ του από άλλα αξιώματα ή αρχές της κβαντικής θεωρίας. Αντίθετα εισάγεται προκειμένου να εκφράσει έναν περιορισμό και διαχωρισμό ταυτόχρονα, σύμφωνα με τον οποίο στη φύση υπάρχουν δύο μόνο θεμελιώδεις κατηγορίες σωματιδίων τα μποζόνια και τα φερμιόνια, τα οποία φέρουν αντίστοιχα ακέραιες και ημιακέραιες τιμές σπιν και η κβάντωσή τους σε συστήματα πολλών όμοιων σωματιδίων οδηγεί σε συμμετρικές και αντισυμμετρικές καταστάσεις. Όπως όμως συμβαίνει συνήθως με τα αξιώματα το ΑΣ δεν αναμετράται ευθέως με την εμπειρία. Δεν υπάρχει δηλαδή μια πειραματική διαδικασία που να αποδεικνύει ότι τα σωματίδια του υποατομικού κόσμου θα είναι είτε μποζόνια είτε φερμιόνια. Βέβαια όλα τα μέχρι τώρα πειράματα που ελέγχουν τον τύπο συμμετρίας κβαντικών καταστάσεων συνηγορούν υπέρ αυτού του περιορισμού-διαχωρισμού. Αυτό όμως δεν αποκλείει η επιστημονική έρευνα να δείξει στο μέλλον ότι κάποια σωματίδια δεν κατηγοριοποιούνται ούτε ως μποζόνια ούτε ως φερμιόνια και έχει σημασία να επισημάνουμε ότι ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός αφήνει ανοιχτό ένα τέτοιο ενδεχόμενο. Εκείνο όμως που απαγορεύεται στο πλαίσιο του κβαντομηχανικού φορμαλισμού είναι ένα μποζονικό σύστημα να εξελιχθεί σε φερμιονικό και αντιστρόφως. Όποια κι αν είναι η δυναμική που αναπτύσσουν τα κβαντικά συστήματα η εξέλιξή τους περιορίζεται μέσα σε ένα σύνολο δυνατοτήτων που καθορίζεται από τον μποζονικό ή φερμιονικό τους χαρακτήρα, τον οποίο διατηρούν με την πάροδο του χρόνου.

⁶³ Kaplan, I., G. (1975) p 989

3

Η Αρχή της Ταυτότητας των μη Διακρίσιμων στην Κβαντική Μηχανική

Η στατιστική μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων έφερε στο προσκήνιο ένα παλιό φιλοσοφικό ερώτημα: είναι δυνατόν δύο ξεχωριστά αντικείμενα να είναι από κάθε άποψη μη διακρίσιμες οντότητες; Η απάντηση του Leibniz στο ερώτημα αυτό περιέχεται σε μια από τις αρχές του, γνωστή ως *Αρχή της Ταυτότητας των μη Διακρίσιμων-ΑΤμΔ* (Principle of Identity of Indiscernibles-PII), η οποία λέει ότι μεταξύ δύο αντικειμένων υπάρχει πάντα μια ποιοτική διαφορά, διότι σε αντίθετη περίπτωση δεν μπορούμε να μιλάμε για δύο αντικείμενα. Συγκεκριμένα αντιπαραδείγματα ωστόσο θέτουν σε δοκιμασία την εγκυρότητα της ΑΤμΔ. Ένα από τα πλέον γνωστά είναι ο φανταστικός κόσμος του Max Black⁶⁴, ο οποίος περιέχει μόνο δύο απόλυτα όμοιες σφαίρες, κατασκευασμένες από καθαρό σίδηρο, οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση 1 μιλίου η μία από την άλλη. Ο κόσμος του Black είναι απόλυτα συμμετρικός και τα δύο μοναδικά του αντικείμενα μοιράζονται τις ίδιες ιδιότητες και διαμορφώνουν τις ίδιες σχέσεις, των χωροχρονικών συμπεριλαμβανομένων, εφόσον η συμμετρία του φανταστικού αυτού κόσμου δεν επιτρέπει τη διάκρισή τους. Επίσης η αρχή φαίνεται να παραβιάζεται στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής από τις (αντι)συμμετρικές καταστάσεις όμοιων σωματιδίων. Ας θυμηθούμε ότι σύμφωνα με τις στατιστικές BE και FD όταν ένα πλήθος n όμοιων σωματιδίων κατανέμονται σε ένα πλήθος m μονοσωματιδιακών καταστάσεων δεν υπάρχει ένα αντικειμενικό γεγονός που να μας επιτρέπει να πούμε *ποιο* σωματίδιο καταλαμβάνει *ποια* κατάσταση με αποτέλεσμα να θεωρούμε τα σωματίδια μη διακρίσιμα και μάλιστα με την επισήμανση ότι η μη διακρισιμότητά τους απορρέει από τα ίδια τα σωματίδια και δεν οφείλεται στην κατάσταση του παρατηρητή. Αν όμως τα κβαντικά σωματίδια είναι πράγματι από κάθε άποψη μη διακρίσιμα, τότε σύμφωνα με την ΑΤμΔ στην περίπτωση του συστήματος των n σωματιδίων δεν μπορούμε να μιλάμε για n διαφορετικά αντικείμενα αλλά μόνο για ένα. Όμως το πλήθος των κβαντικών συστημάτων είναι ένα παρατηρήσιμο μέγεθος και γι αυτό μια δικαιολογημένη αντίδραση απέναντι σε μια τέτοια συναγωγή θα ήταν να πούμε ότι η εν λόγω αρχή δεν ισχύει.

Η φιλοσοφική όμως έρευνα οδήγησε και σε άλλου τύπου αντιδράσεις, οι οποίες αντανakλούν διαφορετικές απόψεις που αφορούν τόσο το κανονιστικό περιεχόμενο της αρχής όσο και το είδος των ποιοτικών διαφορών οι οποίες ανταποκρίνονται στο σκοπό της. Στις πλείστες των περιπτώσεων οι ερευνητές που ασχολήθηκαν με τα ζητήματα αυτά αντιμετώπισαν

⁶⁴ Black, Max (1952)

την ΑΤμΔ ως μια πιθανή αρχή ατομικότητας με το σκεπτικό ότι η εξατομικευμένη συμπεριφορά των αντικειμένων έχει πάντα ως συνέπεια τη διακρισιμότητά τους. Εφόσον όμως τα κβαντικά σωματίδια παρά την αριθμητική τους διαφορά παραμένουν μη διακρίσιμα δεν συμπεριφέρονται ως άτομα και η ΑΤμΔ παραβιάζεται. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι ερευνητές θεωρούν ότι ο σκοπός της ΑΤμΔ δεν είναι να εξατομικεύει και ότι αυτή θα πρέπει να ερμηνεύεται ως ένας φυσικός περιορισμός, σύμφωνα με τον οποίο στη φύση δεν μπορούν να υπάρχουν καθαρές αριθμητικές διαφορές, δηλαδή διαφορές που δεν ανάγονται σε ποιοτικές. Έτσι στην περίπτωση των κβαντικών συστημάτων ο πληθικός αριθμός που τα χαρακτηρίζει δεν μπορεί παρά να έχει μια ποιοτική διάσταση, διότι σε αντίθετη περίπτωση δεν θα ήταν αυτό που λέει ότι είναι, δηλαδή «πληθικός αριθμός», και τα κβαντικά σωματίδια δεν θα ήταν αριθμήσιμες οντότητες. Όμως η αριθμησιμότητα είναι αναγκαία προϋπόθεση για να είναι κάτι αντικείμενο και η έλλειψή της θα οδηγούσε στο συμπέρασμα ότι στις (αντι)συμμετρικές καταστάσεις δεν εμπλέκονται αντικείμενα.

Οι δύο αυτές ερμηνείες της ΑΤμΔ εκπορεύονται από διαφορετικά ερωτήματα. Στην πρώτη περίπτωση, η οποία συχνά αναφέρεται ως «*κυρίαρχη*» *άποψη* (received view), το ερώτημα αφορά την ατομικότητα των κβαντικών σωματιδίων, ενώ στη δεύτερη, στην οποία θα αναφερόμαστε ως «*εναλλακτική*» *άποψη*, το ερώτημα αφορά τη δυνατότητα να αναγνωρίζουμε τα κβαντικά σωματίδια ως αντικείμενα. Και στις δύο περιπτώσεις σημαντικό ρόλο παίζει το είδος των ποιότητων που επικαλούμαστε για να στοιχειοθετήσουμε τη διακρισιμότητα ή την έλλειψή της, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι όλες οι μορφές διακρισιμότητας δεν υπηρετούν τους ίδιους σκοπούς.

3.1 Η διακρισιμότητα είναι μια έννοια που επιδέχεται διαβάθμιση

Στη γλώσσα της συμβολικής λογικής η ΑΤμΔ εκφράζεται από την πρόταση:

$$\forall F(Fa \leftrightarrow Fb) \rightarrow a = b \quad (3.1)$$

όπου το F είναι ένα οποιοδήποτε κατηγορήμα ενώ τα a και b είναι αντικείμενα. Κατά τη διατύπωση της αρχής του, ο Leibniz δεν κάνει διάκριση μεταξύ ποιότητων. Αυτές μπορεί να είναι τόσο οι εγγενείς ιδιότητες των αντικειμένων όσο και ιδιότητες που φέρουν τα αντικείμενα εξ αιτίας της κατάστασης στην οποία κάθε φορά βρίσκονται. Άλλωστε μια τέτοια διάκριση δεν θα είχε νόημα για τον Leibniz. Αυτός ισχυρίζεται ότι τα αντικείμενα φέρουν εγγενώς όλες τις ιδιότητές τους, διότι αυτές εμπεριέχονται στην ίδια την έννοια του εκάστοτε αντικειμένου που γίνεται φορέας αυτών των ιδιοτήτων.⁶⁵ Υπό αυτές τις συνθήκες θεωρεί αδικαιολόγητο

⁶⁵ Ο Leibniz ισχυρίζεται ότι οτιδήποτε είναι αληθές για κάτι είναι ουσιαδώς αληθές, δηλαδή περιέχεται στην ίδια την ιδέα του πράγματος: «Πάντοτε, σε κάθε αληθή καταφατική πρόταση, είτε αναγκαία είτε τυχαία, είτε καθολική

πλεονασμό την πραγμάτωση της ίδιας έννοιας από περισσότερα του ενός αντικείμενα και διατυπώνει την αρχή του ως ένα φυσικό περιορισμό χάριν της οντολογικής οικονομίας. Έκτοτε και έξω από το φιλοσοφικό πλαίσιο που έθεσε ο Leibniz, μια έρευνα γύρω από την εγκυρότητα της ΑΤμΔ θα πρέπει να αποσαφηνίζει το είδος των ποιοτήτων, στις οποίες πρέπει να καταφεύγουμε για να εξηγήσουμε την αριθμητική διαφορά των αντικειμένων. Ως προς αυτό, είναι καταρχήν προφανές ότι η ίδια η αριθμητική διαφορά δύο αντικειμένων δεν είναι δυνατόν να εξηγήσει τον εαυτό της. Για τον λόγο αυτό δεν καταφεύγουμε σε μη ποιοτικές μεταβλητές όπως *ονόματα* (names), *ετικέτες* (labels) ή *δείκτες* (indexes) που χρησιμοποιούμε ως αναφορικά σύμβολα, διότι η εισαγωγή τους προϋποθέτει την αριθμητική διαφορά των αντικειμένων.⁶⁶ Ομοίως θα πρέπει από τον κατάλογο των ποιοτήτων να αποκλείσουμε κατηγορήματα, τα οποία εμπλέκουν την έννοια της ταυτότητας. Για παράδειγμα αν το κατηγορήμα «...ταυτίζεται με το αντικείμενο *α*» εκληφθεί ως μια από τις ποιότητες ενός αντικειμένου, τότε η ΑΤμΔ γίνεται τετριμμένα αληθής, εφόσον ένα μόνο αντικείμενο, το *α*, έχει την ιδιότητα αυτή.⁶⁷

Αναζητώντας γνήσιες ποιοτικές διαφορές μεταξύ αντικειμένων για τις οποίες η ΑΤμΔ εφαρμόζεται και είναι αληθής, καταλήγουμε τελικά σε μια διαβάθμιση της έννοιας της διακρισιμότητας και σε αντίστοιχες εκδοχές της αρχής. Αναφορικά με την πρόταση (3.1) η διαβάθμιση της διακρισιμότητας επιτυγχάνεται όταν θέτουμε τα κατάλληλα όρια στην εμβέλεια του κατηγορήματος *F*. Έτσι έχοντας εξ αρχής απορρίψει μη ποιοτικά κατηγορήματα, ή κατηγορήματα που καθιστούν την ΑΤμΔ τετριμμένα αληθή, μια διαβάθμιση που συχνά γίνεται οδηγεί σε δύο εκδοχές της ΑΤμΔ, την *ισχυρή* (strong) όταν η ιδιότητα της χωροχρονικής θέσης βρίσκεται έξω από την εμβέλεια του *F* και την *ασθενή* (weak) στην αντίθετη περίπτωση. Είναι αξιοσημείωτη η ιδιαίτερη σημασία που αποκτά η ιδιότητα της χωροχρονικής θέσης για όσους υιοθετούν αυτόν τον διαχωρισμό.⁶⁸ Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι διότι η συμπερίληψή της στην εμβέλεια του *F* καθιστά την ΑΤμΔ στην ασθενή της εκδοχή αληθή για τα σωματίδια της κλασικής φυσικής όχι όμως και για τα κβαντικά ομολογά τους. Μάλιστα με βάση αυτό το διαχωρισμό η ασθενής εκδοχή της ΑΤμΔ όχι μόνο είναι αληθής αλλά λειτουργεί και ως

είτε ειδική, η έννοια του κατηγορήματος περιλαμβάνεται με κάποιο τρόπο στην έννοια του υποκειμένου – *predicatum inest subjecto*– ειδώλως, δεν γνωρίζω τι είναι η αλήθεια» [Leibniz: *Philosophical writings*, G.H. R. Parkinson (London: Dent, 1973) p62]

⁶⁶ Redhead, M.,-Teller, P., (1992) p210

⁶⁷ French, S.,-Redhead, M., (1988) p234

⁶⁸ Στο διαχωρισμό αυτό προβαίνουν οι French και Redhead καθώς επίσης και οι Redhead και Teller [French, S.-Redhead, M. (1988) p234 και Redhead, M.,-Teller, P., (1992) p210-1]. Ανάλογος είναι ο διαχωρισμός που κάνουν ο French και οι French και Krause με τη διαφορά ότι την ισχυρή εκδοχή της ΑΤμΔ τη διακρίνουν παραπέρα σε δύο επιμέρους εκδοχές, εκ των οποίων η μια περιλαμβάνει μόνο τα μονοθέσια κατηγορήματα στην εμβέλεια του *F*, τα οποία φέρονται να εκφράζουν ιδιότητες των αντικειμένων και η άλλη περιλαμβάνει και κατηγορήματα με περισσότερες από μια μεταβλητές τα οποία φέρονται να εκφράζουν σχέσεις μεταξύ αντικειμένων.[French, S., (1989) p144 και French, S.,-Krause, D., (2006) p10-1]. Ωστόσο τα επιχειρήματα που ακολουθούν οι δύο πλευρές δεν διαφέρουν σημαντικά και οδηγούν στο ίδιο συμπέρασμα το οποίο αναδεικνύει το σημαίνοντα ρόλο της ιδιότητας της χωροχρονικής θέσης.

αρχή ατομικότητας, διότι η διακρισιμότητα που επιτυγχάνεται χάριν της χωροχρονικής θέσης μας επιτρέπει όχι μόνο να αναγνωρίζουμε την αριθμητική διαφορά ως τέτοια, αλλά και να λέμε ποιο σωματίδιο βρίσκεται σε ποια θέση. Όσοι υιοθετούν αυτόν τον διαχωρισμό διερευνούν αυτήν ακριβώς τη δυνατότητα, δηλαδή εξετάζουν εάν η ΑΤμΔ μπορεί να λειτουργήσει ως αρχή ατομικότητας για τα αντικείμενα της φυσικής και υπό ποιες προϋποθέσεις.

Αν όμως δεν ερμηνεύουμε την ΑΤμΔ ως αρχή ατομικότητας αλλά ως μια αρχή που αποκλείει ως φυσικώς αδύνατες τις καθαρές αριθμητικές διαφορές, τότε μπορούμε να επεκτείνουμε την εμβέλεια του F και να συμπεριλάβουμε κατηγορήματα που καθιστούν τα αντικείμενα *ασθενώς διακρίσιμα* (weak distinguishable/discernible). Η ασθενής διακρισιμότητα είναι η τρίτη και έσχατη βαθμίδα διακρισιμότητας που εισάγει ο Quine⁶⁹ και οι υποστηρικτές⁷⁰ της εναλλακτικής αυτής ερμηνείας που απαλλάσσει την ΑΤμΔ από το σκοπό της εξατομίκευσης, θεωρούν ότι η συμπερίληψη της ασθενούς διακρισιμότητας στην εμβέλεια του F καθιστά την ΑΤμΔ αληθή ακόμα και στην περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων. Ωστόσο η ασθενής διακρισιμότητα ευρισκόμενη στη βάση της κατά Quine διαβάθμισης, κατηγορείται ότι ολισθαίνει στην απλή αριθμητική διαφορά με αποτέλεσμα το επιχείρημα υπέρ της ΑΤμΔ να αποδεικνύεται κυκλικό. Για τον λόγο αυτό θα ήταν χρήσιμο να κάνουμε μια σύντομη αναφορά στους βαθμούς διακρισιμότητας που εισάγει ο Quine.

Ο Quine εισάγει τρεις βαθμίδες διακρισιμότητας που κατά σειρά ισχύος είναι η *απόλυτη* (absolute) ή *ισχυρή* (strong), η *σχετική* (relative) ή *ενδιάμεση* (moderate) και η *ασθενής* (weak)⁷¹. Απολύτως (ισχυρώς) διακρίσιμα είναι δύο αντικείμενα a και b , όταν υπάρχει μια ανοιχτή πρόταση μιας ελεύθερης μεταβλητής, έστω $M(x)$, η οποία ικανοποιείται από το ένα αλλά όχι από το άλλο αντικείμενο, όταν δηλαδή ισχύει⁷²:

$$M(a) \wedge \neg M(b) \text{ ή } \neg M(a) \wedge M(b) \quad (3.2)$$

Η σχετική (ή ενδιάμεση κατά Quine)⁷³ διακρισιμότητα εφαρμόζεται για τα αντικείμενα a

⁶⁹ W. V. Quine, (1976)

⁷⁰ Την ερμηνεία της ΑΤμΔ ως φυσικό περιορισμό που αποκλείει τις καθαρές αριθμητικές διαφορές υιοθετούν ο Saunders (2006), οι Muller και Saunders (2008) και οι Muller και Seevinck (2009).

⁷¹ Οι όροι «απόλυτη» και «σχετική» διακρισιμότητα χρησιμοποιούνται από τους Muller και Saunders (2008) και τους Ladyman και Bigaj (2009) αντί των αντίστοιχων όρων «ισχυρή» και «ενδιάμεση» στην κατά Quine διαβάθμιση. Οι όροι αυτοί είναι προτιμότεροι προκειμένου να αποφευχθεί ενδεχόμενη σύγχυση με την περίπτωση κατά την οποία η διαβάθμισή της διακρισιμότητας σε ισχυρή και ασθενή γίνεται με βάση την ιδιότητα της χωροχρονικής θέσης.

⁷² Αναφορικά με την απόλυτη διακρισιμότητα οι Ladyman και Bigaj λαμβάνοντας υπόψη τη διάκριση των μονοθέσων κατηγορημάτων μιας γλώσσας σε *πρωταρχικά* (primitive) και *οριζόμενα* (definable), επισημαίνουν ότι η απόλυτη διακρισιμότητα όπως αυτή ορίζεται από τους Muller και Saunders (2008) και η ισχυρή κατά Quine διακρισιμότητα είναι έννοιες ταυτόσημες αν και μόνο αν το σύνολο των ανοιχτών προτάσεων μιας ελεύθερης μεταβλητής ταυτίζεται με το σύνολο των μονοθέσων κατηγορημάτων, πρωταρχικών και οριζομένων. Αν αυτό δεν συμβαίνει τότε η απόλυτη διακρισιμότητα γίνεται πολύ πιο ισχυρή από την ισχυρή κατά Quine διακρισιμότητα. [Ladyman, J., - Bigaj, T., (2009) p125]

⁷³ Ο Quine θα πει ότι είναι δυνατόν, διαμορφώνοντας, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, τη μορφή ή το περιεχόμενο των ανοιχτών προτάσεων που καθιστούν δύο αντικείμενα διακρίσιμα, να ορίσουμε ένα πλήθος

και b όταν υπάρχει μια ανοιχτή πρόταση με δύο ελεύθερες μεταβλητές, έστω $R(x_1, x_2)$, η οποία ικανοποιείται από τα δύο αντικείμενα, όταν αυτά καταλάβουν τις θέσεις των μεταβλητών με μια ορισμένη σειρά και δεν ικανοποιείται όταν η σειρά αυτή αντιστραφεί. Όταν δηλαδή ισχύει:

$$R(a, b) \wedge \neg R(b, a) \text{ ή } \neg R(a, b) \wedge R(b, a) \quad (3.3)$$

Η σχετική διακρισιμότητα είναι μια μορφή *σχεσιακής* (relational) διακρισιμότητας όπου η σχέση που την επιβεβαιώνει χαρακτηρίζεται από *έλλειψη συμμετρίας* στις αμοιβαίες μεταθέσεις των αντικειμένων a και b .

Τέλος τα αντικείμενα a και b είναι ασθενώς διακρίσιμα όταν υπάρχει μια πρόταση $R(x_1, x_2)$ δύο ελεύθερων μεταβλητών, η οποία αληθεύει για τα αντικείμενα a και b , είναι συμμετρική στις αμοιβαίες μεταθέσεις τους και *μη* ανακλαστική. Έτσι ενώ είναι αληθής για τα a και b ανεξάρτητα από τη σειρά με την οποία θα καταλάβουν τις θέσεις των δύο μεταβλητών, δεν αληθεύει όταν οι θέσεις των δύο μεταβλητών καταληφθούν από το ίδιο αντικείμενο.

$$R(a, b) \wedge R(b, a) \wedge \neg R(a, a) \wedge \neg R(b, b) \quad (3.4)$$

Ο συλλογισμός που οδηγεί τον Quine στον ορισμό της ασθενούς διακρισιμότητας (Παράρτημα Β) δείχνει ότι αυτή βρίσκεται εννοιολογικά στο όριο μεταξύ διακρισιμότητας και μη διακρισιμότητας και είναι ασφαλώς ασθενέστερη της σχετικής διακρισιμότητας, εφόσον δύο αντικείμενα μπορούν να είναι ασθενώς διακρίσιμα ακόμα και στο πλαίσιο μιας γλώσσας, η οποία διαθέτει μόνο συμμετρικά κατηγορήματα. Το γεγονός αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής όπου τα φυσικά παρατηρήσιμα των κβαντικών συστημάτων πολλών-όμοιων-σωματιδίων περιορίζονται σε αυτά που είναι συμμετρικά. Έτσι αν υπάρχουν παρατηρήσιμα που να εκφράζουν μια συμμετρική μεν αλλά μη ανακλαστική σχέση μεταξύ δύο όμοιων σωματιδίων, τότε τα σωματίδια είναι ασθενώς διακρίσιμα, πράγμα που σημαίνει ότι η αριθμητική τους διαφορά αποκτά μια ποιοτική διάσταση. Αυτό για τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης είναι επαρκής λόγος για να ισχυρισθούν ότι η ΑΤμΔ εφαρμόζεται και είναι αληθής. Όμως τον ισχυρισμό αυτό δεν συμμερίζονται οι υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης. Όπως θα δούμε στη συνέχεια προβάλλουν αντιρρήσεις γύρω από το κανονιστικό περιεχόμενο της ΑΤμΔ και αμφισβητούν τη λογική δομή του επιχειρήματος της άλλης πλευράς, το οποίο κατηγορούν ως κυκλικό. Θα δούμε επίσης ότι στο πλαίσιο αυτής της συζήτησης οι περιπτώσεις των όμοιων σφαιρών του Black και των όμοιων κβαντικών σωματιδίων, οι οποίες συνήθως προβάλλονται ως αντιπαραδείγματα της ΑΤμΔ, δεν αντιμετωπίζονται ως ισοδύναμες. Ο κόσμος του Black είναι ένας κλασικός κόσμος που η περιγραφή του εμπίπτει στην αρμοδιότητα της κλασικής μηχανικής, σύμφωνα με την οποία οι δύο εγγενώς όμοιες σφαίρες δεν μπορούν παρά να βρίσκονται σε δύο διαφορετικές θέσεις, οι οποίες θα απέχουν μεταξύ τους μια

ενδιάμεσων βαθμών διακρισιμότητας. Ισχυρίζεται όμως ότι ο ορισμός που ο ίδιος δίνει για την ενδιάμεση (ή σχετική) διακρισιμότητα εξασφαλίζει στο μέγιστον βαθμό τη γενικότητα της έννοιας.

μη μηδενική απόσταση και άρα θα είναι δύο. Στην περίπτωση όμως των πλήρως συζευγμένων κβαντικών συστημάτων οι καταστάσεις υπέρθεσης θέτουν υπό αμφισβήτηση τη δυνατότητα η αριθμητική διαφορά να νοείται ως τέτοια.

Γενικά η έννοια της διακρισιμότητας και συνακόλουθα η ΑΤμΔ δεν έχουν την ίδια τύχη στη κλασική και κβαντική φυσική. Η διακρισιμότητα εγγενώς όμοιων αντικειμένων είναι συμβατή με την κλασική περιγραφή του κόσμου, η οποία φέρει το κάθε αντικείμενο να βρίσκεται κάθε χρονική στιγμή σε μια ορισμένη θέση. Το ίδιο επίσης ισχύει και για τη διακρισιμότητα που στατιστικά επιβεβαιώνεται για τα κλασικά συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων*, εφόσον το μοντέλο MB είτε διαμορφώνεται σύμφωνα με τους νόμους και τα αξιώματα της κλασικής μηχανικής είτε υπόρρητα τα εμπεριέχει.

3.2 Η διακρισιμότητα και η ατομικότητα των αντικειμένων της κλασικής φυσικής

Η εφαρμογή της έννοιας της διακρισιμότητας για τα μακροσκοπικά αντικείμενα γίνεται χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες, εφόσον οι ποιοτικές τους διαφορές γίνονται άμεσα αντιληπτές μέσω των αισθήσεων. Ακόμα κι όταν πρόκειται για όμοια αντικείμενα το γεγονός και μόνο ότι τα αντιλαμβανόμαστε κάθε χρονική στιγμή σε δύο διαφορετικές θέσεις του χώρου είναι ικανός λόγος για να τα χαρακτηρίσουμε διακρίσιμα. Όμως στη χωροχρονική θέση καταφεύγουμε και για μικροσκοπικά αντικείμενα για τα οποία η στατιστική μελέτη έχει δείξει ότι είναι διακρίσιμα, ότι δηλαδή η στατιστική τους συμπεριφορά περιγράφεται από το μοντέλο Maxwell-Boltzmann. Η διακρισιμότητα αυτής της κατηγορίας των αντικειμένων εξηγείται αφενός μεν διότι η στατιστική MB υιοθετεί τους νόμους και τα αξιώματα της κλασικής φυσικής, σύμφωνα με τα οποία κάθε αντικείμενο θα πρέπει να βρίσκεται κάθε χρονική στιγμή σε μια ορισμένη θέση αφετέρου δε διότι *υποθέτουμε* ότι τη θέση, την οποία καταλαμβάνει κάθε τέτοιο αντικείμενο, δεν τη μοιράζεται με κανένα άλλο. Η υπόθεση αυτή διατυπώνεται στο πεδίο της μεταφυσικής και αναφέρεται στη σχετική βιβλιογραφία ως *υπόθεση της μη διαπερατότητας* (impenetrability assumption). Για τον John Locke η μη διαπερατότητα είναι μια από τις πιο καθαρές ιδέες που συλλαμβάνουμε μέσω των αισθήσεων για τα πράγματα όταν τα αντιλαμβανόμαστε «να αντιστέκονται σε οτιδήποτε τείνει να εισέλθει στο χώρο που αυτά καταλαμβάνουν έως ότου να τον εγκαταλείψουν»⁷⁴. Είναι με άλλα λόγια η ικανότητα των υλικών αντικειμένων να προκαλούν τον *κορεσμό* του χώρου τον οποίο κατέχουν και να αποκλείουν κάθε άλλο αντικείμενο από τον ίδιο χώρο.⁷⁵ Υπό αυτές τις προϋποθέσεις η επίκληση της χωροχρονικής θέσης σε συνδυασμό με την

⁷⁴ Locke, J., *An essay concerning human understanding*, book II, ch4 “on solidity”

⁷⁵ Η μη διαπερατότητα φαίνεται καταρχήν να εκφράζει μια σχέση μεταξύ των αντικειμένων και του ίδιου του χώρου η οποία όμως προϋποθέτει ότι ο χώρος έχει τη δική του υπόσταση, ότι δηλαδή υπάρχει ανεξάρτητα από τα αντικείμενα που βρίσκονται μέσα σε αυτόν. Όμως η ιδέα ενός υποστασιοποιημένου χώρου δεν είναι καθολικά

υπόθεση της μη διαπερατότητας, μπορεί να δικαιολογήσει την αριθμητική διαφορά μεταξύ όμοιων από κάθε άλλη άποψη αντικειμένων. Μπορούμε ως εκ τούτου να συμπεράνουμε ότι η ΑΤμΔ στην ασθενή της τουλάχιστον εκδοχή αληθεύει για τα κλασικά σωματίδια.

Πέραν όμως της διακρισιμότητας, η κλασική μηχανική περιγράφει τα αντικείμενα της ως άτομα, εφόσον δίνει τη δυνατότητα στον παρατηρητή να τα διακρίνει μια δεδομένη χρονική στιγμή από άλλα αντικείμενα και να τα αναγνωρίζει ως τα ίδια αντικείμενα σε μελλοντικές χρονικές στιγμές. Η δυνατότητα επαναταυτοποίησης των κλασικών αντικειμένων στοιχειοθετείται σε ένα βαθμό με βάση τους νόμους και τα αξιώματα της κλασικής μηχανικής. Όταν δίνεται η χαμιλτονιανή ενός συστήματος, η οποία εκφράζει ως γνωστόν τη συνολική του ενέργεια ως συνάρτηση των συντεταγμένων της θέσης και της ορμής του, καθώς και η κατάστασή του μια ορισμένη χρονική στιγμή, τότε ο νόμος της χρονικής εξέλιξης θα καθορίζει την κατάστασή του και κάθε άλλη χρονική στιγμή. Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι ένα κλασικό αντικείμενο, ας πούμε το α , κινείται πάνω στον άξονα xx' και ότι η κατάστασή του τη χρονική στιγμή t_0 είναι (x_0, p_0) . Στην απλή αυτή περίπτωση οι διαφορικές εξισώσεις της κίνησης παίρνουν τη μορφή:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p} \quad \text{και} \quad \frac{dp}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x} \quad (3.5)$$

όπου $H(x,p)$ η Χαμιλτονιανή του συστήματος. Με δεδομένη την κατάσταση (x_0, p_0) και τη χαμιλτονιανή του α η επίλυση των παραπάνω εξισώσεων οδηγεί σε δύο συνεχείς και ανεξάρτητες μεταξύ τους χρονικές συναρτήσεις $x=x(t)$ και $p=p(t)$, με βάση τις οποίες βρίσκουμε την κατάσταση (x_t, p_t) του α κάθε άλλη χρονική στιγμή t . Η ανεξαρτησία των συναρτήσεων της θέσης και της ορμής δείχνει ότι, όταν είναι γνωστές οι αρχικές συνθήκες του προβλήματος, τότε μπορούμε ταυτόχρονα να γνωρίζουμε κάθε χρονική στιγμή τη θέση και την ορμή του α . Από την άλλη μεριά η συνέχεια των ίδιων συναρτήσεων δείχνει ότι το σύνολο των καταστάσεων από τις οποίες διέρχεται το α μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα αναπαριστώνται από μια συνεχή καμπύλη στο χώρο των φάσεων και ότι αυτό διαγράφει στον πραγματικό τρισδιάστατο χώρο μια συνεχή και καλά καθορισμένη τροχιά. Έτσι η κλασική μηχανική παρέχει τη δυνατότητα να ανασυγκροτούμε τις ιστορίες των αντικειμένων της και να ελέγχουμε ανά πάσα

αποδεκτή. Ο Leibniz πολύ πρώιμα βρέθηκε απέναντι στην ιδέα αυτή, υποστηρίζοντας ότι ο χώρος και ο χρόνος δεν είναι τίποτα περισσότερο από τις χωροχρονικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων. Μέσα σε αυτό το φιλοσοφικό πλαίσιο η θέση ενός αντικειμένου συνοψίζει το σύνολο των χωροχρονικών σχέσεων που αυτό διαμορφώνει με όλα τα άλλα αντικείμενα και η διακρισιμότητα μεταξύ αντικειμένων είναι δικαιολογημένη όταν δύο αντικείμενα δεν μπορούν να μοιράζονται το ίδιο σύνολο χωροχρονικών σχέσεων. Βέβαια για να συμβαίνει κάτι τέτοιο θα πρέπει ο κόσμος να είναι επαρκώς ασύμμετρος [French, S. – Redhead, M., (1998) p235] ούτως ώστε σε κάθε αντικείμενο να αντιστοιχεί ένα διαφορετικό σύνολο χωροχρονικών σχέσεων όποιο κι αν είναι το σύστημα αναφοράς που επιλέγεται κάθε φορά. Στην περίπτωση αυτή η μη διαπερατότητα αποκτά διαφορετικό νόημα: Η μοναδικότητα της θέσης σε έναν υποστασιοποιημένο χώρο αντιστοιχεί στη μοναδικότητα των χωροχρονικών σχέσεων που διαμορφώνει το κάθε αντικείμενο.

στιγμή αν η κατάσταση (x_t, p_t) στην οποία εντοπίζουμε ένα αντικείμενο, έστω το b , ανήκει ή όχι στην ιστορία του a . Αν επιπλέον υποθέσουμε ότι οι ιστορίες δύο αντικειμένων δεν μπορούν να διασταυρώνονται, ή ισοδύναμα ότι δύο αντικείμενα δεν μπορούν να βρεθούν την ίδια στιγμή στην ίδια κατάσταση, τότε συμπεραίνουμε ότι το a που τη χρονική στιγμή t_0 βρισκόταν στην κατάσταση (x_0, p_0) είναι το ίδιο με το b τη χρονική στιγμή t , αν και μόνο αν η κατάσταση (x_t, p_t) ανήκει στην ιστορία του a . Με άλλα λόγια αν δεσμευόμαστε και πάλι στην υπόθεση της μη διαπερατότητας, τότε η κλασική μηχανική αποδίδει στα αντικείμενα της εξατομικευμένη συμπεριφορά, εφόσον τα περιγράφει ως αντικείμενα που βρίσκονται *συνεχώς* υπό συνθήκες συγχρονικής και διαχρονικής ταυτότητας. Συμπεραίνουμε έτσι ότι όταν η ιδιότητα της χωροχρονικής θέσης συμπεριληφθεί στην εμβέλεια του κατηγορήματος F , τότε στο πλαίσιο της κλασικής μηχανικής η ΑΤμΔ στην ασθενή της εκδοχή είναι αληθής για τα κλασικά αντικείμενα και λειτουργεί ως αρχή ατομικότητας. Έτσι στον βαθμό που το μοντέλο MB προβλέπει για τα σωματίδια του κλασική συμπεριφορά τα μόρια και τα άτομα της ύλης για τα οποία το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται και ισχύει είναι διακρίσιμα σωματίδια που εξατομικεύονται χάριν της μοναδικότητας της θέσης τους και των τροχιών που διαγράφουν στο χώρο.

3.3 Οι «αντιγεγονοτικές» πιθανότητες επιβεβαιώνουν τη στατιστική μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων – το επιχείρημα της «κυρίαρχης» άποψης

Η στατιστική μη διακρισιμότητα είναι το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε για τα φυσικά συστήματα πολλών-όμοιων-σωματιδίων, τα οποία ανταποκρίνονται θετικά στο *Αίτημα του Αναλλοίωτου υπό Μεταθέσεις* – ΑΑΜ. Όμως η διακρισιμότητα είναι μια έννοια που η εφαρμογή της ελέγχεται με βάση τις ιδιότητες των αντικειμένων και γι αυτό αν θέλουμε να κρίνουμε την αλήθεια ή το ψεύδος της ΑΤμΔ στη κβαντική περίπτωση είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη μας τον τρόπο που η κβαντική μηχανική αποδίδει ιδιότητες στα σωματίδια της.

Σε αντίθεση με ότι ισχύει στην κλασική μηχανική, η απόδοση ιδιοτήτων σε ένα σωματίδιο στην κβαντική μηχανική ακολουθεί μια εντελώς διαφορετική λογική. Σύμφωνα με την αρχή της απροσδιοριστίας ο ταυτόχρονος καθορισμός της θέσης και της ορμής ενός σωματιδίου δεν είναι εφικτός στο κβαντικό πλαίσιο. Η θέση και η ορμή είναι *μη σύμμετρες* (incommensurable) ιδιότητες, δηλαδή ιδιότητες που δεν μπορούν να μετρηθούν μέσα από μια *κοινή* πειραματική διαδικασία, εφόσον κάθε μέτρηση της μιας εκ των δύο έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια κάθε πληροφορίας που αφορά την άλλη. Πέραν τούτου ένα κβαντικό σωματίδιο κατέχει μια ιδιότητα μόνο όταν βρίσκεται σε μια καθαρή κατάσταση, αλλά και πάλι αυτό δεν είναι αρκετό. Οι καθαρές καταστάσεις, αν και ισοδυναμούν σε μια πλήρη περιγραφή, μας πληροφορούν μόνο για την πιθανότητα ένα παρατηρήσιμο Q να πάρει την τιμή q όταν πραγματοποιηθεί η κατάλληλη

μέτρηση και αυτό συμβαίνει για κάθε παρατηρήσιμο και για κάθε δυνατή τιμή του. Έτσι όταν ένα σωματίδιο βρίσκεται σε μια καθαρή κατάσταση αυτό που συνήθως μπορούμε να κάνουμε είναι να κατανέμουμε πιθανότητες στις δυνατές τιμές των παρατηρήσιμων και να υπολογίζουμε την αναμενόμενη τιμή τους, η οποία είναι και η μέγιστη πληροφορία που η κατάσταση του σωματιδίου παρέχει για τα παρατηρήσιμα. Η μόνη περίπτωση που μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι το σωματίδιο έχει την ιδιότητα q είναι όταν το σωματίδιο βρίσκεται στην ιδιοκατάσταση $|q\rangle$ του παρατηρήσιμου Q με ιδιοτιμή q .

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο όταν δύο σωματίδια βρίσκονται σε καθαρές καταστάσεις ο έλεγχος της διακρισιμότητας διενεργείται με βάση τις αναμενόμενες τιμές των παρατηρήσιμων όπως αυτές διαμορφώνονται από τις κατανομές πιθανοτήτων στο φάσμα των ιδιοτιμών τους. Όταν όμως πρόκειται για κβαντικά συστήματα όμοιων σωματιδίων η απόδοση ιδιοτήτων σε μεμονωμένα σωματίδια, έστω και με τη μορφή των αναμενόμενων τιμών, περιπλέκεται ακόμη περισσότερο. Στις περιπτώσεις αυτές τα σωματίδια αποτελούν μέρη ενός συστήματος, το οποίο ως όλο βρίσκεται μεν σε μια (αντι)συμμετρική κατάσταση, τα ίδια όμως τα σωματίδια δεν βρίσκονται σε καθαρές καταστάσεις. Ας πάρουμε και πάλι την απλή περίπτωση δύο όμοιων σωματιδίων a και b . Αν $|q_1\rangle$ και $|q_2\rangle$ είναι οι δύο ιδιοκαταστάσεις ενός μονοσωματιδιακού παρατηρήσιμου Q με ιδιοτιμές q_1 και q_2 αντίστοιχα, τότε για το σύστημα των δύο σωματιδίων, του οποίου το διάνυσμα κατάστασης είναι διάνυσμα του χώρου $\mathcal{H}^2$, τα αντίστοιχα με το Q παρατηρήσιμα θα αναπαριστάνονται από τους τελεστές $Q_a = Q \otimes I$ για το σωματίδιο a και $Q_b = I \otimes Q$ για το σωματίδιο b . Οι τελεστές Q_a και Q_b ανήκουν στο χώρο $\mathcal{H}^2$ και από τεχνική τουλάχιστον σκοπιά η δράση τους στο διάνυσμα κατάστασης του συστήματος αναδεικνύει τις πιθανότητες τα σωματίδια a και b να λάβουν τις ιδιοτιμές q_1 και q_2 του παρατηρήσιμου Q .⁷⁶ Ωστόσο οφείλουμε να παρατηρήσουμε ότι οι τελεστές Q_a και Q_b δεν είναι συμμετρικοί στις αμοιβαίες μεταθέσεις των σωματιδίων ή ισοδύναμα των ονομάτων τους και ως εκ τούτου δεν αντιστοιχούν σε πειραματικά ανιχνεύσιμα παρατηρήσιμα. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει τα ονόματα δεν είναι δυναμικές μεταβλητές του συστήματος ώστε να αναγνωρίζονται από τις πειραματικές διατάξεις και γι αυτό θα πρέπει τα παρατηρήσιμα να περιορίζονται σε αυτά που είναι συμμετρικά στις αμοιβαίες μεταθέσεις των όμοιων σωματιδίων.

Παρόλα αυτά, δεδομένης της κατάστασης ενός συζευγμένου συστήματος όμοιων σωματιδίων, ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός παρέχει τον μηχανισμό υπολογισμού των πιθανοτήτων ένα συγκεκριμένο σωματίδιο, το a ή το b , να έχει μια από τις ιδιοτιμές του παρατηρήσιμου Q . Έτσι στο πλαίσιο του κβαντομηχανικού φορμαλισμού μπορούμε να

⁷⁶ French, S., Redhead, M. (1988)

υπολογίσουμε για παράδειγμα τις πιθανότητες $\text{Pr}^{|\psi\rangle}(Q_a = q_1)$ και $\text{Pr}^{|\psi\rangle}(Q_b = q_1)$ το σωματίδιο a ή το σωματίδιο b αντίστοιχα να φέρει την ιδιότητα q_1 ή ακόμα και δεσμευμένες πιθανότητες όπως η πιθανότητα $\text{Pr}^{|\psi\rangle}(Q_a = q_1 / Q_b = q_2)$ το σωματίδιο a να φέρει την ιδιότητα q_1 δεδομένου ότι το σωματίδιο b φέρει την ιδιότητα q_2 , οι οποίες εκφράζουν σχεσιακού τύπου ιδιότητες για το σύστημα των δύο σωματιδίων. Όπως όμως αποδεικνύουν οι French και Redhead⁷⁷ οι πιθανότητες αυτές αποτυγχάνουν να διακρίνουν μεταξύ τους τα σωματίδια a και b , διότι οι τιμές τους δεν διαφοροποιούνται κάθε φορά που οι τελεστές Q_a και Q_b αντικαθιστούν ο ένας τον άλλον. Ισχύουν δηλαδή σε κάθε περίπτωση οι ισότητες:

$$\text{Pr}^{|\psi\rangle}(Q_a = q_1) = \text{Pr}^{|\psi\rangle}(Q_b = q_1) \quad \text{και} \quad \text{Pr}^{|\psi\rangle}(Q_a = q_1 / Q_b = q_2) = \text{Pr}^{|\psi\rangle}(Q_b = q_1 / Q_a = q_2)$$

Εντούτοις η επίκληση μη συμμετρικών παρατηρήσιμων προκειμένου να ελεγχθεί το στάτους της διακρισιμότητας των όμοιων κβαντικών σωματιδίων σε κατάσταση σύζευξης ενέχει ένα παράδοξο! Στην κβαντική φυσική η απόδοση ιδιοτήτων, ακόμα και με τη μορφή των αναμενόμενων τιμών, γίνεται πάντα μέσα από την προοπτική μιας μέτρησης, η οποία όμως στην περίπτωση των μη συμμετρικών παρατηρήσιμων Q_a και Q_b είναι φυσικώς αδύνατη. Είναι δε σημαντικό να επισημάνουμε ότι η απουσία του πειραματικού πλαισίου δεν θέτει απλώς το πρόβλημα της εμπειρικής τεκμηρίωσης. Ένα τέτοιο πρόβλημα θα είχε νόημα να τεθεί στο πλαίσιο της κλασικής μηχανικής όπου θεωρούμε ότι το σύστημα κατέχει κάποιες ιδιότητες ανεξάρτητα από οποιαδήποτε μέτρηση, τις οποίες επιχειρούμε να γνωρίσουμε ή να επιβεβαιώσουμε καταφεύγοντας στο πείραμα. Στην κβαντική μηχανική όμως η απόδοση ιδιοτήτων είναι οργανικά συνδεδεμένη με τη δυνατότητα της μέτρησής τους και δεν έχει νόημα να μιλάμε για ιδιότητες έξω από την προοπτική μιας μέτρησης, η οποία όμως στην περίπτωση των παρατηρήσιμων Q_a και Q_b δεν υπάρχει. Αν όμως η απόδοση ιδιοτήτων εκτός πειραματικού πλαισίου δεν έχει νόημα, τότε ποιο θα μπορούσε να είναι το νόημα της κατανομής πιθανοτήτων πάνω στα δυνατά αποτελέσματα μιας *εξ αρχής* (in principle) αδύνατης μέτρησης; Οι Redhead και Teller δοκιμάζουν να δώσουν μια απάντηση στο ερώτημα και για το σκοπό αυτό επικαλούνται την εργασία του John Halpin, στην οποία ο συγγραφέας της, αφού αναφέρεται στις δυνατές λογικές μορφές που μπορεί να λάβει η απόδοση πιθανοτήτων στην κβαντική μηχανική, προτείνει τη δική του ερμηνεία, η οποία εν πολλοίς βασίζεται σε ευρέως αποδεκτές αναλύσεις περί *αντιγεγονοτικών υποθετικών λόγων* (counterfactual conditionals). Χάριν της ερμηνείας αυτής οι Redhead και Teller αποκαλούν *αντιγεγονοτικές* (counterfactual) τις πιθανότητες που αναδεικνύει η δράση των τελεστών Q_a και Q_b στο διάνυσμα κατάστασης του συστήματος.⁷⁸

Ο Halpin εκθέτει καταρχήν τη συνήθη σημασιολογική ανάλυση του αντιγεγονοτικού

⁷⁷ French, S., Redhead, M. (1988) pp240-1

⁷⁸ Redhead, M., - Teller, P., (1992) p213

υποθετικού λόγου φέρνοντας ένα παράδειγμα: «αν η μάζα της Γης ήταν μεγαλύτερη, η βαρυτική της έλξη θα ήταν ισχυρότερη»⁷⁹. Με δεδομένο ότι η (αντιγεγονοτική) προκειμένη του υποθετικού λόγου «αν η μάζα της Γης ήταν μεγαλύτερη...» δεν ισχύει στον ενεργεία κόσμο, η αληθοτιμή της απόδοσής του «...η βαρυτική της έλξη θα ήταν ισχυρότερη» κρίνεται συνήθως με όρους δυνατών κόσμων. Έτσι λέμε ότι η απόδοση του υποθετικού λόγου είναι αληθής στον ενεργεία κόσμο αν είναι αληθής σε όλους τους δυνατούς κόσμους στους οποίους η προκειμένη του είναι αληθής και οι οποίοι μοιάζουν αρκετά με τον ενεργεία κόσμο. Ο βαθμός ομοιότητας μεταξύ δυνατών κόσμων και του ενεργεία κόσμου εξαρτάται από το πλαίσιο μέσα στο οποίο διατυπώνεται ο εκάστοτε υποθετικός λόγος και στην προκειμένη περίπτωση η ομοιότητα κρίνεται επαρκής για όλους τους δυνατούς κόσμους στους οποίους ισχύει ο νόμος της βαρύτητας.

Στη κβαντική μηχανική η κατανομή πιθανοτήτων στις ιδιοτιμές ενός παρατηρήσιμου Q θα μπορούσε να τύχει ανάλογης σημασιολογικής εξήγησης, διότι η απόδοση πιθανοτήτων γίνεται πάντα μέσα από την προοπτική μιας μέτρησης ακόμα κι όταν η εν λόγω μέτρηση δεν πραγματοποιείται. Χάριν του γεγονότος αυτού ο υποθετικός λόγος: «Αν μια μέτρηση του παρατηρήσιμου Q πραγματοποιηθεί, τότε η πιθανότητα το αποτέλεσμα της μέτρησης να είναι η ιδιοτιμή q_1 είναι p » αποκτά αντιγεγονοτική μορφή, την οποία αναλύει ο Halpin κάνοντας και πάλι χρήση της έννοιας των δυνατών κόσμων. Έτσι ο εν λόγω υποθετικός λόγος είναι αληθής στον ενεργεία κόσμο όταν η απόδοσή του «...το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι η ιδιοτιμή q_1 » έχει πιθανότητα p να είναι αληθής στο σύνολο των δυνατών κόσμων στους οποίους η μέτρηση του παρατηρήσιμου Q πραγματοποιείται και είναι επαρκώς όμοιοι με τον ενεργεία κόσμο. Στην περίπτωση αυτή οι δυνατοί κόσμοι, οι οποίοι μετρούν ως επαρκώς όμοιοι με τον ενεργεία κόσμο, είναι αυτοί που διέπονται από τους ίδιους φυσικούς νόμους και συμφωνούν με αυτόν ως προς το διάνυσμα κατάστασης που αναφέρεται στο παρατηρήσιμο Q .

Θα πρέπει ωστόσο να επισημάνουμε ότι στην ανάλυσή του ο Halpin δεν κάνει αναφορά σε μη συμμετρικά παρατηρήσιμα τα οποία είναι πειραματικά απροσπέλαστα. Ο Halpin δίνει μια ενδιαφέρουσα αντιγεγονοτική ερμηνεία στις κβαντικές πιθανότητες επειδή όταν είναι γνωστή η κατάσταση ενός συστήματος, μπορούμε να κατανέμουμε πιθανότητες στα δυνατά αποτελέσματα μιας ενδεχόμενης μέτρησης χωρίς να είναι αναγκαίο η μέτρηση αυτή να πραγματοποιηθεί. Από αυτό όμως δεν συνάγουμε ότι η εν λόγω μέτρηση θα μπορούσε να ήταν και φυσικώς αδύνατη όπως συμβαίνει με τα παρατηρήσιμα Q_a και Q_b . Η συναγωγή αυτή προϋποθέτει μια επέκταση της ανάλυσης του Halpin στα μη συμμετρικά παρατηρήσιμα, η οποία όμως δεν είναι καθόλου αυτονόητη. Όπως επισημαίνουν οι Redhead και Teller, εάν οι αντιγεγονοτικές πιθανότητες είναι

⁷⁹ Halpin, F., J., (1991) p39

να εμπλέκονται στις κρίσεις μας περί διακρισιμότητας, τότε θα πρέπει να φέρουν ένα φυσικό νόημα και η απόδοσή τους να εκφράζει κάποιες ποιότητες των σωματιδίων, ας πούμε ένα είδος προδιάθεσης (disposition) που ενεργοποιείται όταν πληρείται μια συνθήκη, η οποία αν και φυσικώς αδύνατη στον ενεργειακό κόσμο είναι δυνατή σε ένα σύνολο δυνατών κόσμων επαρκώς όμοιων με τον ενεργειακό.⁸⁰ Όμως αν το πλαίσιο ομοιότητας το θέτει η κβαντική μηχανική, τότε δεν υπάρχουν δυνατοί κόσμοι στους οποίους πραγματοποιούνται μετρήσεις μη συμμετρικών παρατηρήσιμων και γι αυτό η αντιγεγονοντική ερμηνεία της απόδοσης πιθανοτήτων στα αποτελέσματα μια φυσικώς αδύνατης μέτρησης θα πρέπει να απορριφθεί.

Τόσο οι French και Redhead (1988) όσο και οι Redhead και Teller (1992), υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης, καταφεύγουν στα μη συμμετρικά παρατηρήσιμα Q_a και Q_b αν και γνωρίζουν ότι αυτά δεν έχουν φυσικό νόημα. Το κάνουν όμως για να δείξουν ότι ακόμα κι αν εξαντλήσουμε κάθε τεχνικό μέσο που παρέχει ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός η διάκριση των όμοιων κβαντικών σωματιδίων δεν είναι δυνατή με αποτέλεσμα η ΑΤμΔ να παραβιάζεται σε κάθε περίπτωση. Υπάρχει εντούτοις ένα στοιχείο που αξίζει να προσέξουμε και να θέσουμε ένα ερώτημα: με ποια λογική τα παρατηρήσιμα Q_a και Q_b ενώ δεν έχουν φυσικό νόημα συμπεριλαμβάνονται καταρχήν στην εμβέλεια του κατηγορήματος F ώστε να συμπεράνουμε στη συνέχεια ότι η ΑΤμΔ είναι ψευδής; Είναι φανερό ότι η διακρισιμότητα αλλά και η μη διακρισιμότητα δύο αντικειμένων οφείλει να διαπιστώνεται με βάση κατηγορήματα, τα οποία αναπαριστούν πραγματικές ιδιότητες και δεν αποτελούν ανερμήνευτα δημιουργήματα του φορμαλισμού. Θα ήταν συνεπώς περισσότερο συνεπές με τη κβαντική περιγραφή του κόσμου η συζήτηση να σταματήσει στο γεγονός ότι τα μη συμμετρικά παρατηρήσιμα Q_a και Q_b δεν έχουν φυσικό νόημα και άρα δεν μπορεί κάποιος να τα επικαλείται για να κρίνει τη διακρισιμότητα των σωματιδίων a και b . Μπορεί όμως να επικαλείται τον αποκλεισμό τους από τα παρατηρήσιμα με φυσικό νόημα για να πει ότι ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός αποκλείει κάθε δυνατότητα εξατομικευμένης αναφοράς μέσω κάποιου παρατηρήσιμου είτε στο σωματίδιο a , είτε στο σωματίδιο b . Με άλλα λόγια, για να συμπεράνουμε τη μη διακρισιμότητα των σωματιδίων a και b θα πρέπει να μην υπάρχει κάτι που μπορούμε να πούμε για το ένα σωματίδιο, το οποίο να μην ισχύει και για το άλλο. Όμως για ένα ζεύγος πλήρως συζευγμένων σωματιδίων φαίνεται να μην υπάρχει οτιδήποτε που μπορούμε να πούμε για κάποιο από τα δύο σωματίδια πέραν του ότι είναι σωματίδια ορισμένου είδους με καθορισμένες εγγενείς ιδιότητες.

Βέβαια κύρια επιδίωξη των Redhead και Teller είναι να αναδειχθεί η ένταση που δημιουργεί η χρήση των ονομάτων στην κβαντική μηχανική, η οποία ψευδώς υπονοεί την ικανότητα των κβαντικών σωματιδίων να φέρουν ένα όνομα. Όπως αναφέρουν αν η ονοματοδότηση ενός

⁸⁰ Redhead, M., - Teller, P., (1992) p214

αντικειμένου και η δυνατότητα να το σκεφτόμαστε διαχρονικά ως ένα και το αυτό αντικείμενο έχουν την ίδια οντολογική προέλευση, τότε η ικανότητά του να φέρει ένα όνομα θα πρέπει να απορρέει από την ατομικότητά του.⁸¹ Διερευνούν ως εκ τούτου τη δυνατότητα εξατομίκευσης των κβαντικών σωματιδίων και στην πραγματικότητα επικαλούνται την ΑΤμΔ ως αρχή ατομικότητας. Κατά τον έλεγχο της διακρισιμότητας αναζητούν ποιότητες που να αποδίδονται είτε κατηγορικά είτε πιθανοκρατικά στο κάθε σωματίδιο ξεχωριστά ώστε να είναι κατάλληλες να το εξατομικεύσουν. Για τον λόγο αυτό απορρίπτουν εξ αρχής τα συμμετρικά παρατηρήσιμα, τα οποία εξ ορισμού δεν μπορούν να ξεχωρίσουν μεταξύ τους τα σωματίδια a και b , παρά το γεγονός ότι είναι τα μόνα που αντιστοιχούν σε μετρήσιμες ποιότητες του συστήματος. Χάριν του επιχειρήματος καταφεύγουν επίσης στα μη συμμετρικά παρατηρήσιμα Q_a και Q_b , τα οποία αναφέρονται ευθέως στα σωματίδια a και b , όμως ούτε και αυτά καταφέρνουν να εξυπηρετήσουν τον σκοπό της εξατομίκευσης. Κατόπιν τούτων συμπεραίνουν ότι η ΑΤμΔ αποτυγχάνει ως αρχή ατομικότητας.

Η άποψη ότι η ΑΤμΔ αποτυγχάνει ως αρχή ατομικότητας στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής είναι γενικά ευρέως αποδεκτή. Εκείνο όμως που αμφισβητείται είναι αν ο σκοπός της ΑΤμΔ είναι πράγματι η εξατομίκευση των αντικειμένων. Ο ίδιος ο Leibniz δεν αποδίδει στην αρχή του ένα τέτοιο ρόλο. Τη διατυπώνει ως μια μεταφυσική αρχή για να πει ότι στον κόσμο δεν υπάρχουν καθαρές αριθμητικές διαφορές⁸² και κατά συνέπεια η αριθμητική διαφορά των αντικειμένων προϋποθέτει τη διακρισιμότητά τους. Συμβαίνει όμως η εικόνα του φιλοσόφου για τον κόσμο να είναι ότι αυτός συγκροτείται από *ατομικές υποστάσεις* (individual substances) και σε ένα τέτοιο κόσμο η διακρισιμότητα των αντικειμένων απορρέει από την ατομικότητά τους. Όμως γενικά η ατομικότητα είναι έννοια διαφορετική από τη διακρισιμότητα και άρα όταν αφήνουμε ανοιχτό το ενδεχόμενο να υπάρχουν στο κόσμο μη εξατομικευμένα αντικείμενα, τότε η αριθμητική διαφορά μεταξύ των αντικειμένων ίσως να προϋποθέτει και μια ποιοτική διαφορά, η οποία όμως δεν είναι απαραίτητο να συνεπάγεται την ατομικότητά τους. Βέβαια κάποιες μορφές διακρισιμότητας, όπως η απόλυτη και η σχετική κατά Quine διακρισιμότητα, οδηγούν

⁸¹ Οι Redhead και Teller χρησιμοποιούν τον όρο *Υπερβατολογική Ατομικότητα* (Transcendental Individuality) για να αναφερθούν στην οντότητα χάριν της οποίας ένα παραδοσιακά νοούμενο αντικείμενο συμπεριφέρεται ως άτομο. Χωρίς να ενδιαφέρονται για τη φύση της οντότητας που συλλαμβάνει ο όρος αυτός, επισημαίνουν και αναλύουν τη λειτουργική της σπουδαιότητα. Διακρίνουν δύο λειτουργίες. Στην πρώτη αναφέρονται με τον όρο *Υπερβατολογική Ατομικότητα Ετικετών* (Label Transcendental Individuality) και είναι αυτή χάριν της οποίας τα αντικείμενα ως άτομα (individuals) μπορούν να φέρουν μια ετικέτα. Στη δεύτερη αναφέρονται με τον όρο *Υπερβατολογική Ατομικότητα Ιδιοτήτων* (Categorical Transcendental Individuality) και είναι αυτή χάριν της οποίας τα αντικείμενα γίνονται υποκείμενα κατηγορήσεως. Εκ των δύο αυτών λειτουργιών η πρώτη εμπλέκει άμεσα την έννοια της ταυτότητας, διότι οι ετικέτες ή ισοδύναμα τα ονόματα προορίζονται να συλλαμβάνουν καταρχήν και στη συνέχεια να αναφέρονται στο ίδιο πάντα αντικείμενο. [Redhead, M. – Teller, P. (1992) p203]

⁸² Στις *Πρωτογενείς του Αλήθειες* (1686), ο Leibniz διατυπώνει την Αρχή του ως εξής: «Στη φύση δεν μπορούν να υπάρχουν δύο μεμονωμένα πράγματα που να διαφέρουν μόνο ως προς τον αριθμό...ποτέ δε θα βρεθούν δύο απόλυτα όμοια αυγά ή φύλλα ή λωρίδες χορταριού». “Leibniz: Philosophical writings” pp88-9

στην ατομικότητα των διακρίσιμων⁸³ κι αν περιορίσουμε την εμβέλεια του κατηγορήματος F στις κατάλληλες ιδιότητες και σχέσεις, τότε η ΑΤμΔ μπορεί πράγματι να λειτουργεί ως αρχή ατομικότητας, η οποία όμως σύμφωνα με την «κυρίαρχη» άποψη θα παραβιάζεται στην κβαντική μηχανική. Αν όμως ο σκοπός της ΑΤμΔ δεν είναι να εξατομικεύει αντικείμενα, τότε οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης διατείνονται ότι η ασθενής διακρισιμότητα δημιουργεί μια καλύτερη προοπτική για την τύχη της.

3.4 Η ασθενής διακρισιμότητα στην κβαντική μηχανική – το επιχείρημα της «εναλλακτικής» άποψης

Ο Simon Saunders⁸⁴ θα υποστηρίξει ότι η ασθενής διακρισιμότητα βρίσκει εφαρμογή στις αντισυμμετρικές κβαντικές καταστάσεις, δηλαδή στις καταστάσεις που συγκροτούνται από όμοια φερμιόνια. Το πιο απλό παράδειγμα είναι η singlet κατάσταση δύο ηλεκτρονίων, ας πούμε των a και b , την οποία περιγράφει ένα διάνυσμα του χώρου $\mathcal{H}^2$, της μορφής:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|x_a\rangle|y_b\rangle - |y_a\rangle|x_b\rangle) \quad (3.6)$$

όπου $|x\rangle$ και $|y\rangle$ είναι οι δύο ιδιοκαταστάσεις του σπιν σε μια ορισμένη διεύθυνση, ας πούμε στη διεύθυνση zz' . Η σχέση «το ... έχει στη διεύθυνση zz' αντίθετο σπιν από το ...» είναι ποιοτική εφόσον αφορά την ιδιότητα του σπιν, συμμετρική στις αμοιβαίες μεταθέσεις των σωματιδίων για τα οποία εφαρμόζεται, μη ανακλαστική εφόσον κανένα από τα δύο σωματίδια δεν μπορεί να έχει αντίθετο σπιν από τον εαυτό του και αληθεύει για τα ηλεκτρόνια της κατάστασης (3.6), τα οποία θα είναι ως εκ τούτου ασθενώς διακρίσιμα. Το ίδιο συμπέρασμα ισχύει για τις αντισυμμετρικές καταστάσεις όλων των συστημάτων που αποτελούνται από όμοια φερμιόνια: για κάθε σύστημα πολλών-όμοιων-φερμιονίων θα υπάρχει πάντα μια συμμετρική και μη ανακλαστική σχέση, χάριν της οποίας τα φερμιόνια θα είναι ασθενώς διακρίσιμα. Ο Saunders υποστηρίζει επίσης ότι χάριν της ασθενούς διακρισιμότητας των φερμιονίων διακρίσιμα θα είναι και τα σύνθετα μποζόνια τα οποία συγκροτούνται από φερμιόνια, ακόμα κι αν αυτά βρίσκονται σε συμμετρικές καταστάσεις. Βέβαια στην περίπτωση αυτή είναι φανερό ότι η διακρισιμότητα

⁸³ Ένα αντικείμενο *εξατομικεύεται* (individuate) όταν είναι απολύτως διακρίσιμο από όλα τα άλλα αντικείμενα, δηλαδή όταν υπάρχει μια ιδιότητα που κατηγορείται αληθώς στο εν λόγω αντικείμενο και ψευδώς σε όλα τα άλλα. Στην περίπτωση αυτή, η εν λόγω ιδιότητα λειτουργεί ως στοιχείο ταυτότητας του αντικειμένου και καθιστά δυνατή την αναφορά μας σε αυτό. Επίσης η σχετική διακρισιμότητα η οποία είναι σχεσιακού τύπου, εξατομικεύει ένα αντικείμενο αρκεί να εφαρμόζεται σε όλα τα ζεύγη αντικειμένων μιας δεδομένης κατάστασης. Στην περίπτωση αυτή κάθε μετάθεση του εν λόγω αντικειμένου με οποιοδήποτε άλλο, οδηγεί το σύστημα σε μια νέα κατάσταση, με αποτέλεσμα οι διαδοχικές μεταθέσεις του αντικειμένου να οδηγούν σε μια ακολουθία καταστάσεων η οποία θα συνδέεται με το συγκεκριμένο αντικείμενο και θα δημιουργεί συνθήκες ταυτότητας γι αυτό. *Επειδή όμως η δημιουργία συνθηκών ταυτότητας για ένα αντικείμενο συνιστά αναγκασία και ικανή συνθήκη ατομικότητας, τότε οι δύο αυτές μορφές διακρισιμότητας μπορούν να εγγυηθούν την ατομικότητα του αντικειμένου.*

⁸⁴ Saunders, S. (2006)

των σύνθετων μποζονίων δεν εμπίπτει σε κάποια από τις μορφές διακρισιμότητας που εισηγείται ο Quine. Όταν περιγράφουμε για παράδειγμα ένα σύστημα n σωματιδίων α (He^{2+}), τότε το σύστημα είναι μποζονικό, αναπαριστάνεται από ένα συμμετρικό διάνυσμα στο χώρο $\mathcal{H}^n$ και κατά συνέπεια τα σωματίδια α δεν είναι ασθενώς διακρίσιμα. Παρόλα αυτά ο Saunders ισχυρίζεται ότι σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η κυματοσυνάρτηση που αναπαριστά το όλο σύστημα δεν συνιστά μια πλήρη περιγραφή και ότι σε ένα αναλυτικότερο επίπεδο έχουμε μια «συλλογή» από ασθενώς διακρίσιμα σωματίδια.⁸⁵ Συνεπώς τα σωματίδια α , όπως και κάθε άλλο είδος σύνθετων μποζονίων, είναι διακρίσιμα χάριν της εσωτερικής φερμιονικής δομής τους και η διακρισιμότητά τους, η οποία κρίνεται απαραίτητη ώστε να είναι αντικείμενα, συνάγεται από τη διακρισιμότητα των μερών τους.⁸⁶

Δέχεται όμως ότι η ασθενής διακρισιμότητα δεν εφαρμόζεται στην περίπτωση των στοιχειωδών μποζονίων και ως εκ τούτου δεν υπάρχει τρόπος να εξηγηθεί η αριθμητική τους διαφορά. Από αυτό όμως δεν συμπεραίνει την παραβίαση της ΑΤμΔ. Καταφεύγει σε μια εναλλακτική μορφή υπεράσπισης της αρχής και υποστηρίζει ότι στην πραγματικότητα ένα πεδίο στοιχειωδών μποζονίων είναι ένα απλό αντικείμενο-πεδίο και ότι αυτό που παραπλανητικά θεωρούμε πληθικό αριθμό ενός μποζονικού συστήματος δεν είναι παρά ο βαθμός διέγερσης του *τρόπου* (mode) του πεδίου, δηλαδή ένας αριθμός που χαρακτηρίζει το σύστημα ως όλο χωρίς να υπονοεί την αριθμητική διαφορά των μερών του, εφόσον τέτοια μέρη δεν υπάρχουν.⁸⁷ Ο ελιγμός αυτός πράγματι διασώζει την ΑΤμΔ, δημιουργεί όμως άλλου είδους προβλήματα. Η ερμηνεία του πληθικού αριθμού ενός κβαντικού συστήματος όμοιων σωματιδίων ως βαθμός διέγερσης ενός κβαντικού πεδίου δεν προτείνεται μόνο για τα συστήματα των στοιχειωδών μποζονίων. Αντίθετα αποτελεί πάγια εναλλακτική ερμηνεία για κάθε είδος κβαντικού συστήματος και είναι εύλογο να αναρωτηθούμε προς τι αυτή η επιλεκτική αποδοχή της. Βέβαια θα μπορούσε κάποιος να επικαλεσθεί το γεγονός ότι η διάκριση μεταξύ των στοιχειωδών μποζονίων και όλων των λοιπών κβαντικών σωματιδίων – φερμιονίων και σύνθετων μποζονίων, αποτυπώνεται και είναι θεμελιώδης στη θεωρία του Καθιερωμένου Μοντέλου. Τα στοιχειώδη μποζόνια είναι οι φορείς

⁸⁵ Saunders, S. (2006), p60

⁸⁶ Ωστόσο δεν είναι ξεκάθαρος ο τρόπος με τον οποίο θα μπορούσε να γίνει κάτι τέτοιο. Ένα πόνιο για παράδειγμα συγκροτείται μέσω της ισχυρής δύναμης από δύο κουάρκ τα οποία κατηγοριοποιούνται ως φερμιόνια και έχει συνολικό spin μηδέν. Από την τιμή του spin συμπεραίνουμε ότι η στατιστική συμπεριφορά ενός συζευγμένου συστήματος πιονίων περιγράφεται από το μοντέλο BE και άρα δύο τέτοια σωματίδια έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα μετά από μια μέτρηση να βρεθούν στην ίδια κατάσταση από ότι σε διαφορετικές καταστάσεις. Αν λοιπόν η διακρισιμότητά τους είναι να κριθεί από τη διακρισιμότητα των μερών τους τότε θα πρέπει κάτι περισσότερο να ειπωθεί γύρω από τα δεδομένα που πρέπει να έχει κάποιος ώστε να συμπεράνει ότι τα φερμιόνια του ενός σωματιδίου είναι διακρίσιμα από τα φερμιόνια του άλλου. Επιπλέον αν το διάνυσμα κατάστασης δεν συνιστά πλήρη περιγραφή του όλου συστήματος, όπως ισχυρίζεται ο Saunders, τότε εύλογα θα ρωτήσει κάποιος τι συνιστά στην περίπτωση αυτή πλήρη περιγραφή και πώς αυτή θα ήταν δυνατόν να δοθεί στο πλαίσιο του κβαντομηχανικού φορμαλισμού.

⁸⁷ Saunders, S. (2006), p60

των τεσσάρων θεμελιωδών δυνάμεων που υπάρχουν στη φύση και διακρίνονται όχι μόνο από τα στοιχειώδη φερμιόνια, αλλά και από όλα τα υπόλοιπα κβαντικά σωματίδια, φερμιόνια και μποζόνια, τα οποία αποτελούν τα συστατικά της συνηθισμένης ύλης. Ωστόσο η εν λόγω διάκριση, η οποία πράγματι υφίσταται, δεν δημιουργεί το κατάλληλο πλαίσιο δικαιολόγησης για την επιλεκτική ερμηνεία του πληθικού αριθμού ενός κβαντικού συστήματος ως βαθμός διέγερσης ενός κβαντικού πεδίου ή ως αριθμητική διαφορά όμοιων σωματιδίων. Για να είναι η επιλεκτική αυτή ερμηνεία επαρκώς δικαιολογημένη θα πρέπει σε συμφωνία πάντα με την κβαντική περιγραφή του κόσμου να έχουμε λόγους να πιστεύουμε ότι τα στοιχειώδη μποζόνια δεν μπορούν να θεωρούνται μέρη ενός συμμετρικού μποζονικού συστήματος.

Ουσιαστικά το πρόβλημα αφορά τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες μπορεί κάποιος να θεωρεί ότι ένα φυσικό σύστημα αποτελείται από μέρη και δεν είναι ένα απλό αντικείμενο. Ο Saunders επικαλείται την ΑΤμΔ γι αυτόν ακριβώς τον σκοπό και θεωρεί ότι η διακρισιμότητα, έστω και ασθενής, παρέχει ένα ασφαλές κριτήριο σύμφωνα με το οποίο ένα κβαντικό σύστημα μπορεί να χαρακτηρίζεται σύνθετο ή απλό. Έτσι, όταν η ΑΤμΔ εφαρμόζεται και ισχύει, τότε έχουμε να κάνουμε με ένα σύνθετο σύστημα, του οποίου ο πληθικός αριθμός εκφράζει πράγματι την αριθμητική διαφορά των όμοιων σωματιδίων που το συγκροτούν. Αντίθετα, όταν η ΑΤμΔ δεν ισχύει, τότε έχουμε να κάνουμε με ένα απλό αντικείμενο-πεδίο, του οποίου ο «πληθικός» αριθμός εκφράζει στην πραγματικότητα τον βαθμό διέγερσής του. Εντούτοις η Katherine Hawley απαντώντας στον Saunders υποστηρίζει ότι η ΑΤμΔ όχι μόνο δεν δικαιολογεί μια επιλεκτική ερμηνεία του λεγόμενου «πληθικού» αριθμού των κβαντικών συστημάτων, αλλά οδηγεί σε ανεπιθύμητα για τον ίδιο συμπεράσματα. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο Saunders αποδίδει στην ΑΤμΔ κανονιστικό περιεχόμενο που δεν της αναλογεί. Όπως μας υπενθυμίζει η Hawley η ΑΤμΔ λέει ότι ένα φυσικό σύστημα δεν μπορεί να αποτελείται από μη διακρίσιμα μέρη. Αυτό στην περίπτωση των κβαντικών συστημάτων σημαίνει ότι η ΑΤμΔ δεν επιτρέπει να θεωρούμε τα στοιχειώδη μποζόνια ως μέρη ενός συμμετρικού συστήματος, διότι τότε θα ήταν μη διακρίσιμα. Επιτρέπει όμως να θεωρούμε τα φερμιόνια μέρη ενός αντισυμμετρικού συστήματος, εφόσον αυτά είναι ασθενώς διακρίσιμα, αν φυσικά δεχόμαστε ότι η ασθενής διακρισιμότητα είναι μια γνήσια μορφή διακρισιμότητας. Το «επιτρέπει» όμως, λέει η Hawley, δεν σημαίνει «απαιτεί» όπως θα επιθυμούσε ο Saunders.⁸⁸ Η ΑΤμΔ εισάγεται με σκοπό να περιορίζει το πλήθος των αντικειμένων στον μικρότερο δυνατό αριθμό ώστε να εξυπηρετείται το αίτημα της οντολογικής οικονομίας και όχι το αντίστροφο. Έτσι αν η συμμετρία μιας μποζονικής κατάστασης είναι μη αναγώγιμη στις μονοσωματιδιακές καταστάσεις που τη συγκροτούν, τι επιπλέον λόγους θα έχει κάποιος για να υποστηρίξει ότι το

⁸⁸ Hawley, K., (2006), p301

ίδιο δεν συμβαίνει με την αντισυμμετρία των φερμιονικών καταστάσεων; Άλλωστε όπως πολύ καλά γνωρίζουμε η σχέση που αναπαριστάει το διάνυσμα κατάστασης ενός συζευγμένου συστήματος, είτε φερμιονικού είτε μποζονικού, δεν ανάγεται σε κάποιες από τις ιδιότητες των μερών του, ακόμα κι αν υποθέσουμε ότι τέτοια μέρη υπάρχουν. Οι σχέσεις, για παράδειγμα, «*το ... έχει το ίδιο σπιν με το ...*» και «*το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...*», οι οποίες αποδίδονται σε ένα συμμετρικό και ένα αντισυμμετρικό σύστημα αντίστοιχα, δεν ανάγονται στις τιμές του σπιν των υποτιθέμενων σωματιδίων του, διότι αυτά αν υπάρχουν στις συζευγμένες καταστάσεις δεν έχουν καθορισμένο σπιν. Συνεπώς, αν η ΑΤμΔ επιβάλλει να αντιμετωπίζουμε ένα σύστημα στοιχειωδών μποζονίων ως ένα απλό αντικείμενο, τότε το ίδιο θα πρέπει να πράξουμε για κάθε συζευγμένο κβαντικό σύστημα. Κατόπιν τούτων, λέει η Hawley, αν δεχθούμε ως αληθή την ΑΤμΔ θα πρέπει να απορρίψουμε την ύπαρξη τόσο των μποζονίων όσο και των φερμιονίων.⁸⁹

Υπάρχει ένα στοιχείο στην κριτική που ασκεί η Hawley στην εργασία του Saunders που αξίζει να επισημάνουμε. Η Hawley υποστηρίζει με τον τρόπο της ότι η επιλεκτική ερμηνεία στοιχείων του κβαντομηχανικού φορμαλισμού για να γίνει αποδεκτή θα πρέπει να υπάρχουν ισχυρά θεωρητικά και εμπειρικά ερείσματα που μια φιλοσοφική αρχή δεν μπορεί να προσφέρει. Αντίθετα θεωρεί ότι οι αναπαραστάσεις των συμμετρικών και αντισυμμετρικών καταστάσεων θα πρέπει να ερμηνεύονται με τον ίδιο τρόπο και αν η ερμηνευτική διαδικασία θέτει την ΑΤμΔ ως μεταφυσική προκειμένη, τότε θα πρέπει να δεχθούμε ότι στις συζευγμένες καταστάσεις δεν υπάρχουν σωματίδια. Η Hawley δεν συνηγορεί υπέρ αυτής της ερμηνείας. Υποστηρίζει ότι μπορούμε κάλλιστα να δεχθούμε την ύπαρξη των συζευγμένων στοιχειωδών μποζονίων όπως και των συζευγμένων φερμιονίων, αρκεί να απορρίψουμε την ΑΤμΔ. Η ίδια λέει ότι:

«Τα συζευγμένα μποζόνια δεν είναι οι μη διακρίσιμες σκιές αναγνωρισμένων αντικειμένων: κάποιες από τις ιδιότητές τους είναι προσθετικές με αποτέλεσμα να συνιστά μεγάλη διαφορά το πόσα μποζόνια αποτελούν ένα δεδομένο σύστημα. Επιπλέον, όπως με τα φερμιόνια, οι καταστάσεις των συζευγμένων μποζονίων μπορούν επί της αρχής να καταρρεύσουν και να αναδειχθούν/δημιουργηθούν σωματίδια τα οποία να χαίρουν ανεξάρτητης ύπαρξης»⁹⁰

Προσθετικές είναι για παράδειγμα οι ιδιότητες της μάζας και του φορτίου και όταν δίνεται ένα σύστημα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* οι προσθετικές του ιδιότητες εξηγούνται καλύτερα όταν δεχθούμε ότι αυτά συγκροτούνται από ένα πλήθος σωματιδίων, των οποίων το άθροισμα των μαζών και το άθροισμα των φορτίων είναι η μάζα και το φορτίο του όλου συστήματος.

Οι Muller και Saunders⁹¹ επανέρχονται στο ίδιο θέμα για να υποστηρίξουν ότι τα φερμιόνια είναι ασθενώς διακρίσιμα σε κάθε φυσικώς αποδεκτή κατάσταση, καθαρή ή μικτή και σε όλους

⁸⁹ Hawley, K., (2006), p302

⁹⁰ Hawley, K., (2006), p302

⁹¹ Muller, A. F. - Saunders, S. (2008)

τους πεπερασμένων διαστάσεων χώρους Hilbert. Στην ίδια εργασία προβαίνουν στη διάκριση μεταξύ *κατηγορικής* (categorical) και *πιθανοκρατικής* (probabilistic) διακρισιμότητας και ισχυρίζονται ότι τα μποζόνια είναι σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις κατηγορικά ασθενώς διακρίσιμα, είναι όμως σε κάθε περίπτωση πιθανοκρατικά ασθενώς διακρίσιμα. Επισημαίνουν δε ότι οι σχέσεις με βάση τις οποίες δύο όμοια σωματίδια θα χαρακτηρίζονται ασθενώς διακρίσιμα, είτε κατηγορικά είτε πιθανοκρατικά οφείλουν να είναι φυσικά αποδεκτές και ως προς αυτό οι Muller και Saunders θέτουν δύο προϋποθέσεις/αιτήματα. Έτσι μια φυσικά αποδεκτή σχέση οφείλει πρώτον να έχει φυσικό νόημα και δεύτερον να είναι αναλλοίωτη στις αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων σωματιδίων. Η πρώτη προϋπόθεση πληρείται από σχέσεις οι οποίες ορίζονται με όρους φυσικών καταστάσεων και τελεστών που αντιστοιχούν σε φυσικά μεγέθη και η δεύτερη από συμμετρικές σχέσεις είτε αυτές είναι ανακλαστικές είτε όχι.⁹² Με δεδομένους τους άνωθεν φυσικούς περιορισμούς η βασική ιδέα της επιχειρηματολογίας στην εργασία των Muller και Saunders είναι ότι για κάθε δεδομένη αντισυμμετρική κατάσταση, μπορεί να κατασκευασθεί ένας ερμιτιανός τελεστής $R_i(a,b)$, ο οποίος θα αναπαριστά ένα σύνολο *φυσικά αποδεκτών* (physically admissible) σχέσεων, κάθε μέλος του οποίου καθορίζεται από την τιμή της παραμέτρου $t \in R$.⁹³ Η κατασκευή ενός τέτοιου τελεστή είναι σε κάθε περίπτωση εφικτή και αν $|\psi\rangle$ είναι το διάνυσμα που αναπαριστά την αντισυμμετρική κατάσταση του συστήματος, τότε οι Saunders και Muller αποδεικνύουν ότι αν $a \neq b$ θα ισχύει ότι:

$$R_i(a,b) |\psi\rangle = \lambda |\psi\rangle \text{ και } R_i(a,a) |\psi\rangle = \mu |\psi\rangle \text{ όπου } \lambda \neq \mu \quad (3.7)$$

Συνεπώς, η σχέση R_i είναι συγχρόνως και μη ανακλαστική, εφόσον από τις ισότητες (3.7) συμπεραίνουμε ότι $R_i(a,a) |\psi\rangle \neq \lambda |\psi\rangle$ και άρα τα φερμιόνια είναι ασθενώς διακρίσιμα. Στην περίπτωση των μποζονίων η κατηγορική ασθενής διακρισιμότητα εφαρμόζεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις. Όμως τα μποζόνια είναι πάντα *πιθανοκρατικά ασθενώς διακρίσιμα* και αυτό διότι αν επιλέξουμε ένα τελεστή A , ο οποίος εμφανίζει διασπορά στις τιμές του σε μια δεδομένη κατάσταση $|\psi\rangle$, δηλαδή η $|\psi\rangle$ δεν είναι ιδιοκατάσταση του τελεστή A , τότε για τις

⁹² Muller, A., F. – Saunders, S., (2008) p527-8

⁹³ Ο Caulton ισχυρίζεται ότι οι σχέσεις $R_i(a,b)$ δεν είναι στην πραγματικότητα φυσικά αποδεκτές, διότι ναι μεν οι ίδιες είναι αναλλοίωτες στις αμοιβαίες μεταθέσεις των a και b και άρα συμμετρικές, το ίδιο όμως δεν ισχύει για τους τελεστές που τις συγκροτούν. Συγκεκριμένα οι Muller και Saunders ορίζουν το σύνολο των σχέσεων $R(x,y)$ με όρους προβολικών τελεστών οι οποίοι όμως δεν είναι αναλλοίωτοι υπό μεταθέσεις. Στην περίπτωση που η έρευνα αφορά ένα αντισυμμετρικό σύστημα δύο σωματιδίων η σχέση που κατά τους Muller και Saunders καθιστά ασθενώς διακρίσιμα τα σωματίδια του παίρνει τη μορφή $\sum_{i,j}^d P_{ij}^{(x)} P_{ij}^{(y)}$ όπου $P_{ij}^{(x)} = P_{ij} \otimes I$ και $P_{ij}^{(y)} = I \otimes P_{ij}$. Οι προβολικοί τελεστές $P_{ij}^{(x)}$ και $P_{ij}^{(y)}$ δεν είναι συμμετρικοί και σύμφωνα με τον Caulton δεν μπορούν να συνθέσουν μια φυσικά αποδεκτή σχέση [Caulton, A., (2013), p56]. Ανάλογη είναι η κριτική που ασκούν οι Hugget και Norton στη συγκρότηση των σχέσεων οι οποίες προβάλλονται από τους Muller και Saunders ως κατάλληλες να διακρίνουν ασθενώς τα κβαντικά σωματίδια [Hugget, N., - Norton, J., (2014) p48].

αναμενόμενες τιμές των τελεστών $A \otimes A$, $A^2 \otimes I$ και $I \otimes A^2$ στην κατάσταση $|\psi\rangle$ ισχύει ότι:

$$\langle\psi|A \otimes A|\psi\rangle \neq \langle\psi|A^2 \otimes I|\psi\rangle = \langle\psi|I \otimes A^2|\psi\rangle \quad (3.8)$$

Στη συνέχεια είναι δυνατόν να υπάρξει και πάλι ένα σύνολο, πιθανοκρατικών αυτή τη φορά, συμμετρικών σχέσεων $P_t(a,b)$ εκ των οποίων μία, που αντιστοιχεί σε ορισμένη τιμή της παραμέτρου t , να είναι και μη ανακλαστική ώστε τα a και b να είναι ασθενώς διακρίσιμα.

Στο κλείσιμο της εργασίας τους οι Muller και Saunders δηλώνουν υποστηρικτές της Αρχής του Leibniz, διότι πιστεύουν ότι η εφαρμογή της μπορεί πραγματικά να είναι χρήσιμη στην έρευνα για τη φύση της πραγματικότητας όπως αυτή διεξάγεται στο πλαίσιο μιας φυσικής θεωρίας. Η δική τους έρευνα αφορά την κβαντική θεωρία και έδειξε ότι τα φερμιόνια είναι διακρίσιμα και άρα είναι «...απόλυτα αξιόπιστα ως φυσικά αντικείμενα...».⁹⁴ Επιπλέον φυσικά αντικείμενα μπορούν να θεωρούνται και τα σύνολα των φερμιονίων όπως είναι τα άτομα, τα οποία, παρόλο που μπορεί να έχουν ακέραιο spin και να συγκαταλέγονται από τη σκοπιά της στατιστικής στην κατηγορία των μποζονίων, θεωρούνται διακρίσιμα χάριν της διακρισιμότητας των μερών τους. Συμπεραίνουν έτσι ότι οι μόνες γνωστές οντότητες, οι οποίες δεν μετρούν ως φυσικά αντικείμενα, είναι τα στοιχειώδη μποζόνια, τα οποία όλα ανήκουν στη κατηγορία των σωματιδίων πεδίου.⁹⁵

Σε επόμενη εργασία, οι Muller και Seevinck θα ισχυρισθούν ότι όλα τα κβαντικά σωματίδια, στοιχειώδη και μη, και ανεξάρτητα από το αν βρίσκονται σε συμμετρικές ή αντισυμμετρικές καταστάσεις είναι κατηγορικά ασθενώς διακρίσιμα. Παραλείποντας τις τεχνικές λεπτομέρειες η τεκμηρίωση του ισχυρισμού τους προχωράει ως εξής: ας υποθέσουμε ότι δίνεται ένα σύνθετο φυσικό σύστημα που αποτελείται από n σωματίδια καθώς και ο αντίστοιχος χώρος Hilbert $\mathcal{H}^n$ εντός του οποίου αναπαριστάνεται η κατάσταση του συστήματος, έστω $|\psi\rangle$. Έστω επίσης ότι υπάρχουν δύο τελεστές A και B που αναπαριστάνουν φυσικές ιδιότητες μεμονωμένων σωματιδίων, δηλαδή δρουν στο χώρο $\mathcal{H}$, και ότι υπάρχει επίσης ένας αριθμός c διάφορος του μηδενός τέτοιος ώστε για κάθε καθαρή κατάσταση $|\varphi\rangle \in \mathcal{H}$ να ισχύει $[A, B]|\varphi\rangle = c|\varphi\rangle$ πράγμα που σημαίνει ότι οι τελεστές A και B δεν μετατίθενται και άρα αναπαριστάνουν *μη σύμμετρες* (incommensurable) ιδιότητες. Τότε για τη σύνθετη κατάσταση του συστήματος η σχέση που αναπαριστάνεται από τον μεταθέτη $[A_a, B_b]$, όπου $A_a = I \otimes \dots \otimes I \otimes A \otimes I \otimes \dots \otimes I$ και ομοίως $B_b = I \otimes \dots \otimes I \otimes B \otimes I \otimes \dots \otimes I$ είναι (τοπικοί) τελεστές του χώρου $\mathcal{H}^n$ που η δράση τους πάνω στην κατάσταση $|\psi\rangle$ αναδεικνύει τις τιμές των τελεστών A και B για τα

⁹⁴ Muller, A., F. – Saunders, S., (2008) p541

⁹⁵ Muller, A., F. – Saunders, S., (2008) p542

σωματίδια a και b αντίστοιχα, είναι συμμετρική και ταυτόχρονα μη ανακλαστική και άρα τα a και b είναι ασθενώς διακρίσιμα. Ειδικότερα αποδεικνύεται ότι ο μεταθέτης $[A_a, B_b]$ ικανοποιεί τις μεταθετικές σχέσεις:

$$[A_a, B_b]|\psi\rangle = 0|\psi\rangle \quad (3.9) \quad \text{και} \quad [A_a, B_a]|\psi\rangle = c|\psi\rangle \quad (3.10)$$

Φυσικά τελεστές με τα χαρακτηριστικά των A και B πάντα θα υπάρχουν και είναι οι τελεστές της θέσης και της ορμής. Έτσι, αν δεχθεί κανείς ότι ο μεταθέτης $[A_a, B_b]$ αναπαριστάνει μια γνήσια ποιοτική σχέση, τότε τα a και b είναι ασθενώς διακρίσιμα.

Είναι όμως πράγματι έτσι; Οι Muller και Seevinck δεν απορρίπτουν, ούτε και αναθεωρούν τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες οι Muller και Saunders δέχονται ως φυσικά αποδεκτή μια σχέση.⁹⁶ Αν όμως οι προϋποθέσεις αυτές ισχύουν και στην περίπτωση του μεταθέτη $[A_a, B_b]$ τότε πέραν του ότι αυτός πρέπει να είναι συμμετρικός στις αμοιβαίες μεταθέσεις των σωματιδίων a και b , κάτι το οποίο ισχύει λόγω της μορφής του, θα πρέπει επίσης να φέρει φυσικό νόημα και το ερώτημα είναι ποιο είναι το φυσικό νόημα του εν λόγω μεταθέτη αναφορικά με τα φυσικά μεγέθη που αναπαριστάνουν οι μονοσωματιδιακοί τελεστές A και B . Ας πούμε για παράδειγμα ότι οι τελεστές A και B αναπαριστάνουν τα παρατηρήσιμα της «θέσης» και της «ορμής» αντίστοιχα. Σύμφωνα με τη σχέση (3.9) οι τελεστές A_a και B_b μετατίθενται, το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει μια πειραματική διαδικασία, η οποία επιτρέπει να αποδώσουμε μια θέση στο σωματίδιο a και μια ορμή στο σωματίδιο b . Αντίστοιχα η σχέση (3.10) μας πληροφορεί ότι οι τελεστές A_a και B_a δεν μετατίθενται, ότι δηλαδή δεν υπάρχει ένα πείραμα που να αποδίδει στο ίδιο σωματίδιο ταυτόχρονα την ιδιότητα της θέσης και της ορμής. Διαπιστώνουμε έτσι ότι η συμμετρικότητα και η μη ανακλαστικότητα των μεταθετικών σχέσεων που ικανοποιεί ο μεταθέτης $[A_a, B_b]$ ερμηνεύεται από τη μια μεριά ως δυνατότητα να γνωρίσουμε ταυτόχρονα την θέση του a και την ορμή του b και από την άλλη ως έλλειψη δυνατότητας να γνωρίσουμε ταυτόχρονα την θέση και την ορμή του a . Συνεπώς καμιά πληροφορία δεν αποσπούμε από τη δράση του εν λόγω μεταθέτη που να αφορά τις ιδιότητες τις ίδιες ούτε κατηγορικά ούτε πιθανοκρατικά και αν επιμείνουμε να θεωρούμε τον μεταθέτη $[A_a, B_b]$ ως τελεστή που εκφράζει μια φυσικά αποδεκτή σχέση μεταξύ των μερών ενός σύνθετου συστήματος, τότε θα πρέπει να δεχθούμε ότι η δυνατότητα να γνωρίσουμε ποιες ιδιότητες μπορεί να φέρει ένα αντικείμενο σε σχέση με κάποιο άλλο ή με τον εαυτό του, είναι η ίδια ένα φυσικό μέγεθος στο οποίο μπορούμε να καταφεύγουμε όταν ελέγχουμε τη διακρισιμότητα δύο σωματιδίων. Προφανώς κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει αποδεκτό: η

⁹⁶ Muller, F. A., Seevinck, M. P., (2009), p185

δυνατότητα ένα φυσικό σύστημα να φέρει κάποια ιδιότητα ή να διαμορφώνει μια ορισμένη σχέση με κάποιο άλλο δεν ανήκει στα ποιοτικά του χαρακτηριστικά αλλά αφορά τις συνθήκες υπό τις οποίες κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί.⁹⁷

3.5 Η Απαγορευτική Αρχή του Pauli ως Αρχή των Pauli - Leibniz

Τα φερμιόνια είναι τα σωματίδια που συμμορφώνονται με την Απαγορευτική Αρχή – ΑΑ του Pauli και όπως θα δούμε στη συνέχεια η εφαρμογή της εν λόγω Αρχής στα συστήματα πολλών-όμοιων-φερμιονίων είναι ο λόγος για τον οποίο τα φερμιόνια καθίστανται κατ' ανάγκη ασθενώς διακρίσιμα. Παρόλο που η αρχική διατύπωση της Αρχής⁹⁸ αφορούσε μόνο τα δεσμευμένα ηλεκτρόνια των ατόμων, είναι γνωστό ότι η εφαρμογή της εκτείνεται στο σύνολο των φερμιονίων. Σύμφωνα λοιπόν με την αρχική της διατύπωση η ΑΑ λέει ότι *σε ένα κβαντικό σύστημα που συγκροτείται από όμοια φερμιόνια, δεν μπορεί να υπάρξει μια κβαντική κατάσταση στην οποία δύο φερμιόνια να μοιράζονται το ίδιο σύνολο μονοσωματιδιακών κβαντικών αριθμών ή ισοδύναμα να βρίσκονται στην ίδια μονοσωματιδιακή κατάσταση*. Ωστόσο η διατύπωση αυτή όταν δεν λαμβάνεται υπόψη το νόημα της κβαντικής κατάστασης οδηγεί σε λανθασμένες ερμηνευτικές προσεγγίσεις και θα εξηγήσουμε το γιατί. Είναι σημαντικό καταρχήν να κατανοήσουμε ότι στη κβαντική μηχανική η περιγραφή ενός φυσικού συστήματος αφορά πρώτα και κύρια τις διαθέσιμες μονοσωματιδιακές κβαντικές καταστάσεις, οι οποίες καθορίζονται από ένα σύνολο κβαντικών αριθμών και δευτερευόντως από τα σωματίδια που το συγκροτούν. Ας πάρουμε για παράδειγμα ένα σύστημα δύο όμοιων σωματιδίων και ας θυμηθούμε τους δυνατούς τρόπους αναπαράστασής του. Ως γνωστόν στην περίπτωση αυτή το διάνυσμα κατάστασης του συστήματος θα ανήκει στο χώρο $\mathcal{H}^2$ και αν τα διανύσματα $|x\rangle$ και $|y\rangle$ αντιστοιχούν στις ιδιοκαταστάσεις ενός μονοσωματιδιακού παρατηρήσιμου Q , τότε θα λάβει κάποια από τις παρακάτω τέσσερις μορφές:

$$|x\rangle|x\rangle \quad (3.11) \quad |y\rangle|y\rangle \quad (3.12) \quad \frac{1}{\sqrt{2}}(|x\rangle|y\rangle + |y\rangle|x\rangle) \quad (3.13) \quad \frac{1}{\sqrt{2}}(|x\rangle|y\rangle - |y\rangle|x\rangle) \quad (3.14)$$

Τα διανύσματα (3.11), (3.12) και (3.13) είναι συμμετρικά υπό μεταθέσεις και αναπαριστούν το καθένα ένα μποζονικό σύστημα, ενώ το διάνυσμα (3.14) είναι αντισυμμετρικό και αναπαριστάνει ένα φερμιονικό σύστημα. Σε κάθε περίπτωση η περιγραφή του συστήματος είναι πλήρης όταν δίνονται οι κβαντικοί αριθμοί των μονοσωματιδιακών καταστάσεων $|x\rangle$ και $|y\rangle$ καθώς επίσης και οι συντελεστές των γινομένων που συγκροτούν το διάνυσμα κατάστασης, οι οποίοι επιτρέπουν να υπολογίσουμε και να κατανείμουμε πιθανότητες σε όλα τα δυνατά

⁹⁷ Dorato, M.,-Morganti, M., (2011) p604

⁹⁸ Pauli, W., (1925)

αποτελέσματα της μέτρησης του παρατηρήσιμου Q .⁹⁹ Έτσι αν x και y είναι οι ιδιοτιμές των ιδιοκαταστάσεων $|x\rangle$ και $|y\rangle$ αντίστοιχα, τότε τα διάνυσματα (3.11) και (3.12) που το καθένα είναι ένα απλό γινόμενο δύο ιδιοκαταστάσεων με συντελεστή τη μονάδα, μας πληροφορούν ότι η πιθανότητα τα σωματίδια μετά από την κατάλληλη μέτρηση να βρεθούν και τα δύο στην κατάσταση $|x\rangle$ και να φέρουν την ιδιότητα x ή στην κατάσταση $|y\rangle$ και να φέρουν την ιδιότητα y είναι ίση με τη μονάδα. Τα πράγματα όμως διαμορφώνονται διαφορετικά όταν η κατάσταση του συστήματος αναπαριστάνεται εναλλακτικά από το διάνυσμα (3.13) ή το διάνυσμα (3.14). Κάθε μια από τις καταστάσεις αυτές είναι υπέρθεση των καταστάσεων $|x\rangle|y\rangle$ και $|y\rangle|x\rangle$ με κοινό συντελεστή $\frac{1}{\sqrt{2}}$. Με δεδομένη τη δομή των διανυσμάτων (3.13) και (3.14) δύο είναι οι πιο σημαντικές για τη συζήτηση μας πληροφορίες που αποσπούμε από το διάνυσμα κατάστασης του συστήματος. Η πρώτη λέει ότι όταν πραγματοποιηθεί η κατάλληλη μέτρηση το κάθε σωματίδιο έχει πιθανότητα $\frac{1}{2}$ να βρεθεί είτε στην κατάσταση $|x\rangle$ είτε στην κατάσταση $|y\rangle$ και η δεύτερη ότι αν το ένα σωματίδιο βρεθεί στην κατάσταση $|x\rangle$ τότε το άλλο θα βρεθεί με βεβαιότητα στην κατάσταση $|y\rangle$ και αντιστρόφως.

Υπάρχει όμως μια σημαντική διαφορά μεταξύ των διανυσμάτων (3.13) και (3.14). Το διάνυσμα (3.13) είναι ένα συμμετρικό διάνυσμα και μαζί με τα διανύσματα (3.11) και (3.12) αναπαριστούν τις τρεις δυνατές καταστάσεις ενός συστήματος δύο όμοιων μποζονίων. Αντίθετα το διάνυσμα (3.14) είναι ένα αντισυμμετρικό διάνυσμα και αναπαριστάνει τη *μόνη* δυνατή κατάσταση ενός συστήματος δύο όμοιων φερμιονίων. Πρόκειται για μια σημαντική διαφορά, που δείχνει ότι ο αντισυμμετρικός χαρακτήρας του διανύσματος (3.14) είναι συνέπεια της ΑΑ, η οποία ισχύει για τα φερμιόνια όχι όμως και για τα μποζόνια. Το διάνυσμα (3.14), όχι όμως και το (3.13), μηδενίζεται όταν οι καταστάσεις $|x\rangle$ και $|y\rangle$ ταυτίζονται, πράγμα το οποίο σε συμφωνία με την ΑΑ δείχνει ότι καμία μέτρηση δεν μπορεί να φέρει δύο όμοια φερμιόνια στην ίδια κατάσταση. Η συσχέτιση των αντισυμμετρικών καταστάσεων με την ΑΑ οδήγησε τελικά σε μια εναλλακτική διατύπωσή της, σύμφωνα με την οποία *τα διανύσματα που αναπαριστούν συστήματα όμοιων φερμιονίων θα πρέπει να είναι αντισυμμετρικά στις αμοιβαίες μεταθέσεις των σωματιδίων*. Η νέα αυτή διατύπωση δίνει στην ΑΑ μια καθαρά μαθηματική

⁹⁹ Στη γενική περίπτωση που το διάνυσμα κατάστασης $|\psi\rangle$ ενός κβαντικού συστήματος δίνεται από το ανάπτυγμα $\sum_i c_i |\varphi_i\rangle$ όπου $|\varphi_i\rangle$ είναι ιδιοκαταστάσεις ενός παρατηρήσιμου τότε σύμφωνα με την καθιερωμένη ερμηνεία της κβαντομηχανικής πληροφορούμαστε ότι η πιθανότητα το σύστημα να βρεθεί στην κατάσταση $|\varphi_i\rangle$ όταν πραγματοποιηθεί η κατάλληλη μέτρηση είναι ίση με c_i^2 .

μορφή και αποδίδει, όπως υποστηρίζει ο Henry Margenau¹⁰⁰, το ακριβές νόημα της, διότι αποφεύγει υποστασιοποιημένες προτάσεις του τύπου «...*βρίσκονται* στην ίδια κατάσταση» που παραπλανητικά παραπέμπουν σε κλασικές εικόνες για τον υποατομικό κόσμο. Ενδεικτικός ως προς αυτό είναι ο ισχυρισμός του Shadmi, ο οποίος θεωρεί ότι η ΑΑ δεν είναι παρά η γενίκευσή της υπόθεσης της μη διαπερατότητας, σύμφωνα με την οποία *δύο κλασικά σωματίδια δεν μπορούν να βρεθούν στην ίδια χωροχρονική θέση*. Θεωρεί δηλαδή ότι τα φερμιόνια είναι τα κβαντικά ανάλογα των κλασικών σωματιδίων και ότι οι κβαντικές μονοσωματιδιακές καταστάσεις είναι για τα φερμιόνια ό,τι η χωροχρονική θέση για τα κλασικά σωματίδια. Αν όμως ο ισχυρισμός του Shadmi γίνει αποδεκτός, τότε η ΑΤμΔ στην ασθενή της εκδοχή εφαρμόζεται και ισχύει στην κβαντική μηχανική τουλάχιστον για τα φερμιόνια.¹⁰¹

Η ιδέα ότι η ΑΤμΔ συνδέεται με την Απαγορευτική Αρχή είναι παλιά και είναι πολύ πιθανόν να διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον Herman Weyl, ο οποίος αναφερόταν στην ΑΑ ως Απαγορευτική Αρχή των Pauli – Leibniz.¹⁰² Όμως χρειάζεται προσοχή! Η άμεση σύνδεση των δύο αρχών οφείλεται στη εννοιολογική σύγχυση που πολλές φορές δημιουργείται μεταξύ κλασικής και κβαντικής κατάστασης. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η περιγραφή της κατάστασης ενός κβαντικού συστήματος όμοιων σωματιδίων συνίσταται στην περιγραφή ενός πλήθους μονοσωματιδιακών καταστάσεων καθώς επίσης και των πιθανοτήτων που έχει το κάθε σωματίδιο να βρεθεί σε μια από αυτές όταν πραγματοποιηθεί η κατάλληλη μέτρηση. Από αυτό όμως δεν προκύπτει ότι τα σωματίδια του συστήματος *βρίσκονται* στις ίδιες καταστάσεις και πριν από τη μέτρηση. Κάτι τέτοιο ισχύει μόνο όταν το σύστημα βρίσκεται σε μια από τις ιδιοκαταστάσεις ενός παρατηρήσιμου, κάτι που συμβαίνει με τις καταστάσεις που αναπαριστούν τα διανύσματα (3.11) και (3.12). Οι καταστάσεις αυτές είναι ιδιοκαταστάσεις του συστήματος και στην περίπτωση αυτή λειτουργεί ο *σύνδεσμος ιδιοκαταστάσεων – ιδιοτιμών* (eigenstate – eigenvalue link)¹⁰³ ώστε να μπορούμε να πούμε ότι τα διανύσματα (3.11) και (3.12) φέρουν τα δύο σωματίδια να *βρίσκονται* στην κατάσταση $|x\rangle$ ή στην κατάσταση $|y\rangle$ αντίστοιχα. Σε κάθε άλλη περίπτωση το να λέμε ότι τα σωματίδια ενός συζευγμένου συστήματος βρίσκονται σε μια ορισμένη κατάσταση είναι καταρχήν θέμα προς συζήτηση, όμως αυτό που κατηγορηματικά μπορούμε να αποκλείσουμε είναι ότι τα σωματίδια *βρίσκονται* το ένα στην $|x\rangle$ και το άλλο στην $|y\rangle$ κατάσταση και ότι ο (αντι)συμμετρικός τύπος του διανύσματος απλώς δεν

¹⁰⁰ Margenau, H., (1944), pp195

¹⁰¹ Shadmi, Y. (1978) pp846-7

¹⁰² Van Fraassen, C., B., (1998) p76

¹⁰³ Ο *σύνδεσμος ιδιοκατάσταση – ιδιοτιμή* λειτουργεί στις περιπτώσεις κατά τις οποίες ένα σύστημα βρίσκεται στην ιδιοκατάσταση $|q\rangle$ του παρατηρήσιμου Q με ιδιοτιμή q . Όταν αυτό συμβαίνει τότε το αποτέλεσμα της μέτρησης του παρατηρήσιμου Q θα είναι με βεβαιότητα q .

μας επιτρέπει να πούμε ποιο σωματίδιο είναι σε ποια κατάσταση. Υπό την έννοια αυτή η αρχική διατύπωση της ΑΑ από τον ίδιο τον Pauli, αν και στην πράξη αποδείχθηκε ιδιαίτερα σημαντική και γόνιμη στην παραπέρα κατανόηση, ανάπτυξη και θεμελίωση της κβαντικής μηχανικής, είναι από ερμηνευτική σκοπιά ελλιπής και ως εκ τούτου παραπλανητική. Μια συνεπής με την καθιερωμένη ερμηνεία της κβαντικής μηχανικής προσέγγιση του περιορισμού που θέτει η ΑΑ στη δομή του υποατομικού κόσμου είναι να πούμε ότι *για ένα κβαντικό σύστημα όμοιων φερμιονίων δεν υπάρχει μια κβαντική κατάσταση στην οποία δύο φερμιόνια να βρεθούν μετά από μια μέτρηση στην ίδια μονοσωματιδιακή κατάσταση*. Η αντισυμμετρικοποίηση των φερμιονικών καταστάσεων ανταποκρίνεται σε αυτόν ακριβώς το περιορισμό και γι αυτό εκφράζει με σαφή και καθαρό τρόπο το περιεχόμενο της ΑΑ.

Κατόπιν τούτων μένει να δούμε αν υπάρχει κάτι που μπορούμε να πούμε για τα μεμονωμένα σωματίδια των συζευγμένων καταστάσεων ώστε η ΑΤμΔ να ισχύει τουλάχιστον στην περίπτωση των φερμιονίων. Αναφορικά και πάλι με τα διανύσματα (3.13) και (3.14) ας ανακαλέσουμε την πρώτη από τις δύο πληροφορίες που αντλούμε για τα συστήματα που αναπαριστούν: το κάθε σωματίδιο του συστήματος έχει την ίδια πιθανότητα μετά από την κατάλληλη μέτρηση να βρεθεί είτε στην $|x\rangle$ είτε στην $|y\rangle$ κατάσταση. Με βάση την πληροφορία αυτή, αν θεωρούμε ότι τα μεμονωμένα σωματίδια των συζευγμένων καταστάσεων διατηρούν μια σχετική αυτονομία που μας επιτρέπει να πούμε ότι βρίσκονται σε κάποια κατάσταση, τότε θα βρίσκονται στην ίδια κατάσταση, η οποία θα είναι ένα μίγμα των ιδιοκαταστάσεων $|x\rangle|y\rangle$ και $|y\rangle|x\rangle$ του όλου συστήματος. Σύμφωνα με τον κβαντομηχανικό φορμαλισμό ένα τέτοιο μίγμα έχει τη μορφή $W = \frac{1}{2}(|x\rangle\langle x| + |y\rangle\langle y|)$ και δείχνει ότι το κάθε σωματίδιο *μετέχει* (partakes) ισοδύναμα και στις δύο καταστάσεις $|x\rangle$ και $|y\rangle$. Το συμπέρασμα αυτό γενικεύεται για κάθε σύστημα όμοιων σωματιδίων ανεξάρτητα από το πλήθος και ανεξάρτητα από τις ιδιοκαταστάσεις του παρατηρήσιμου που επιλέγουμε για να αναπτύξουμε το διάνυσμα κατάστασης. Το επιχείρημα υπέρ των μικτών καταστάσεων διατυπώθηκε αρκετά πρώιμα από τον Margenau και αποτέλεσε μια από τις βασικές προκείμενες της «κυρίαρχης» άποψης.¹⁰⁴ Ο ίδιος ο Margenau υποστήριξε ότι κάνουν λάθος οι φυσικοί και οι φιλόσοφοι που

¹⁰⁴ Αν και η απόδοση μικτών καταστάσεων στα επιμέρους σωματίδια των συζευγμένων καταστάσεων είναι απολύτως θεμιτή από τη σκοπιά του κβαντομηχανικού φορμαλισμού, η ερμηνεία τους έχει διχάσει τη φιλοσοφική κοινότητα. Ο Margenau θεωρεί ότι οι μικτές καταστάσεις είναι χωριστές μεν, αλλά μη διακρίσιμες καταστάσεις στις οποίες πράγματι βρίσκονται τα σωματίδια. Υπάρχουν όμως εναλλακτικές ερμηνείες και μια από τις πλέον αξιόπιστες είναι αυτή η οποία θεωρεί ότι οι μικτές καταστάσεις ανήκουν στην πλεονάζουσα δομή του κβαντομηχανικού φορμαλισμού και ως εκ τούτου δεν έχουν οντολογικό περιεχόμενο. Στην πραγματικότητα τα σωματίδια των συζευγμένων καταστάσεων δεν βρίσκονται σε κάποια συγκεκριμένη κατάσταση και ότι θα ήταν λάθος να θεωρούμε τις μικτές καταστάσεις ως *οντολογικά χωριστές καταστάσεις* [Massimi (2001)]. Αντί αυτού θα ήταν προτιμότερο να αντιμετωπίσουμε τα συζευγμένα συστήματα από μια ολιστική σκοπιά χωρίς όμως να

προβάλουν την ΑΑ ως τεκμήριο υπέρ της ΑΤμΔ. Αναφερόμενος μάλιστα στο παράδειγμα των δύο σωματιδίων θα πει ότι παρόλο που αυτά δεν διαφέρουν από οποιαδήποτε παρατηρήσιμη σκοπιά, οδηγούμαστε σε λάθος συμπεράσματα αν χειριζόμασταν το σύστημά τους ως μια απλή οντότητα. Τα δύο σωματίδια παρόλο που δεν διαφέρουν ποιοτικά, μπορούν να μετρηθούν και ως εκ τούτου η ΑΤμΔ δεν ισχύει.¹⁰⁵

Ωστόσο τα διανύσματα (3.13) και (3.14) μας πληροφορούν επιπλέον ότι αν το ένα σωματίδιο βρεθεί μετά από μια τοπική μέτρηση στην κατάσταση $|x\rangle$ τότε είναι βέβαιο ότι μετά από αντίστοιχη μέτρηση το άλλο σωματίδιο θα βρεθεί στην κατάσταση $|y\rangle$. Παρόλο που οι δύο μετρήσεις διεξάγονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη, τα αποτελέσματά τους δεν είναι το ίδιο ανεξάρτητα. Υπάρχει μεταξύ των αποτελεσμάτων μια συμμετρική και μη ανακλαστική *συσχέτιση* (correlation), η οποία αν ερμηνευτεί ως μια φυσικά αποδεκτή *σχέση* (relation) θα καθιστά τα σωματίδια και των δύο καταστάσεων ασθενώς διακρίσιμα. Πράγματι, αν υποθέσουμε ότι x και y είναι αντίστοιχα οι ιδιοτιμές των ιδιοκαταστάσεων $|x\rangle$ και $|y\rangle$ ενός παρατηρήσιμου, τότε η απόλυτη τιμή, έστω δ , της διαφοράς των ιδιοτιμών x και y ($\delta=|x-y|$, με $x \neq y$), είναι μια συμμετρική και μη ανακλαστική συσχέτιση πειραματικών αποτελεσμάτων, διότι έχει σταθερή τιμή, είναι διάφορη του μηδενός και αναλλοίωτη υπό μεταθέσεις.

Οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης ερμηνεύουν την εν λόγω συσχέτιση ως μια γνήσια σχεσιακή ιδιότητα, η οποία καθιστά τα μέρη του συστήματος ασθενώς διακρίσιμα. Αυτό συμβαίνει γενικά σε κάθε περίπτωση ενός συζευγμένου κβαντικού συστήματος n όμοιων σωματιδίων, τα οποία φέρονται από το διάνυσμα κατάστασης να αντιστοιχούν σε n διαφορετικές μονοσωματιδιακές καταστάσεις. Η διαφορά μεταξύ μποζονικών και φερμιονικών συστημάτων εντοπίζεται στο γεγονός ότι η ασθενής διακρισιμότητα όμοιων μποζονίων είναι μόνο ενδεχομενική και συμβαίνει με μια ορισμένη πιθανότητα που καθορίζεται από τη στατιστική Bose-Einstein, ενώ τα όμοια φερμιόνια οφείλουν να συμμορφώνονται με την ΑΑ και γι αυτό είναι κατ' ανάγκη ασθενώς διακρίσιμα.¹⁰⁶

Η ασθενής διακρισιμότητα, ενδεχομενική ή αναγκαία, είναι ένα συμπέρασμα βασισμένο σε συσχετίσεις πειραματικών αποτελεσμάτων, οι οποίες ανακύπτουν εξ αιτίας των κβαντικών

απορρίπτουμε τον σύνθετο χαρακτήρα τους. Μπορούμε για παράδειγμα να δεχθούμε ότι στις συζευγμένες καταστάσεις να μην δεν μπορούμε να αποδώσουμε ιδιότητες σε κάθε σωματίδιο ξεχωριστά, μπορούμε όμως να μιλάμε με νόημα για σχεσιακού τύπου ιδιότητες οι οποίες παρόλο που αποδίδονται στο σύστημα ως όλο, προϋποθέτουν την ύπαρξη των συσχετιζόμενων μερών [Teller, P. (1986)] Οι ολιστικές θεωρίες έχουν βρει στη κβαντική μηχανική ένα αρκετά ευρύχωρο πεδίο εφαρμογής και θα μας απασχολήσουν αρχικά στο 4^ο και στη συνέχεια στο 5^ο κεφάλαιο.

¹⁰⁵ Margenau, H., (1944) p201-2

¹⁰⁶ Αυτό είναι κατά βάση και το επιχείρημα των Muller και Saunders υπέρ της ασθενούς διακρισιμότητας για την οποία λένε ότι ισχύει κατηγορικά στην περίπτωση των φερμιονίων και πιθανοκρατικά στην περίπτωση των μποζονίων.

συζεύξεων. Οι κβαντικές συζεύξεις, αρνητικές ή θετικές ευθύνονται για το γεγονός ότι το κάθε σωματίδιο έχει την ίδια πιθανότητα να βρεθεί σε μια ορισμένη κατάσταση. Όμως η μέτρηση δημιουργεί δεδομένα τα οποία αποτυπώνονται ως τάσεις στις τιμές των δεσμευμένων πιθανοτήτων. Αυτές μας δείχνουν ότι τα φερμιόνια έχουν μηδενική πιθανότητα να βρεθούν σε ήδη κατειλημμένες καταστάσεις σε αντίθεση με τα μποζόνια όπου η ίδια πιθανότητα εμφανίζεται αυξημένη σε σχέση με την πιθανότητα να βρεθούν σε μια κενή κατάσταση. Συνεπώς, παρόλο που πριν από οποιαδήποτε μέτρηση είναι αδύνατο να πούμε κάτι για ένα σωματίδιο του συστήματος που να μην ισχύει για κάθε άλλο, μπορούμε να τα σκεφτόμαστε ως χωριστά σωματίδια και να περιγράψουμε τις τάσεις που το καθένα εκδηλώνει σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα. Έτσι, αν η ασθενής διακρισιμότητα είναι να μας λέει κάτι για τα σωματίδια των συζευγμένων καταστάσεων, αυτό αφορά την τάση του καθένα να βρεθεί σε μια κατάσταση, την οποία δεν θα μοιράζεται με κανένα άλλο σωματίδιο. Είναι όμως αυτό αρκετό για να συμπεράνουμε ότι η ασθενής διακρισιμότητα έτσι όπως εκδηλώνεται στην περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων εξυπηρετεί το σκοπό της ΑΤμΔ; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό εξαρτάται από το κανονιστικό περιεχόμενο που αναγνωρίζει κάποιος στην ΑΤμΔ.

3.6 Το κανονιστικό περιεχόμενο της ΑΤμΔ σύμφωνα με την «κυρίαρχη» και την «εναλλακτική» άποψη

Αν δεχθούμε ότι η κατά Quine διαβάθμιση της διακρισιμότητας είναι πλήρης, τότε από τις τρεις μορφές διακρισιμότητας που εισάγει ο Quine μόνο η απόλυτη και η σχετική εξατομικεύουν τα αντικείμενα στα οποία εφαρμόζονται. Επιπλέον η απόλυτη και η σχετική διακρισιμότητα χαρακτηρίζονται από έλλειψη συμμετρίας, το οποίο σημαίνει ότι αντικείμενα που είναι απόλυτα ή σχετικά διακρίσιμα είναι και *μη μεταθέσιμα* (nonpermutable), οι αμοιβαίες μεταθέσεις τους αλλάζουν την κατάσταση του συστήματος. Συνεπώς η έλλειψη μεταθεσιμότητας και η εξατομικευμένη συμπεριφορά συνδέονται με τις ίδιες μορφές διακρισιμότητας. Ας θυμηθούμε όμως ότι η κβαντική στατιστική μας διδάσκει ότι στα θερμοδυναμικά συστήματα πολλών όμοιων κβαντικών σωματιδίων τα σωματίδια είναι μεταθέσιμες οντότητες· δεν είναι δηλαδή ούτε απόλυτα, ούτε σχετικά διακρίσιμα και ως εκ τούτου δεν εξατομικεύονται. Η διαπίστωση αυτή βρίσκει γενικά σύμφωνους όλους όσους ερευνούν ανάλογα ζητήματα. Διαφωνίες εκφράζονται ωστόσο, ως προς το εάν η έννοια της μεταθεσιμότητας είναι συμβατή με αυτή της διακρισιμότητας. Φυσικά αν οι μεταθέσιμες οντότητες είναι να θεωρούνται με κάποιο τρόπο διακρίσιμες η μόνη μορφή διακρισιμότητας που αρμόζει είναι η ασθενής. Όμως οι υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης θεωρούν ότι μεταθέσιμα σημαίνει εν γένει μη διακρίσιμα και δεν

αναγνωρίζουν την ασθενή διακρισιμότητα ως μια γνήσια μορφή διακρισιμότητας.¹⁰⁷ Θεωρούν με άλλα λόγια ότι οι ποιοτικές διαφορές που καθιστούν δύο αντικείμενα διακρίσιμα είναι μόνο αυτές που οδηγούν στην εξατομίκευσή τους. Η θεώρηση αυτή τους οδηγεί στην απόρριψη της ΑΤμΔ αναγνωρίζοντας με τον τρόπο αυτό ότι στη φύση υπάρχουν καθαρές αριθμητικές διαφορές. Από την άλλη μεριά οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης ισχυρίζονται ότι μεταθέσιμα δεν σημαίνει κατ' ανάγκη και μη διακρίσιμα και ότι η ασθενής διακρισιμότητα είναι μια γνήσια μορφή διακρισιμότητας παρόλο που δεν δημιουργεί συνθήκες ταυτότητας για τα αντικείμενα στα οποία εφαρμόζεται και δεν τα εξατομικεύει. Ο ισχυρισμός αυτός αποδεικνύεται κομβικός κατά την τεκμηρίωση της «εναλλακτικής» άποψης, διότι οι υποστηρικτές της θέτουν κάθε μορφή διακρισιμότητας, ακόμα κι αν δεν εγγυάται την ατομικότητα μιας οντότητας, ως αναγκαία και ικανή συνθήκη ώστε αυτή να είναι αντικείμενο.

Με την εργασία του ο Simon Saunders απαντά στο ερώτημα του Quine: «είναι τα κβαντικά σωματίδια αντικείμενα;». Θέτοντας τη διακρισιμότητα ως αναγκαία και ικανή συνθήκη ώστε μια οντότητα να είναι αντικείμενο καταλήγει σε μια θετική απάντηση για όλα τα κβαντικά σωματίδια πλην των στοιχειωδών μποζονίων. Επισημαίνει όμως ότι το εάν τα κβαντικά σωματίδια είναι επιπλέον και *άτομα* (individuals) είναι μια άλλη μεταφυσική ερώτηση που πηγαινεί την έρευνα παραπέρα:

«Όμως δεν είναι καθαρό τι περισσότερο απαιτείται από ένα αντικείμενο αν αυτό πρόκειται να θεωρηθεί άτομο: ίσως ότι δεν είναι μεταθέσιμο (not permutable), ή ότι είναι πάντα απολύτως διακρίσιμο, ή διακρίσιμο μόνο με βάση εγγενείς (ανεξάρτητες της κατάστασης) ιδιότητες και σχέσεις»¹⁰⁸

Ο Saunders δεν απαντά στο ερώτημα για το αν τα κβαντικά σωματίδια είναι άτομα αλλά για το αν είναι καταρχήν αντικείμενα. Μόνο αργότερα στην εργασία του με τον Muller¹⁰⁹ θα υποστηρίξει ότι τα κβαντικά σωματίδια, πλην των στοιχειωδών μποζονίων, είναι αντικείμενα όχι όμως άτομα. Στην ίδια εργασία οι Saunders και Muller θα προχωρήσουν στην εννοιολογική διάκριση των όρων discernible (ας πούμε διακρίσιμος) και distinguishable (ας πούμε διακριτός) λέγοντας ότι: «τα σωματίδια είναι *διακριτά* (distinguishable) *αν και μόνο αν* μπορούν να εξατομικευθούν».¹¹⁰ Θεωρούν επιπλέον ότι άτομα νοούνται μόνο τα αντικείμενα που είναι απολύτως διακρίσιμα από όλα τα άλλα αντικείμενα, ενώ χρησιμοποιούν τον όρο relationals για εκείνα που η διακρισιμότητά τους προκύπτει από τις σχέσεις που διαμορφώνουν μεταξύ τους είτε αυτές είναι συμμετρικές είτε όχι. Για τους Muller και Saunders η ταυτότητα είναι μια ιδιότητα που αντανακλάται στην απόλυτη διακρισιμότητα των αντικειμένων και ως εκ τούτου

¹⁰⁷ French, S., - Krause, D., (2006) p9

¹⁰⁸ Saunders, S. (2006) p57

¹⁰⁹ Muller, F. and Saunders, S. (2008), p504

¹¹⁰ Muller, F. and Saunders, S. (2008), p504

αποδίδεται στα *άτομα* (individuals), όχι όμως και στα relationals.¹¹¹ Δέχονται όμως ότι η ΑΤμΔ εφαρμόζεται και είναι αληθής τόσο για τα individuals όσο και για τα relationals, εφόσον αυτά είναι με κάποιο τρόπο διακρίσιμες οντότητες. Δέχονται με άλλα λόγια ότι κάθε μορφή διακρισιμότητας, από την απόλυτη έως και την ασθενή, ανάγει τις αριθμητικές διαφορές σε ποιοτικές και ως εκ τούτου εξυπηρετεί το σκοπό της ΑΤμΔ. Βέβαια η ΑΤμΔ αποτυγχάνει ως αρχή ατομικότητας όμως για τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης αυτό δεν ανήκει στους πρωταρχικούς σκοπούς της.

Ωστόσο η διαφωνία των δύο πλευρών δεν περιορίζεται στην έννοια της διακρισιμότητας και στη σχέση της με την ατομικότητα. Επεκτείνεται σε πολύ πιο γενικές έννοιες και ειδικότερα στην ίδια την έννοια του αντικειμένου. Η εξήγηση ή μη της αριθμητικής διαφοράς, την οποία θεωρούμε αναγκαία συνθήκη για να είναι κάτι αντικείμενο, αναδεικνύεται σε κρίσιμο στοιχείο της έρευνα και γι αυτό η ΑΤμΔ αποκτά βαρύνουσα μεταφυσική σπουδαιότητα. Σύμφωνα με την «κυρίαρχη» άποψη στα συστήματα πολλών-όμοιων-σωματιδίων η αριθμητική διαφορά υποστηρίζεται από τον κβαντική μηχανική και δεν πρέπει να αμφισβητείται. Πρόκειται όμως για μια καθαρή αριθμητική διαφορά, εφόσον ισχύει για μη διακρίσιμες οντότητες, κι αυτό είναι που εξηγεί την παραβίαση της ΑΤμΔ. Όμως για τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης οι αριθμητικές διαφορές οφείλουν να ανάγονται σε ποιοτικές, διότι μόνο τότε οι οντότητες είναι πράγματι αριθμήσιμες και δικαιούνται να αναφέρονται ως «αντικείμενα». Γι αυτό τον λόγο αναγορεύουν την ΑΤμΔ σε μια θεμελιώδη μεταφυσική αρχή, η οποία ορίζει ότι, αν δύο αντικείμενα είναι απολύτως μη διακρίσιμα, τότε δεν είναι η ΑΤμΔ που αποτυγχάνει, αλλά η εκτίμηση μας ότι πρόκειται για δύο αντικείμενα:

«Η κατάληξη όλων αυτών είναι όχι μόνο να θέσουμε το ερώτημα αν η Αρχή της Ταυτότητας των μη Διακρίσιμων αποτυγχάνει ή όχι στην κβαντική μηχανική, αλλά επίσης να θέσουμε το ερώτημα αν είναι ή όχι μια υπερασπίσιμη αρχή που μπορεί στην πράξη να χρησιμοποιηθεί στην έρευνα για τη φύση της φυσικής πραγματικότητας μαζί με τις θεωρίες που έχουμε στη φυσική. Εμείς υπερασπιζόμαστε την Αρχή. Έτσι, η εφαρμογή της αποφαίνεται ότι τα στοιχειώδη μποζόνια δεν μπορούν τελικά να θεωρούνται

¹¹¹ Οι Saunders και Muller δεν δέχονται ότι η σχετική (ή ενδιάμεση κατά Quine) διακρισιμότητα μπορεί να οδηγήσει στην ατομικότητα ενός αντικειμένου. Αυτό όμως έχει ορισμένες ενοχλητικές συνέπειες. Σύμφωνα με τον ορισμό του Quine οι σχέσεις που καθιστούν τα αντικείμενα σχετικά διακρίσιμα δεν είναι συμμετρικές στις αμοιβαίες μεταθέσεις τους, πράγμα που σημαίνει ότι η σχετική διακρισιμότητα ισοδυναμεί με την *έλλειψη μεταθεσιμότητας* (lack of permutability) η οποία ως γνωστόν χαρακτηρίζει τα κλασικά στατιστικά σύνολα και σαφώς τα διακρίνει από τα κβαντικά ομόλογά τους. Πέραν τούτου η έλλειψη μεταθεσιμότητας μεταξύ αντικειμένων αναγνωρίζεται ως τεκμήριο της ικανότητάς τους να φέρουν ένα όνομα το οποίο με τη σειρά του λειτουργεί ως στοιχείο ταυτότητας, συγχρονικής ή διαχρονικής. Όμως τόσο η κλασική στατιστική συμπεριφορά όσο και η ικανότητα των αντικειμένων να γίνονται φορείς ονομάτων ερμηνεύονται ως συνέπειες της ατομικότητάς τους. Ως εκ τούτου αν δεχθούμε ότι η σχετική διακρισιμότητα δεν συνεπάγεται την ατομικότητα των αντικειμένων τότε θα πρέπει επίσης να δεχθούμε ότι υπάρχουν συλλογές αντικειμένων οι οποίες συμμορφώνονται με το στατιστικό μοντέλο Maxwell-Boltzmann ή έχουν την ικανότητα να γίνουν φορείς ονομάτων παρόλο που δεν συμπεριφέρονται ως άτομα. Το προβληματικό αυτό συμπέρασμα μπορούμε να το αποφύγουμε αν δεχθούμε, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ότι η σχετική διακρισιμότητα δημιουργεί πράγματι συνθήκες ταυτότητας για τα εμπλεκόμενα αντικείμενα και επιτρέπει την εξατομίκευσή τους.

φυσικά αντικείμενα. Κατόπιν τούτου είμαστε υποχρεωμένοι να βρούμε μια φυσική οντολογία, η οποία με τη σειρά της μας οδηγεί κατευθείαν στη κβαντική θεωρία πεδίου»¹¹².

Διαπιστώνουμε έτσι ότι ενώ για τους υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης η ΑΤμΔ απλώς αποτυγχάνει να είναι αληθής στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας, για τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης ο ρόλος της είναι καθοριστικός, εφόσον θέτει τις μεταφυσικές προκείμενες υπαγωγής μια οντότητας στη κατηγορία «αντικείμενο» στο πλαίσιο *κάθε* φυσικής θεωρίας. Η έννοια της διακρισιμότητας και η σχέση της με την ατομικότητα σε συνδυασμό με την αποδοχή ή μη των καθαρών αριθμητικών διαφορών εξηγούν τελικά τη διαφορετική στάση που τηρούν οι δύο πλευρές απέναντι στην ΑΤμΔ. Οι υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης δέχονται από τη μια μεριά ότι η μόνη αποδεκτή μορφή διακρισιμότητας είναι αυτή που οδηγεί στην ατομικότητα και από την άλλη ότι τα κβαντικά σωματίδια παραμένουν αριθμητικά διαφορετικές οντότητες παρά τη μη διακρισιμότητά τους. Κατόπιν τούτων για τους υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης υπάρχουν δύο ενδεχόμενα: ή τα κβαντικά σωματίδια είναι μη εξατομικευμένα αντικείμενα ή είναι άτομα που η ατομικότητά τους δεν οφείλεται στις διαφορετικές τους ιδιότητες αλλά σε ένα μεταφυσικό παράγοντα, ο οποίος αναφέρεται ως *υπερβατική ατομικότητα* (transcendental individuality)¹¹³ ή *εναλλακτικά ως πρωταρχική αυτότητα* (primitive thisness)¹¹⁴ και που εξατομικεύει τα αντικείμενα με ένα «..ουσιώδη και μη αναλύσιμο τρόπο»^{115, 116}. Εντούτοις όποια λύση κι αν επιλέξει κάποιος θα έχει να αντιμετωπίσει και να εξηγήσει την εμπειρικά τεκμηριωμένη διττή συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων. Παρόλο που στις συζευγμένες καταστάσεις δεν επιδεικνύουν εξατομικευμένη συμπεριφορά, τα κβαντικά σωματίδια εξατομικεύονται όταν βρεθούν στις κατάλληλες συνθήκες. Άλλωστε η γνώση του υποατομικού κόσμου καθίσταται δυνατή χάριν των συνθηκών που είναι συνθήκες ταυτότητας των σωματιδίων υπό τις οποίες όχι μόνο έγινε δυνατή η ανακάλυψή τους αλλά και ο προσδιορισμός των εγγενών τους ιδιοτήτων και η συνακόλουθη ταξινόμησή τους.

Οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης δεν δέχονται την ύπαρξη καθαρών

¹¹² Muller, A., F. – Saunders, S., (2008), p544

¹¹³ Post, H. R. (1963), French, S., - Redhead, M., (1988)

¹¹⁴ Teller, P., (1995)

¹¹⁵ French, S., - Redhead, M., (1988), p235

¹¹⁶ Ο Steven French έχει υποστηρίξει ότι στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής είναι απόλυτα θεμιτό να θεωρούμε τα κβαντικά σωματίδια άτομα χωρίς να χρειασθεί να καταφύγουμε σε μυστηριώδεις οντότητες όπως η υπερβατική ατομικότητα ή η πρωταρχική αυτότητα. Ειδικότερα υποστηρίζει ότι η διαφορά μεταξύ κλασικής και κβαντικής στατιστικής δεν προκύπτει επειδή τα κβαντικά σωματίδια δεν είναι άτομα αλλά επειδή τα συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων*, λόγω αρχικών συνθηκών εξελίσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην έχουν πρόσβαση σε ορισμένες καταστάσεις. Επικαλείται την εργασία των Greenberg και Messiah (1964) σύμφωνα με την οποία όταν ένα σύστημα προετοιμάζεται ώστε η κατάστασή του να έχει έναν τύπο συμμετρίας η εξέλξη του συστήματος επιβάλλει τη διατήρησή της συμμετρίας του: μια συμμετρική κατάσταση δεν μπορεί να εξελιχθεί σε αντισυμμετρική και αντιστρόφως. Πρόκειται για ένα φυσικό περιορισμό εξ αιτίας του οποίου περιορίζεται και το πλήθος των διαθέσιμων καταστάσεων ενός κβαντικού συστήματος γεγονός που δικαιολογεί τη κβαντική στατιστική. [French, S., (1989)]

αριθμητικών διαφορών, δέχονται όμως ότι η διακρισιμότητα δεν οδηγεί κατ' ανάγκη στην ατομικότητα. Με βάση αυτές τις παραδοχές μπορούν να ισχυρίζονται ότι μόνο όταν η ΑΤμΔ είναι αληθής έχουμε λόγους να πιστεύουμε ότι ένα φυσικό σύστημα συγκροτείται από ένα πλήθος σωματιδίων. Από μεθοδολογική σκοπιά όταν δίνεται η κατάσταση ενός συστήματος αυτό που ενδιαφέρει είναι να εξετάσουμε αν υπάρχουν σχεσιακού τύπου ιδιότητες που εξηγούνται μόνο αν υποθέσουμε την παρουσία περισσότερων του ενός αντικειμένων ως μέρος του συστήματος. Για ένα σύστημα του ευκλείδειου χώρου η σχέση για παράδειγμα «το ... απέχει ένα μίλι από το ...» αληθεύει αν και μόνο αν υπάρχουν δύο ξεχωριστά αντικείμενα. Αυτό συμβαίνει διότι η έννοια της απόστασης στον ευκλείδειο χώρο αφορά μόνο ξεχωριστά αντικείμενα και ποτέ ένα και το αυτό αντικείμενο. Αν επιπλέον λάβουμε υπόψη μας ότι ο αριθμός «δύο» περιέχεται στην έννοια της απόστασης, τότε η ίδια σχέση μας βεβαιώνει για το πλήθος των αντικειμένων, τα οποία πρέπει να είναι παρόντα ώστε να αληθεύει. Με τον τρόπο αυτό η σχέση «το ... απέχει ένα μίλι από το ...» καταφέρει να διακρίνει και να αριθμεί ταυτόχρονα τα αντικείμενα για τα οποία αληθεύει, χωρίς όμως να δημιουργεί συνθήκες ταυτότητας γι αυτά, χωρίς δηλαδή να τα εξατομικεύει. Ανάλογοι συλλογισμοί οδηγούν σε ανάλογα συμπεράσματα στην περίπτωση της σχέσης «το έχει αντίθετο σπιν από το ...», η οποία διατυπώνεται για ένα συζευγμένο σύστημα όμοιων κβαντικών σωματιδίων. Αν η εν λόγω σχέση αληθεύει, τότε είναι η έννοια «αντίθετο» που βεβαιώνει στην περίπτωση αυτή την ύπαρξη δύο ξεχωριστών σωματιδίων. Αν όμως δεν υπάρχουν ιδιότητες που να προϋποθέτουν ξεχωριστά αντικείμενα και να αληθεύουν για ένα δεδομένο σύστημα, τότε είμαστε υποχρεωμένοι να απορρίψουμε την ύπαρξή τους και να αντιμετωπίσουμε το σύστημα ως ένα απλό αντικείμενο, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των στοιχειωδών μποζονίων. Η ερμηνεία όμως ενός συστήματος στοιχειωδών μποζονίων ως ένα απλό αντικείμενο μπορεί να σταθεί μόνο στο πλαίσιο που θέτει ο φορμαλισμός μιας κβαντικής θεωρίας πεδίων.

Η δέσμευση των υποστηρικτών της «εναλλακτικής» άποψης στην αλήθεια της ΑΤμΔ αποδεικνύεται πιο ισχυρή από την υπό ερμηνεία φυσική θεωρία. Προτιμούν να υιοθετήσουν διαφορετικά φορμαλιστικά πλαίσια περιγραφής παρά να αμφισβητήσουν την ΑΤμΔ. Προτείνουν με άλλα λόγια μια μεταφυσική ανάγνωση της ΑΤμΔ, σύμφωνα με την οποία η μεταφυσική αποκτά προτεραιότητα έναντι της φυσικής: η διακρισιμότητα δύο αντικειμένων γίνεται πλέον ζήτημα μεταφυσικής αναγκαιότητας. Όπως όμως επισημαίνουν οι Dorato και Morganti η μεταφυσική ανάγνωση της ΑΤμΔ εδραιώνεται πάνω σε μια μη εμπειρική βάση, γεγονός που έχει συνέπειες τις οποίες βλέπουμε να αποτυπώνονται στη γνώση μας για τον κόσμο και στους ισχυρισμούς που προβάλλουμε για τα πράγματα που υπάρχουν μέσα σε αυτόν. Πράγματι, αν η ΑΤμΔ είναι αναγκαία αληθής, τότε η οντολογική ερμηνεία οποιασδήποτε φυσικής θεωρίας

οφείλει να συμμορφώνεται προς αυτήν, ώστε υποτιθέμενα αντικείμενα που αποτυγχάνουν να είναι με κάποιο τρόπο διακρίσιμα αποτυγχάνουν τελικά να είναι αντικείμενα. Ωστόσο η ΑΤμΔ μπορεί να τύχει μιας επιστημικής ανάγνωσης, η οποία εκλαμβάνει την αρχή μόνο ως ενδεχομενικά αληθή. Υπό το φως αυτής της ανάγνωσης η ΑΤμΔ ισχύει μόνο στον βαθμό που έχουμε λόγους να πιστεύουμε ότι δύο αντικείμενα δεν μπορούν να έχουν τις ίδιες ακριβώς ιδιότητες. Είναι φανερό ότι η επιστημική ανάγνωση της ΑΤμΔ αντιστρέφει τη διάταξη της επιχειρηματολογίας, εφόσον πλέον η αλήθεια της ΑΤμΔ δεν προτάσσεται της εμπειρίας αλλά βασίζεται σε αυτήν και αυτό σημαίνει ότι η κρίση μας γύρω από την ισχύ της θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις καλύτερες επιστημονικές θεωρίες.¹¹⁷

Παρόλα αυτά οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης προτιμούν τη μεταφυσική έναντι της επιστημικής ανάγνωσης και το ερώτημα είναι ποιο είναι το κίνητρο που δικαιολογεί ένα τόσο ισχυρό κανονιστικό περιεχόμενο πέραν μιας απλής βούλησης να εισάγουμε σε μια δεδομένη κατάσταση τόσα αντικείμενα όσα μας επιτρέπει η ΑΤμΔ. Για τον Saunders η ΑΤμΔ παρέχει μια φυσική ανάλυση της ταυτότητας, η οποία είναι διαθέσιμη σε κάθε τυπική γλώσσα και απρόσβλητη από τα συνηθισμένα αντιπαραδείγματα. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμο στη φυσική όπου κατά τον Saunders, έχουμε λόγους να προτιμάμε η έννοια της ταυτότητας να θεμελιώνεται σε ποιοτικά δεδομένα από το να θεωρείται πρωταρχική και μη αναγώγιμη. Ειδικότερα, αν ένα φυσικό αντικείμενο εκλαμβάνεται από λογική σκοπιά ως αντικείμενο κατηγορήσης, η ερμηνεία μια φυσικής θεωρίας και των πειραμάτων της με όρους φυσικών αντικειμένων γίνεται καθαρότερη αν μέσω της περιγραφής που μας δίνει η εν λόγω θεωρία *κατανοούμε τι αντικείμενα υπάρχουν σε μια δεδομένη κατάσταση και δεν δηλώνουμε απλώς την παρουσία τους*.¹¹⁸

Το κίνητρο του Saunders και κατ' επέκταση των υποστηρικτών της «εναλλακτικής» άποψης προβάλλει αρκετά ισχυρό για όσους θεωρούν ότι τα φυσικά αντικείμενα είναι δομικά συστατικά του κόσμου. Το να κατανοούμε παρά να δηλώνουμε την παρουσία ενός πλήθους αντικειμένων σε μια δεδομένη φυσική κατάσταση είναι ένα σημαντικό βήμα προόδου στην ερμηνευτική διαδικασία κάθε φυσικής θεωρίας. Όμως το γεγονός αυτό δεν δικαιολογεί την άνευ ετέρου αναγόρευση της ΑΤμΔ στην *de facto* αρχή που εγγυάται την αριθμητική διαφορά των αντικειμένων, πολύ δε περισσότερο την επιλεκτική ερμηνεία του κβαντομηχανικού formalισμού, για την οποία δεν υπάρχουν τα απαραίτητα θεωρητικά και εμπειρικά ερείσματα. Αντίθετα η κβαντική φυσική μας διδάσκει ότι κάθε κβαντική κατάσταση περιγράφεται με όρους μονοσωματιδιακών καταστάσεων, είτε μποζονικών, είτε φερμιονικών, στις οποίες θα βρεθούν ισάριθμα σωματίδια όταν πραγματοποιηθεί η κατάλληλη μέτρηση. Ωστόσο παραμένει και

¹¹⁷ Dorato, M.,-Morganti, M., (2011) p594

¹¹⁸ Saunders, S., (2003) p290

πρέπει να εξετασθεί το ερώτημα αν η θεμελίωση της αριθμητικής διαφοράς θα μπορούσε να γίνει χωρίς τη βοήθεια της ΑΤμΔ. Θεωρούμε όμως ότι το ερώτημα δεν αφορά τις φυσικές θεωρίες, αλλά τη μεταφυσική και συγκεκριμένα αφορά την οντολογική συγκρότηση των αντικειμένων, την οποία πραγματεύονται οι μεταφυσικές θεωρίες περί αντικειμένων και οι οποίες θα μας απασχολήσουν στο 7^ο κεφάλαιο αυτής της εργασίας.

Πριν όμως μπούμε σε αυτήν τη συζήτηση θα μας απασχολήσει ο φιλοσοφικός διάλογος που διεξάγεται γύρω από τις απόψεις που ονομάζουμε «κυρίαρχη» και «εναλλακτική». Ο διάλογος είναι αποκαλυπτικός και αναδεικνύει με μεγαλύτερη ευκρίνεια τον πυρήνα της διαφοράς μεταξύ των δύο σχολών.

4

Η Κριτική στην «Εναλλακτική» Άποψη Επιχειρήματα και Αντεπιχειρήματα

4.1 Το επιχείρημα της «εναλλακτικής» άποψης κατηγορείται ως κυκλικό

Οι French και Krause ρωτούν αν «...η επίκληση μη ανακλαστικών σχέσεων προκειμένου να θεμελιωθεί η ατομικότητα των αντικειμένων που τις διαμορφώνουν εμπλέκει μια μορφή κυκλικότητας»¹¹⁹. Εντοπίζουν το πρόβλημα στο ότι «προκειμένου κάποιος να επικαλεσθεί τέτοιες σχέσεις θα πρέπει ήδη να έχει εξατομικεύσει τα σωματίδια τα οποία συσχετίζει και ότι η αριθμητική διαφορά των σωματιδίων τίθεται ως προϋπόθεση για τη δημιουργία της σχέσης, η οποία τότε δεν μπορεί να την εξηγήσει»¹²⁰. Πηγή τη κυκλικότητας είναι η οντολογική προτεραιότητα των συσχετιζόμενων μερών έναντι των σχέσεων που διαμορφώνουν, η οποία ορίζει ότι η πραγμάτωση μιας σχέσης προϋποθέτει την ύπαρξη των συσχετιζόμενων: τα συσχετιζόμενα πρέπει να βρίσκονται εκεί πριν τη συσχέτισή τους. Ας πάρουμε για παράδειγμα τις όμοιες σφαίρες του Black. Η διαφορά μεταξύ των σφαιρών a και b εκφράζεται είτε από το μονοθέσιο κατηγορήμα «το ... απέχει ένα μίλι από το a » είτε ισοδύναμα από το «το ... απέχει ένα μίλι από το b »: το καθένα από τα δύο κατηγορήματα αληθεύει για τη μία όχι όμως για την άλλη σφαίρα. Τα δύο αυτά κατηγορήματα είναι φανερό ότι εκφράζουν δύο διαφορετικές ιδιότητες, όπως όμως ισχυρίζεται η Katherine Hawley η διαφορά τους δεν είναι θεμελιώδης αλλά ανάγεται στη διαφορά των a και b . Ειδικότερα ισχυρίζεται ότι η ταυτότητα της ιδιότητας «το ... απέχει ένα μίλι από το b » θεμελιώνεται στην ταυτότητα της σχέσης «το ... απέχει ένα μίλι από το ...» και στην ταυτότητα του αντικειμένου b και επικαλείται δύο λόγους που δικαιολογούν τον ισχυρισμό της. Ο πρώτος είναι ότι η σχέση «το ... απέχει ένα μίλι από το ...», απαλλαγμένη από αναφορικά σύμβολα, μπορεί να αποδίδεται ως εγγενές χαρακτηριστικό ενός συστήματος σε αντίθεση με την ιδιότητα «το ... απέχει ένα μίλι από το b », η οποία δεν μπορεί να είναι εγγενές χαρακτηριστικό για οτιδήποτε. Ο δεύτερος είναι ότι αν απορρίπτουμε την αναγωγή της ιδιότητας «το ... απέχει ένα μίλι από το b » στον συνδυασμό της σχέσης «το ... απέχει ένα μίλι από το ...» και του αντικειμένου b , τότε θα είναι δύσκολο να κατανοήσουμε γιατί το γεγονός ότι το a απέχει ένα μίλι από το b συνδέεται με το γεγονός ότι το b απέχει ένα μίλι από το a .¹²¹ Αν όμως η διαφορά των ιδιοτήτων «το ... απέχει ένα μίλι από το a » και «το ... απέχει ένα μίλι από το b » ανάγεται στη διαφορά των a και b , τότε η θεμελίωση της ταυτότητας ή της διαφοράς των αντικειμένων στην ασθενή διακρισιμότητά τους αποτυγχάνει. Ανάλογες σκέψεις οδηγούν στο ίδιο

¹¹⁹ French, S. και Krause, D. (2006), p170

¹²⁰ French, S. και Krause, D. (2006), p171

¹²¹ Hawley, K. (2009), p110

συμπέρασμα και στην κβαντική περίπτωση, όπως είναι για παράδειγμα τα ηλεκτρόνια της singlet κατάστασης όπου η σχέση που τα καθιστά ασθενώς διακρίσιμα είναι «το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...».

Εντούτοις θεωρούμε ότι η εξήγηση της αριθμητικής διαφοράς μέσω μιας σχέσης δεν παραβιάζει την οντολογική προτεραιότητα των συσχετιζόμενων και ότι οι ενστάσεις περί κυκλικότητας οφείλονται στη σύγχυση μεταξύ ζητημάτων που εμπίπτουν στην αρμοδιότητα της οντολογίας με αντίστοιχα της επιστημολογίας. Είναι ένα πράγμα η ύπαρξη μιας σχέσης να εξαρτάται από την ύπαρξη των συσχετιζόμενων μερών και είναι ένα άλλο πράγμα να συμπεραίνουμε την ύπαρξη συσχετιζόμενων μερών όταν σε μια δεδομένη κατάσταση διαπιστώνουμε ότι αληθεύει μια σχεσιακού τύπου ιδιότητα. Οι προτάσεις «το ... απέχει ένα μίλι από το ...» και «το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...» είναι σχεσιακού τύπου και μπορεί να γίνει αποδεκτό ότι στις καταστάσεις όπου αληθεύουν υπάρχουν δύο αντικείμενα, χωρίς να χρειάζεται να αναφερθούμε στο κάθε αντικείμενο ξεχωριστά και καμία χρήση αναφορικών συμβόλων δεν είναι απαραίτητη. Συνεπώς η πραγμάτωση μιας σχέσης σε μια δεδομένη κατάσταση επιβεβαιώνει την παρουσία συσχετιζόμενων όποια κι αν είναι αυτά, ακριβώς διότι είναι οντολογικά πρότερα και άρα οι σχέσεις δεν θα μπορούσαν να υπάρχουν πριν από αυτά.

Ας μη βιαστούμε όμως να αποφανθούμε! Όπως επισημαίνει ο Tomasz Bigaj, δεν υπάρχει σχέση, η οποία να μην εμπλέκει στον ορισμό της με κάποιο τρόπο τις έννοιες της ταυτότητας και της διαφοράς. Σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν δυνατόν να ορίσουμε με καθαρά ποιοτικούς όρους μια απόλυτη έννοια ταυτότητας πράγμα που όμως είναι αδύνατο, τουλάχιστον όταν περιοριζόμαστε σε μια πρωτοβάθμια γλώσσα.¹²² Ο Bigaj αναφέρει ως παράδειγμα τη σχέση «το ... απέχει ένα μίλι από το ...», η οποία ορίζεται με βάση την έννοια της απόστασης μεταξύ δύο σημείων του χώρου. Η διαπίστωση ότι η εν λόγω σχέση αληθεύει για τα σημεία x και y διενεργείται μέσω της εφαρμογής ενός αλγορίθμου, ο οποίος οδηγεί στην υπολογισμό της απόστασης του x από το y , του οποίου όμως ο ορισμός εμπεριέχει την αξίωση τα σημεία x και y να ταυτίζονται όταν η απόσταση μεταξύ τους προκύπτει ίση με μηδέν. Εντούτοις το γεγονός αυτό από μόνο του δεν αρκεί για να απορριφθεί συλλήβδην η ασθενής διακρισιμότητα. Υπό ορισμένες προϋποθέσεις γίνεται μεταφυσικά ενδιαφέρουσα, διότι η εφαρμογή και η επαλήθευσή της δικαιολογούν πράγματι την παρουσία ξεχωριστών αντικειμένων. Υπάρχουν αποδεκτές και μη αποδεκτές μορφές ασθενούς διακρισιμότητας· αν πρέπει να γνωρίζουμε ότι το x διαφέρει από το y πριν εφαρμόσουμε τη στρατηγική της ασθενούς διακρισιμότητας η διαδικασία δεν είναι αποδεκτή.¹²³

¹²² Bigaj, T., (2015) p50

¹²³ Bigaj, T., (2015) p50

Όμως αυτό ακριβώς συμβαίνει με τη σχέση $R_i(x, y)$, που σύμφωνα με τους Muller και Saunders διακρίνει ασθενώς τα αντικείμενα x και y . Το πρόβλημα εντοπίζεται στο γεγονός ότι η τελική μορφή που λαμβάνει η σχέση $R_i(x, y)$ εξαρτάται από το αν $x \neq y$ ή $x = y$. Ας υποθέσουμε ότι το x και το y είναι σωματίδια ενός συστήματος n όμοιων σωματιδίων για τα οποία δεν γνωρίζουμε εξ αρχής αν είναι δύο διαφορετικά σωματίδια ή αν ταυτίζονται. Ας υποθέσουμε επίσης ότι A και B είναι δύο μονοσωματιδιακοί τελεστές που αναπαριστούν φυσικά μεγέθη. Αν τώρα θέλουμε να αναπαραστήσουμε το γεγονός ότι η ιδιότητα A αποδίδεται στο σωματίδιο x και η B στο y , θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μη συμμετρικούς τελεστές της μορφής $I \otimes \dots \otimes I \otimes A \otimes I \dots I$ και $I \otimes \dots \otimes I \otimes B \otimes I \dots I$ με τον A να βρίσκεται στη i θέση του γινομένου και με το B να βρίσκεται στην j θέση του γινομένου. Όμως οι μη συμμετρικοί τελεστές δεν έχουν φυσικό νόημα και θα πρέπει να συμμετριοποιηθούν. Ωστόσο η συμμετριοποίησή τους δεν επιτυγχάνεται με τον ίδιο τρόπο όταν $x \neq y$ και $x = y$. Αν $x \neq y$ τότε $i \neq j$ κατάλληλος τελεστής για να δράση στο χώρο $\mathcal{H}^n$ είναι ο (4.1), αν όμως $x = y$ τότε $i = j$ κατάλληλος τελεστής είναι ο (4.2)

$$\frac{1}{2 \binom{n}{2}} \sum_{p \in P} (A \otimes B \otimes I \otimes \dots \otimes I) \quad (4.1) \quad \frac{1}{n} \sum_{p \in P} (AB \otimes I \otimes \dots \otimes I) \quad (4.2)$$

όπου η άθροιση και στις δύο περιπτώσεις γίνεται πάνω στο σύνολο όλων των μεταθέσεων των σωματιδίων.¹²⁴ Παρόλα αυτά οι Muller και Saunders συμπεραίνουν την ασθενή διακρισιμότητα των x και y όταν το σύστημα βρίσκεται σε μια ιδιοκατάσταση του τελεστή (4.1) όχι όμως και του (4.2). Όμως οι δύο αυτοί τελεστές επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες στο διάνυσμα κατάστασης του συστήματος και αν οι ιδιότητες A και B είναι να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία που προτείνουν οι Muller και Saunders, θα πρέπει από πριν να γνωρίζουμε αν το x δεν ταυτίζεται με το y . Έτσι μπορεί τα αντικείμενα να είναι πράγματι ασθενώς διακρίσιμα όμως από το γεγονός αυτό δεν προκύπτει ότι πρόκειται για δύο ξεχωριστά αντικείμενα. Αυτά ήταν ήδη ξεχωριστά πριν διαπιστωθεί η ασθενής τους διακρισιμότητα.

Σε αντίθεση με το κβαντικό παράδειγμα, η ασθενής διακρισιμότητα των όμοιων σφαιρών του Black επιβεβαιώνει την ύπαρξη ξεχωριστών αντικειμένων. Η συμμετρική και μη ανακλαστική σχέση που καθιστά τις σφαίρες ασθενώς διακρίσιμες συνδέεται με την έννοια της απόστασης. Όμως η απόσταση μεταξύ δύο σημείων του χώρου υπολογίζεται μέσω μιας σχέσης, η οποία εφαρμόζεται με τον ίδιο τρόπο ανεξάρτητα από το αν τα σημεία αυτά ταυτίζονται ή όχι. Έτσι, αν τα διανύσματα $r_a(x_a, y_a, z_a)$ και $r_b(x_b, y_b, z_b)$ είναι διανύσματα θέσης των a και b , τότε

η απόστασή τους υπολογίζεται από τον τύπο: $|r_a - r_b| = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2}$ και

¹²⁴ Huggett, N., - Norton, J., (2014)

το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι καθοριστικό. Αν η τιμή της απόστασης επιβεβαιώνει τη σχέση $|r_a - r_b| > 0$ τότε έχουμε να κάνουμε με δύο ασθενώς διακρίσιμα και άρα ξεχωριστά αντικείμενα, αν όμως $|r_a - r_b| = 0$ τότε τα a και b ταυτίζονται.

Ο Bigaj καταλήγει έτσι στο συμπέρασμα ότι η ασθενής διακρισιμότητα λειτουργεί ως αρχή δικαιολόγησης της αριθμητικής διαφοράς στην κλασική μηχανική όχι όμως και στην κβαντική. Όπως όμως και ο ίδιος αναγνωρίζει¹²⁵ η καρδιά του προβλήματος στην κβαντική περίπτωση βρίσκεται στη μαθηματική δομή της κβαντικής μηχανικής και συγκεκριμένα στη δομή του αναπαραστατικού χώρου Hilbert. Οι κβαντικές καταστάσεις πολλών-όμοιων-σωματιδίων αναπαριστώνται από διανύσματα που αντιστοιχούν πάντα σε καθορισμένο πλήθος μονοσωματιδιακών καταστάσεων και άρα περιγράφουν συστήματα με καθορισμένο πλήθος σωματιδίων. Αυτό σημαίνει ότι η εφαρμογή οποιουδήποτε αλγόριθμου γίνεται σε ένα προκαθορισμένο πλήθος σωματιδίων, αποκλείοντας έτσι την εκ των υστέρων διαπίστωση της παρουσίας n ή $n-1$ σωματιδίων.

Ωστόσο οφείλουμε να επισημάνουμε ότι η παρέμβαση του Bigaj δεν θίγει τον πυρήνα του επιχειρήματος της «εναλλακτικής» άποψης. Οι υποστηρικτές της απαντούν στις ενστάσεις περί κυκλικότητας μέσα από μια διαφορετική λογική, η οποία υπαγορεύεται από το ερώτημα που οι ίδιοι θέτουν, κατά πόσο δηλαδή μια δεδομένη κβαντική κατάσταση στον χώρο $\mathcal{H}^n$ δύναται να ερμηνεύεται ως κατάσταση n αριθμητικά διαφορετικών σωματιδίων. Όπως θα δούμε στη συνέχεια η απάντησή τους εξαρτάται από το αν η εν λόγω κατάσταση του χώρου $\mathcal{H}^n$ συγκροτείται από ένα σύνολο διαφορετικών μεταξύ τους καταστάσεων του χώρου $\mathcal{H}$ και τούτο διότι στην περίπτωση αυτή θα υπάρχει πάντα μια συμμετρική και μη ανακλαστική σχέση, η οποία να εφαρμόζεται και να είναι αληθής για τη δεδομένη κατάσταση. Προηγουμένως όμως θα μας απασχολήσει η κριτική των Dieks και Versteegh στο επιχείρημα της «εναλλακτικής» άποψης, σύμφωνα με την οποία η ασθενής διακρισιμότητα δεν εφαρμόζεται στην περίπτωση των συζευγμένων κβαντικών συστημάτων.

4.2 Η εφαρμογή της ασθενούς διακρισιμότητας στην κλασική και κβαντική περίπτωση

Οι Dieks και Versteegh επισημαίνουν μια θεμελιώδη διαφορά μεταξύ κλασικών και κβαντικών καταστάσεων, η οποία τους οδηγεί σε μια σημαντική διαπίστωση: ενώ η πραγματικότητα των όμοιων κλασικών σωματιδίων δεν αμφισβητείται όταν η κατάσταση του συστήματος που συγκροτούν είναι συμμετρική, δεν μπορούμε να ισχυρισθούμε το ίδιο για μια αντίστοιχη κβαντική περίπτωση. Τούτο συμβαίνει διότι ενώ οι καταστάσεις των κλασικών

¹²⁵ Bigaj, T., (2015) p52

σωματιδίων είναι μόνο ενδεχομενικά συμμετρικές και μπορούν κάλλιστα, χάριν της δυναμικής του συστήματος, να εξελιχθούν σε μη συμμετρικές, οι καταστάσεις των όμοιων κβαντικών σωματιδίων είναι και παραμένουν κατ' ανάγκη είτε συμμετρικές είτε αντισυμμετρικές. Η διαφορά είναι θεμελιώδης. Προκειμένου αυτό να γίνει αντιληπτό οι Dieks και Versteegh συγκρίνουν την κλασική περίπτωση δύο όμοιων διανυσμάτων με αντίθετο προσανατολισμό σε ένα κατά τα άλλα κενό σύμπαν, με την κβαντική περίπτωση της singlet κατάστασης δύο ηλεκτρονίων με συνολικό σπιν μηδέν. Στην κλασική περίπτωση υπάρχει πάντα η δυνατότητα να σπάσουμε τη συμμετρία του συστήματος εισάγοντας ένα *αντικείμενο αναφοράς* (gauge object), ως προς το οποίο το ένα διάνυσμα να έχει κατεύθυνση «άνω». Υπό τις συνθήκες αυτές τα δύο διανύσματα όχι μόνο είναι διακρίσιμα, αλλά εξατομικεύονται κιόλας, εφόσον η σύγκρισή τους με το αντικείμενο αναφοράς επιτρέπει να αποδίδουμε την ιδιότητα «άνω» στο ένα διάνυσμα και την ιδιότητα «κάτω» στο άλλο. Στη συνέχεια η απομάκρυνση του αντικειμένου αναφοράς επαναφέρει μεν το σύστημα σε κατάσταση συμμετρίας, όμως αυτό δεν σημαίνει ότι οι ιδιότητες «άνω» και «κάτω» παύουν να είναι ιδιότητες των μερών του συστήματος. Τα δύο μέρη του συστήματος εξακολουθούν να φέρουν τις εν λόγω ιδιότητες, μόνο που η απουσία του αντικειμένου αναφοράς δεν μας επιτρέπει πλέον να επιλέξουμε το διάνυσμα με την ιδιότητα «άνω» ή την ιδιότητα «κάτω».¹²⁶

Στην κβαντική περίπτωση όμως οι κβαντικές καταστάσεις ερμηνεύονται με όρους πειραματικών αποτελεσμάτων και των πιθανοτήτων τους και όχι με όρους ενεργείας ιδιοτήτων. Για τα συζευγμένα ηλεκτρόνια της singlet κατάστασης αποδίδουμε στο όλο σύστημα την ιδιότητα του μηδενικού σπιν υπό την έννοια ότι μια μέτρηση του συνολικού σπιν θα έδινε με πιθανότητα 1 το αποτέλεσμα μηδέν. Επίσης σύμφωνα με την καθιερωμένη ερμηνεία της κβαντομηχανικής ισχύει ότι αν το αποτέλεσμα της μέτρησης του σπιν σε ένα από τα δύο ηλεκτρόνια του συστήματος είναι $+1/2$ τότε η τιμή του σπιν για το άλλο θα προκύψει και πάλι με πιθανότητα 1 ίση με $-1/2$. Από αυτό όμως δεν συμπεραίνουμε ότι τα δύο ηλεκτρόνια κατείχαν τις εν λόγω ιδιότητες ενόσω βρισκόταν σε συζευγμένη κατάσταση. Οι κβαντικές μετρήσεις αποδίδουν ιδιότητες στα φυσικά συστήματα που αλληλεπιδρούν με πειραματικές διατάξεις, όμως γενικά δεν αποκαλύπτουν προϋπάρχουσες τιμές τους. Τούτων δεδομένων η σχέση «το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...» δεν φέρει το ίδιο νόημα με τη σχέση «το ... έχει αντίθετη κατεύθυνση από το ...». Για ένα σύνθετο σύστημα η πρώτη συσχετίζει τα αποτελέσματα μιας μέτρησης που πραγματοποιείται πάνω στα μέρη του, ενώ η δεύτερη συσχετίζει ιδιότητες που φέρονται από τα μέρη του. Η διαφορά γίνεται περαιτέρω κατανοητή αν κάποιος επιχειρήσει το «σπάσιμο» της συμμετρίας των συζευγμένων ηλεκτρονίων με την εισαγωγή και πάλι ενός

¹²⁶ Dieks, D., Versteegh, M., (2008) pp929-30

αντικείμενου αναφοράς, το οποίο θα επέτρεπε να ξεχωρίσουμε και να εξατομικεύσουμε το ηλεκτρόνιο είτε με το θετικό είτε με το αρνητικό σπιν. Όμως το εγχείρημα αποτυγχάνει, παρόλο που ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός δεν απαιτεί τη συμμετρικοποίηση του συστήματος που συναποτελούν τα δύο συζευγμένα ηλεκτρόνια μαζί με το πρόσθετο αντικείμενο αναφοράς. Όπως δείχνουν οι Dieks και Versteegh οι σχέσεις που διαμορφώνει το αντικείμενο αναφοράς με κάθε επιμέρους σωματίδιο είναι αδύνατον να διακρίνουν τα σωματίδια μεταξύ τους διότι είναι πανομοιότυπες. Αναγνωρίζουν βέβαια, ότι μια πειραματική διαδικασία θα οδηγούσε σε εξατομικευμένα αποτελέσματα, που θα επέτρεπαν την αναφορά στο κάθε ηλεκτρόνιο χωριστά, όμως δεν θα βεβαίωναν την ασθενή διακρισιμότητά τους, εφόσον μετά τη μέτρηση η κατάσταση έχει ριζικά αλλάξει. Οι Dieks και Versteegh εμφιασμένα επισημαίνουν το στοιχείο αυτό. Το ερώτημα, λένε, που ενδιαφέρει είναι το εάν ένα σύστημα όμοιων φερμιονίων, έτσι όπως είναι, μπορεί να θεωρείται συλλογή ασθενώς διακρίσιμων σωματιδίων και όχι το εάν ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να μετασχηματιστεί σε μια συλλογή εξατομικευμένων σωματιδίων¹²⁷.

Τούτων δεδομένων οι Dieks και Versteegh θεωρούν ότι αναλύσεις οι οποίες επιχειρούν να εξομοιώσουν τις συμμετρικές καταστάσεις κλασικών και κβαντικών συστημάτων εμπεριέχουν ένα κατηγορικό λάθος, διότι ερμηνεύουν με τον ίδιο τρόπο τις κλασικές και τις κβαντικές σχέσεις που διαμορφώνονται σε αυτές τις περιπτώσεις. Είναι λάθος να θεωρούμε ότι οι κβαντικές σχέσεις συσχετίζουν δύο πράγματι ξεχωριστές οντότητες στις οποίες μπορούμε να αποδώσουμε ιδιότητες. Αν όμως η απόδοση ιδιοτήτων στα επιμέρους σωματίδια ενός συζευγμένου συστήματος κρίνεται υπό τις συνθήκες αυτές αδύνατη, τότε γιατί να μην υποθέσουμε ότι *δεν υπάρχουν επιμέρους σωματίδια*; Τη ρηξικέλευθη αυτή υπόθεση υιοθετούν τελικά οι Dieks και Versteegh. Υποστηρίζουν ότι οι σχέσεις, για να συσχετίζουν αντικείμενα που είναι πράγματι παρόντα, θα πρέπει να υπάρχει τρόπος τα αντικείμενα αυτά να αναγνωρισθούν και να ταυτοποιηθούν, κάτι που συμβαίνει στην περίπτωση των κλασικών όχι όμως και των κβαντικών σχέσεων. Οι σχέσεις αυτές περιγράφουν αυτό που θα συμβεί στο σύστημα στην περίπτωση μιας μέτρησης και άρα θα πρέπει να αποδίδονται σε αυτό ως *όλο*. Τελικά, οι Dieks και Versteegh δεν απορρίπτουν μόνο μια διαδικασία απόδοσης ιδιοτήτων στα μέρη ενός κβαντικού συστήματος, απορρίπτουν εξολοκλήρου την ιδέα ότι αυτά τα μέρη υπάρχουν. Υιοθετούν έτσι μια ισχυρή εκδοχή *ολισμού*, σύμφωνα με την οποία στις κβαντικές καταστάσεις των λεγόμενων *συστημάτων πολλών-όμοιων-σωματιδίων* υπάρχει ένα μόνο φυσικό αντικείμενο που είναι το ίδιο το σύστημα. Κατόπιν τούτων γίνεται φανερό ότι το ερώτημα περί της ασθενούς διακρισιμότητας των φερμιονίων δεν εγείρεται καν. Τα συζευγμένα ηλεκτρόνια της singlet κατάστασης δεν διαψεύδουν την ΑΤμΔ όχι γιατί είναι ασθενώς διακρίσιμα, αλλά

¹²⁷ Dieks, D., Versteegh, M., (2008) p933-4

διότι στην κατάσταση αυτή δεν υπάρχουν δύο ηλεκτρόνια για τα οποία η ασθενής διακρισιμότητα να εφαρμόζεται. Η ολιστική ερμηνεία των Dieks και Versteegh τους τοποθετεί έξω από το πλαίσιο της συζήτησης μεταξύ των υποστηρικτών της «κυρίαρχης» και της «εναλλακτικής» άποψης, εφόσον δεν αναγνωρίζουν ότι ο αριθμός «δύο» εκφράζει την αριθμητική διαφορά δύο σωματιδίων, μη διακρίσιμων κατά την «κυρίαρχη» άποψη, ή ασθενώς διακρίσιμων κατά την «εναλλακτική». Ελλείψει όμως αριθμητικής διαφοράς το ερώτημα γύρω από την τιμή αλήθειας της ΑΤμΔ στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής είναι άνευ νοήματος. Παρόλα αυτά οι Dieks και Versteegh αναγνωρίζουν ως κανονιστικό περιεχόμενο της ΑΤμΔ την εξήγηση της αριθμητικής διαφοράς των σωματιδίων ενός σύνθετου φυσικού συστήματος με όρους ποιότητων, οι οποίες δεν είναι απαραίτητο να οδηγούν στην άμεση εξατομίκευσή τους. Θεωρούν όμως ότι μια ικανοποιητική εξήγηση θα πρέπει να δίνει επί της αρχής τη δυνατότητα της εξατομίκευσης, η οποία ως πράξη δεν πρέπει να οδηγεί στη διάλυση του συστήματος.

4.3 Μορφικά και Φυσικά αντικείμενα

Οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης δεν συμερίζονται την ολιστική προσέγγιση των Dieks και Versteegh. Θεωρούν ότι ο αριθμός που αποδίδεται σε ένα σύστημα όμοιων φερμιονίων εκφράζει την αριθμητική διαφορά των σωματιδίων του και ισχυρίζονται ότι η απειλή της κυκλικότητας του επιχειρημάτων τους δεν είναι πραγματική αλλά οφείλεται στη σύγχυση μεταξύ των εννοιών «μορφικό αντικείμενο» (formal object) και «φυσικό αντικείμενο» (physical object). Αν και οι ίδιοι δεν αποσαφηνίζουν επαρκώς τη διάκριση που προτείνουν, μπορούμε με σχετική ασφάλεια να αναφερθούμε στη διαφορά που επικαλούνται για την άρση της κυκλικότητας. Συγκεκριμένα μορφικά είναι τα αντικείμενα που υπόκεινται σε κάθε είδους κατηγορήση στο πλαίσιο της γλώσσας μιας θεωρίας¹²⁸, ενώ φυσικά είναι αυτά που υπόκεινται μόνο στα κατηγορήματα που έχουν φυσικό νόημα. Έτσι, η διακρισιμότητα δύο αντικειμένων, των a και b , που τα χειριζόμαστε ως μορφικά μπορεί να επιτυγχάνεται ως προς οποιοδήποτε κατηγορήμα της γλώσσας της θεωρίας και χαρακτηρίζεται ως *λεξικολογική* (lexicon), ενώ η διακρισιμότητα των a και b όταν τα χειριζόμαστε ως φυσικά, επιτυγχάνεται μόνο ως προς κατηγορήματα που φέρουν φυσικό νόημα και χαρακτηρίζεται ως *φυσική* (physical). Εύλογα αν τα a και b ταυτίζονται θα είναι τόσο *λεξικολογικά* όσο και *φυσικά μη διακρίσιμα*. Όμως το αντίστροφο δεν ισχύει κατ' ανάγκη· η ταυτότητα των λεξικολογικά μη διακρίσιμων είναι πολύ

¹²⁸ Οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης περιγράφουν τη γλώσσα της κβαντικής μηχανικής ως το αποτέλεσμα εμπλουτισμού της γλώσσας μιας στοιχειώδους κλασικής συνολοθεωρίας όπως αυτή των Zermelo – Fraenkel, με μεταβλητές οι οποίες θα αφορούν είτε φυσικά συστήματα, είτε φυσικές καταστάσεις, είτε φυσικά μεγέθη. Από κει και πέρα, τα αξιώματα της κβαντικής μηχανικής θα καθορίσουν τη σύνδεση μεταξύ φυσικών καταστάσεων ή μεγεθών με τις μαθηματικές οντότητες της συνολοθεωρίας [Muller, F. A. – Saunders, S. (2008) p543].

πιο ισχυρή συνθήκη από την ταυτότητα των φυσικά μη διακρίσιμων πράγμα που σημαίνει ότι είναι δυνατόν δύο αντικείμενα να είναι φυσικά μη διακρίσιμα αλλά λεξικολογικά διακρίσιμα. Έτσι, χειριζόμενοι *εξ αρχής* τα κβαντικά σωματίδια ως μορφικά αντικείμενα, η επαλήθευση της ΑΤμΔ, η οποία εκφράζει την ταυτότητα των φυσικά μη διακρίσιμων, δεν συνιστά λήψη του ζητουμένου, εφόσον η λεξικολογική διακρισιμότητα δεν διασφαλίζει κατ' ανάγκη και τη φυσική διακρισιμότητά τους:

«Πράγματι, αρχίζουμε με το να έχουμε την αριθμητική διαφορά N σωματιδίων που φέρουν ετικέτες. Αν ήταν να εξηγήσουμε την αριθμητική διαφορά κάνοντας επίκληση στις ετικέτες τους μόνο, ας πούμε, και όχι σε κάτι φυσικό, θα είχαμε πράγματι παγιδευτεί σε μια κυκλικότητα. Όμως δεν κάνουμε κάτι τέτοιο... Επιπλέον, αν ήταν να αρχίσουμε από N *φυσικά διακρίσιμα* αντικείμενα και να εξηγήσουμε την αριθμητική τους διαφορά με *φυσικούς όρους*, θα είχαμε παγιδευτεί σε μια κυκλικότητα. Όμως δεν κάνουμε κάτι τέτοιο επίσης. Το θέμα είναι, για να το επαναλάβουμε, αν μπορούμε να εξηγήσουμε *με φυσικό τρόπο* τη δεδομένη αριθμητική διαφορά των N *μορφικών* αντικειμένων όταν υποθέτουμε ότι αυτά υπακούν σε κάποια αξιώματα της κβαντικής μηχανικής»¹²⁹

Παρόλο που οι Muller και Saunders παλινδρομούν ανάμεσα σε δύο αντίθετες θέσεις, η μια εξαιρεί τα αναφορικά σύμβολα από τη γλώσσα της κβαντικής μηχανικής, ενώ η άλλη τα επικαλείται ως κατηγορήματα των μορφικών αντικειμένων¹³⁰, το επιχείρημά τους μπορεί να προχωρήσει μόνο αν επιτραπεί η ετικετοφορία των μορφικών αντικειμένων. Έτσι υποθέτουμε την παρουσία N μορφικών αντικειμένων, εξηγούμε με βάση τα αξιώματα της κβαντικής μηχανικής την αριθμητική τους διαφορά και συμπεραίνουμε με βάση την ΑΤμΔ την παρουσία N φυσικών αντικειμένων. Κατά τη διαδικασία αυτή την παρουσία των N μορφικών αντικειμένων την πιστοποιούν οι δείκτες, οι οποίοι εισάγονται ως σύμβολα αναφοράς των μονοσωματιδιακών χώρων Hilbert που συγκροτούν τον χώρο αναπαράστασης του όλου συστήματος και κατ' επέκταση ως σύμβολα αναφοράς ισάριθμων μορφικών αντικειμένων. Δεδομένου ότι η χρήση δεικτών στις αναπαραστάσεις των κβαντικών συστημάτων γίνεται ανεξάρτητα από το είδος της συμμετρίας που χαρακτηρίζει την κατάστασή τους, φερμιονικά και μποζονικά συστήματα μπορούν να αναπαριστούνται ως ένα πλήθος μορφικών αντικειμένων για τα οποία μένει να δειχθεί αν πρόκειται και για φυσικά αντικείμενα, γεγονός που για τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης σημαίνει ότι η αριθμητική τους διαφορά ανάγεται με κάποιο τρόπο σε ποιοτική.

Η διάκριση μεταξύ μορφικών και φυσικών αντικειμένων φαίνεται να αντιμετωπίζει την απειλή της κυκλικότητας υπό την προϋπόθεση ότι η αναγωγή ενός μορφικού αντικειμένου σε

¹²⁹ Muller, F. A. – Saunders, S. (2008) p543

¹³⁰ «...υποθέτουμε ότι η γλώσσα της κβαντικής μηχανικής δεν έχει ονόματα, μόνο μεταβλητές» [Muller, F. A. – Saunders, S. (2008) p521]. «...αρχίζουμε με το να έχουμε την αριθμητική διαφορά $N > 1$ σωματιδίων που φέρουν ετικέτες» [Muller, F. A. – Saunders, S. (2008) p543]

φυσικό έχει μεταφυσικό ενδιαφέρον υπό την έννοια ότι όλα τα μορφικά αντικείμενα δεν ανάγονται σε φυσικά. Ωστόσο το συμπέρασμα που θέλει τα στοιχειώδη μποζόνια να αποτυγχάνουν ως φυσικά αντικείμενα είναι αποτέλεσμα επιλεκτικής ερμηνείας των κβαντικών καταστάσεων που γίνεται με σκοπό τη διάσωση της ΑΤμΔ. Να επισημάνουμε καταρχήν ότι τη δυνατότητα να ξεκινάμε με την εισαγωγή μορφικών αντικειμένων μας τη δίνει ο ίδιος ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός (και με κάποιες διαφοροποιήσεις ο φορμαλισμός του χώρου Fock της μη σχετικιστικής κβαντικής θεωρίας πεδίων).¹³¹ Τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στις αναπαραστάσεις των κβαντικών καταστάσεων είναι ένα πλήθος μονοσωματιδιακών καταστάσεων, τις οποίες είμαστε σε θέση επακριβώς να περιγράψουμε όταν είναι γνωστή η κατάσταση ενός συστήματος. Το πλήθος των μορφικών αντικειμένων που μπορούμε να εισάγουμε σε μια δεδομένη κατάσταση, είτε αυτή είναι αντισυμμετρική, είτε συμμετρική, καθορίζεται από το πλήθος των μονοσωματιδιακών καταστάσεων του συστήματος. Η διαφορά μεταξύ αντισυμμετρικών και συμμετρικών συστημάτων βρίσκεται στο γεγονός ότι ενώ δεν υπάρχει ζεύγος όμοιων μονοσωματιδιακών καταστάσεων που να εμφανίζεται στο διάνυσμα κατάστασης ενός αντισυμμετρικού συστήματος, ο ίδιος περιορισμός δεν ισχύει για τα συμμετρικά συστήματα. Ουσιαστικά ο χαρακτηρισμός των μορφικών αντικειμένων ως φυσικά αντικείμενα στηρίζεται κατά τους Muller και Saunders πάνω στη διαφορά αυτή. Είναι όμως αυτή η διαφορά ικανή να δικαιολογήσει μια τόσο ισχυρή οντολογική διάκριση μεταξύ φερμιονίων και μποζονίων (ή έστω μόνο των στοιχειωδών); Ας θυμηθούμε και ας συγκρίνουμε τα διανύσματα (3.11) - (3.14) που έχουν αναφερθεί στη 5^η ενότητα του προηγούμενου κεφαλαίου και αφορούν καταστάσεις του σπιν. Τα διανύσματα (3.11) και (3.12) συγκροτούνται από όμοιες μονοσωματιδιακές καταστάσεις και είναι συμμετρικά, ενώ τα διανύσματα (3.13) και (3.14) συγκροτούνται από διαφορετικές μονοσωματιδιακές καταστάσεις και είναι το (3.13) συμμετρικό και το (3.14) αντισυμμετρικό. Κατόπιν τούτων αν θεωρούμε ότι τα διανύσματα (3.11) και (3.12) εκφράζουν την προοπτική το σύστημα να μετασχηματισθεί μετά από μία μέτρηση σε δύο μονοσωματιδιακά συστήματα που έχουν το ίδιο σπιν, τότε η αντίστοιχη προοπτική που εκφράζουν τα διανύσματα (3.13) και (3.14) είναι ο μετασχηματισμός του συστήματος σε δύο ξεχωριστά μονοσωματιδιακά συστήματα που διακρίνονται μεταξύ τους ως προς την ιδιότητα του σπιν.

Την προοπτική αυτή μοιράζονται όλα τα συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* και η διαφορά μεταξύ φερμιονικών και μποζονικών συστημάτων εντοπίζεται στο γεγονός ότι τα

¹³¹ Στις αναπαραστάσεις του χώρου Fock η αναφορά δεν γίνεται άμεσα στα υποτιθέμενα σωματίδια του συστήματος αλλά στο σύνολο των μονοσωματιδιακών καταστάσεων που πραγματώνονται μέσα από μια πειραματική διαδικασία. Σε κάθε μονοσωματιδιακή κατάσταση ωστόσο αποδίδεται ένας φυσικός αριθμός τον οποίο θεωρούμε, ακολουθώντας τους Muller και Saunders, ως το πλήθος των μορφικών αντικειμένων που αντιστοιχούν στην κάθε κατάσταση.

φερμιόνια, λόγω της απαγορευτικής αρχής, ανιχνεύονται σε διαφορετική κατάσταση το καθένα, ενώ τα μποζόνια *ενδέχεται* να ανιχνευθούν όλα στην ίδια κατάσταση. Η διαφορά αυτή είναι αρκετή για τους Muller και Saunders ώστε φερμιονικά και μποζονικά συστήματα να αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστές οντολογικές κατηγορίες λέγοντας ότι τα μορφικά αντικείμενα ενός φερμιονικού συστήματος είναι ένα πλήθος ασθενώς διακρίσιμων φυσικών αντικειμένων, ενώ αντίθετα τα μορφικά αντικείμενα ενός μποζονικού συστήματος είναι βαθμοί διέγερσης ενός κβαντικού πεδίου. Οφείλουμε όμως να παρατηρήσουμε ότι τα μορφικά αντικείμενα ενός μποζονικού συστήματος που αποτελείται από ένα πλήθος διαφορετικών μονοσωματιδιακών καταστάσεων, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του διανύσματος (3.13), είναι κι αυτά ασθενώς διακρίσιμα, όμως η ασθενής διακρισιμότητά τους δεν αρκεί ώστε αυτά να θεωρούνται και φυσικά αντικείμενα. Διαπιστώνουμε έτσι ότι η ασθενής διακρισιμότητα δεν εξυπηρετεί πάντα το σκοπό της ΑΤμΔ, εφόσον τα όμοια μποζόνια της κατάστασης (3.13) παρά την ασθενή διακρισιμότητά τους δεν μπορούν να θεωρούνται δύο διαφορετικά αντικείμενα. Με άλλα λόγια η ασθενής διακρισιμότητα είναι μεν αναγκαία όχι όμως και ικανή συνθήκη τα μορφικά αντικείμενα ενός συστήματος να είναι και φυσικά αντικείμενα. Όμως αυτό ίσως και να μη συνιστά πρόβλημα για τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης, εφόσον αυτοί θα μπορούσαν να επικαλεσθούν το γεγονός ότι τα όμοια μποζόνια μπορούν να είναι μόνο ενδεχομενικά ασθενώς διακρίσιμα και να ισχυρισθούν ότι το a διαφέρει αριθμητικά από το b αν και μόνο αν είναι τουλάχιστον ασθενώς διακρίσιμα σε κάθε περίπτωση και σε όλες τις δυνατές καταστάσεις τους.

Ωστόσο η διάκριση μεταξύ μποζονικών και φερμιονικών συστημάτων δεν είναι συμβατή με θεμελιώδεις αρχές πάνω στην οποίες δομήθηκε ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός. Οι καταστάσεις που διαμορφώνονται στα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* συστήματα, ανεξάρτητα από τη συμμετρία τους, είναι αποτέλεσμα της υπέρθεσης ενός πλήθους μονοσωματιδιακών καταστάσεων, το οποίο υποδηλώνει την παρουσία ισάριθμου πλήθους σωματιδίων ορισμένου είδους, που όμως δεν βρίσκονται σε συνθήκες ταυτότητας. Από την άλλη μεριά όμως για κάθε είδος σωματιδίου είτε αυτό είναι φερμιόνιο είτε μποζόνιο, υπάρχουν καλά καθορισμένες συνθήκες ταυτότητας, δηλαδή συνθήκες στις οποίες τα σωματίδια υπάρχουν και ανιχνεύονται ως άτομα. Πάνω στις ομοιότητες αυτές δομήθηκε ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός. Οι αναπαραστάσεις των κβαντικών καταστάσεων γίνονται σύμφωνα με την αρχή της υπέρθεσης¹³² και τα δομικά τους στοιχεία είναι το σύνολο των μονοσωματιδιακών καταστάσεων, στις οποίες πρόκειται να ανιχνευθούν τα σωματίδια ενός κβαντικού συστήματος όταν πραγματοποιηθεί η

¹³² Σύμφωνα με την αρχή της υπέρθεσης αν τα διανύσματα $|\varphi_1\rangle$ και $|\varphi_2\rangle$ αναπαριστούν δύο πιθανές καταστάσεις ενός συστήματος τότε κάθε γραμμικός συνδυασμός $\lambda|\varphi_1\rangle + \mu|\varphi_2\rangle$ θα αναπαριστάει επίσης πιθανή κατάσταση του συστήματος.

κατάλληλη μέτρηση. Λόγοι συνέπειας απέναντι στην ερμηνεία του κβαντομηχανικού φορμαλισμού επιβάλλουν οι ομοιότητες αυτές να γίνουν σεβαστές και να ερμηνεύονται με ενιαίο τρόπο. Με άλλα λόγια τα μορφικά αντικείμενα των Muller και Saunders είτε θα είναι και φυσικά αντικείμενα είτε όχι.

4.4 Η ασθενής διακρισιμότητα βεβαιώνει την παραβίαση της ΑΤμΔ

Οι Bas van Fraassen και Isabelle Peschard δεν αμφισβητούν τον ποιοτικό χαρακτήρα της συμμετρικής μη ανακλαστικής σχέσης που οδηγεί στην ασθενή κατά Quine διακρισιμότητα: μεταξύ των συστατικών στοιχείων μιας τέτοιας σχέσης υπάρχει πάντα ένα μετρήσιμο μέγεθος που την κάνει ποιοτική. Υποστηρίζουν όμως ότι η ασθενής διακρισιμότητα, όταν εφαρμόζεται και είναι αληθής σε μια ορισμένη κατάσταση, συνεπάγεται την παραβίαση της ΑΤμΔ, διότι αν και βεβαιώνει την παρουσία ξεχωριστών αντικειμένων στην εν λόγω κατάσταση, δεν βεβαιώνει παράλληλα και κάποια ποιοτική διαφορά μεταξύ αυτών. Είναι ενδεικτικό ότι οι δύο φιλόσοφοι θεωρούν την εξήγηση της αριθμητικής διαφοράς των αντικειμένων μέσω της ασθενούς διακρισιμότητα ως εξήγηση ανάλογου τύπου με αυτήν που επιχειρείται μέσω της έννοιας της πρωταρχικής αυτότητας (primitive thisness/haecceity).¹³³ Εξηγήσεις αυτού του τύπου δεν επιτυγχάνονται μέσω μιας περιγραφής αλλά μέσω κατάδειξης, δηλαδή μέσω της χρήσης δεικτικών αντωνυμιών. Τι διαφορετικό θα μπορούσαμε, για παράδειγμα, να πούμε για τις σφαίρες του Black όταν αναλάβουμε να τις περιγράψουμε; Οι σφαίρες είναι απόλυτα όμοιες μεταξύ τους και επιπλέον η συμμετρική και μη ανακλαστική σχέση «το a απέχει ένα μίλι από το b αλλά όχι και από το a », χάριν της οποίας οι δύο σφαίρες είναι ασθενώς διακρίσιμες, εφαρμόζεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και για τις δύο. Αν όμως για δύο ξεχωριστές οντότητες διατυπώνονται δύο πανομοιότυπες περιγραφές, τότε η ΑΤμΔ παραβιάζεται.¹³⁴

Ανάλογοι είναι και οι συλλογισμοί που ακολουθούν για την περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων. Εξαιτίας της (αντι)συμμετρίας που χαρακτηρίζει τις κβαντικές καταστάσεις πολλών-όμοιων-σωματιδίων τίποτα στην κβαντομηχανική περιγραφή δεν ξεχωρίζει τα σωματίδια μεταξύ τους. Με την προϋπόθεση ότι η περιγραφή είναι πλήρης, ο μόνος τρόπος να διασωθεί η ΑΤμΔ είναι να δεχθούμε τα συστήματα αυτού του τύπου ως ένα απλό αντικείμενο. Θα πρέπει όμως να αποκλείσουμε μια τέτοια ερμηνεία, διότι σύμφωνα με τον κβαντομηχανικό φορμαλισμό το πλήθος των σωματιδίων στα συστήματα πολλών-όμοιων-σωματιδίων είναι μετρήσιμο μέγεθος που μας βεβαιώνει για την ύπαρξη ενός αριθμήσιμου πλήθους σωματιδίων, τα οποία όμως βρίσκονται όλα στην ίδια κατάσταση με αποτέλεσμα η ΑΤμΔ να παραβιάζεται.

¹³³ van Fraassen B. - Peschard I.(2008), p16

¹³⁴ van Fraassen B. - Peschard I.(2008), p18

Έτσι η ασθενής διακρισιμότητα, έχει, όπως και στη περίπτωση των όμοιων σφαιρών του Black, την ίδια τύχη: δείχνει απλά ότι είναι δυνατόν ξεχωριστές οντότητες να είναι μη διακρίσιμες και ότι στη φύση υπάρχουν καθαρές αριθμητικές διαφορές.¹³⁵ Έτσι οι van Fraassen και Peschard προσχωρούν στην «κυρίαρχη» άποψη, κάνουν όμως ένα βήμα παραπέρα και επιχειρούν να διαμορφώσουν ένα πλαίσιο κατανόησης του τρόπου με τον οποίο κατηγορούνται ιδιότητες ή σχέσεις σε κβαντικά συστήματα, εντός του οποίου η ασθενής διακρισιμότητα αποδεικνύει την παραβίαση της ΑΤμΔ. Ακολουθώντας μια νεοκαντιανή αντίληψη, θέτουν όρια στη γνώση και στρέφουν την έρευνα στις συνθήκες που την καθιστούν δυνατή. Αυτό για την κβαντική φυσική σημαίνει ότι η έρευνα εστιάζεται στις συνθήκες υπό τις οποίες είναι δυνατή η μέτρηση, και ειδικότερα στις συνθήκες υπό τις οποίες είναι δυνατόν μέσα από μια ορισμένη μετρική διαδικασία να αποσπασθούν συγκεκριμένες πληροφορίες. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο οι έννοιες της ταυτότητας και της μη διακρισιμότητας επαναπροσδιορίζονται και η ΑΤμΔ φαίνεται να μην ταιριάζει.

Η ΑΤμΔ απορρέει από τον τρόπο με τον οποίο ο ίδιος ο Leibniz πιστεύει ότι αποκτάται η γνώση: αν μια διάκριση είναι γνωστή, οφείλει να είναι γνωστή μέσω μιας ποιοτικής διαφοράς, η οποία εμπεριέχεται στις έννοιες που εμπλέκονται κάθε φορά και αναδεικνύεται μέσα από την ανάλυσή τους. Ενώ όμως για τον Leibniz πηγή της γνώσης είναι η ανάλυση των εννοιών, για τον Kant κάθε ανάλυση προϋποθέτει μια σύνθεση, η οποία απαιτεί τον συνδυασμό χωροχρονικών και εννοιολογικών προσδιορισμών. Όμως ο χώρος και ο χρόνος είναι για τον Kant καθαρές μορφές εποπτείας και όχι ιδιότητες των πραγμάτων. Συνεπώς οι χωροχρονικοί προσδιορισμοί που αφορούν τα αντικείμενα της εμπειρίας μας δεν ανάγονται σε κάποιου είδους εννοιολογικό προσδιορισμό. Αυτό συνιστά μια σημαντική διαφορά στις θέσεις του Kant έναντι αυτών του Leibniz, εφόσον η ανεξαρτησία των δύο αυτών πηγών γνώσης επιτρέπει να γνωρίσουμε μια διαφορά χωρίς απαραίτητα να την ανάγουμε σε εννοιολογική.

Ο διαχωρισμός που κάνουμε ανάμεσα στο αριστερό και δεξιό χέρι είναι ένα από τα παραδείγματα στο οποίο καταφεύγει ο Kant: «το αριστερό χέρι, παρ' όλη την ισότητα και ομοιότητά του με το δεξί χέρι, δεν μπορεί να περικλεισθεί μέσα στα ίδια όρια με αυτό (τα δύο χέρια δεν μπορούν να συμπίσουν)». Αναφερόμενος δε σε ζεύγη αντικειμένων για τα οποία ένας ανάλογος διαχωρισμός είναι εφικτός, λέει ότι:

«δεν μπορούμε να κάνουμε κατανοητή τη διαφορά όμοιων και ίσων αλλά εντούτοις ασύμπτωτων πραγμάτων (π.χ. σαλιγκαριών συσπειρωμένων αντίστροφα) μέσω κάποιας έννοιας, παρά μόνο μέσω της σχέσης προς το δεξί και προς το αριστερό χέρι, πράγμα που οδηγεί κατευθείαν σε εποπτεία»¹³⁶

Το είδος αυτό της διαφοράς στο οποίο αναφέρεται ο Kant το εντοπίζουμε στα ζεύγη

¹³⁵ van Fraassen B. - Peschard I.(2008), p20

¹³⁶ Kant, I. (1783/1983), &13

τρισδιάστατων και κατοπτρικά συμμετρικών αντικειμένων, για τα οποία κάθε μορφή άκαμπτης συμμετρίας (μεταφορά ή περιστροφή) δεν είναι δυνατή και στα οποία θα αναφερόμαστε ως *κατοπτρικά ασύμπτωτα αντικείμενα*. Οι van Fraassen και Peschard αναγνωρίζουν μια αναλογία μεταξύ ενός ζεύγους κατοπτρικά ασύμπτωτων αντικειμένων και των ηλεκτρονίων της singlet κατάστασης. Υποστηρίζουν ότι στις δύο αυτές περιπτώσεις είναι δυνατόν να εξηγήσουμε την αριθμητική διαφορά τους, όχι διότι αυτή ανάγεται σε εννοιολογική, αλλά διότι είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τις συνθήκες κάτω από τις οποίες η γνώση της είναι δυνατή. Ποιες όμως είναι οι συνθήκες αυτές στην περίπτωση των κατοπτρικά ασύμπτωτων αντικειμένων και πώς αυτές διαμορφώνονται στο κβαντικό παράδειγμα;

Στο παράδειγμα του ζεύγους ενός αριστερού και ενός δεξιού χεριού η μόνη συμμετρία που τα συνδέει είναι η κατοπτρική ανάκλαση, εφόσον η ταύτισή τους μέσω ενός συνδυασμού άκαμπτων κινήσεων (μεταφορά ή περιστροφή) είναι αδύνατη. Η έλλειψη αυτής της δυνατότητας καθιστά το ζεύγος των χεριών κατοπτρικά ασύμπτωτα αντικείμενα, των οποίων τη διαφορά γνωρίζουμε, όπως ισχυρίζεται ο Kant, όχι με τη νόηση αλλά με την εποπτεία. Παρόλο που η γεωμετρική περιγραφή ενός αριστερού και ενός δεξιού χεριού είναι ίδια, η απουσία της άκαμπτης κίνησης που θα τα ταυτίσει, αναδεικνύει μια διαφορά άλλου τύπου. Αυτή η διαφορά δεν είναι εννοιολογική και άρα δεν είναι περιγράψιμη· η γνώση της δεν προκύπτει, όπως θα υποστήριζε ο Leibniz, μέσα από την ανάλυση των εννοιών, αλλά πηγάζει από τις δύο μορφές της καθαρής εποπτείας, είναι δηλαδή μόνο δεικτική (indexical).¹³⁷ Αν το ίδιο πλαίσιο κατανόησης εφαρμοσθεί στην περίπτωση των όμοιων κβαντικών σωματιδίων, η αριθμητική τους διαφορά είναι δυνατόν να γίνει γνωστή χωρίς να καταφύγουμε στην ΑΤμΔ. Βέβαια ο προσδιορισμός των συνθηκών υπό τις οποίες η γνώση της αριθμητικής διαφοράς είναι εφικτή ακόμα κι όταν εννοιολογικές διαφορές δεν υπάρχουν, προϋποθέτει την προσαρμογή της κλασικής καντιανής γνωσιοθεωρίας στη μετά-νευτώνεια εποχή. Έτσι οι *a priori* συνθήκες εποπτείας που κάνουν τη διάκριση των ασύμπτωτα κατοπτρικών αντικειμένων δυνατή, στην κβαντική μηχανική μετατρέπονται σε *a priori* συνθήκες μέτρησης.

Το διάνυσμα κατάστασης ενός κβαντικού συστήματος διαμορφώνεται μεταξύ δύο πειραματικών διαδικασιών: τη διαδικασία *προετοιμασίας* (preparation), η οποία φέρνει το σύστημα σε μια ορισμένη κατάσταση και τη διαδικασία της *μέτρησης*. Έτσι, το διάνυσμα της μορφής $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|x\rangle|y\rangle - |y\rangle|x\rangle)$ αναπαριστά την singlet κατάσταση ενός συστήματος, το οποίο έχει διαμορφωθεί μέσα από μια συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία προετοιμασίας ώστε να έχει συνολικό σπιν μηδέν και μας πληροφορεί ότι το όλο σύστημα είναι ένα πλήρως

¹³⁷ van Fraassen B. - Peschard I.(2008), p28-9

συζευγμένο ζεύγος δύο όμοιων υποσυστημάτων, ήτοι δύο όμοιων σωματιδίων. Το ίδιο διάνυσμα εκφράζει επιπλέον τη *συσχέτιση* (correlation) μεταξύ των δυνατών αποτελεσμάτων μιας τοπικής μέτρησης του σπιν σε κάποιο από τα δύο υποσυστήματα, η οποία αποδίδεται από τη σχεσιακού τύπου πρόταση «το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...». Εντούτοις για τους van Fraassen και Peschard οι κβαντικές συσχετίσεις βεβαιώνουν απλώς την αριθμητική διαφορά των μερών ενός συστήματος, χωρίς να υπονοούν οποιαδήποτε εννοιολογική διαφορά μεταξύ αυτών. Η γνώση κάποιας εννοιολογικής διαφοράς θα οδηγούσε σε διαφορετικές περιγραφές των σωματιδίων εντός της συζευγμένης κατάστασης, όμως αυτό δεν συμβαίνει· οι κβαντικές συσχετίσεις περιγράφουν τη δυναμική μιας υφιστάμενης κατάστασης σε σχέση με μελλοντικές μετρήσεις, την οποία από κοινού μοιράζονται όλα τα σωματίδια του συστήματος. Έτσι, είναι παραπλανητικό να περιγράφουμε τη συσχέτιση που δηλώνει το διάνυσμα της singlet κατάστασης λέγοντας απλώς ότι «το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...». Αντ' αυτού είναι προτιμότερο να λέμε ότι «αν μια μέτρηση φέρει το ένα σωματίδιο να έχει σπιν «άνω», τότε αντίστοιχη μέτρηση στο άλλο σωματίδιο θα το φέρει να έχει σπιν «κάτω»». Όμως αυτό είναι κάτι που ισχύει με τον ίδιο τρόπο, ανεξάρτητα από το σωματίδιο που τελικά θα υποβληθεί στη διαδικασία της μέτρησης και ως εκ τούτου τα σωματίδια αν και διαφέρουν αριθμητικά θα είναι εννοιολογικά μη διακρίσιμα.

Όπως και στην περίπτωση του αριστερού και του δεξιού χεριού οι κατοπτρικά ασύμπτωτες περιοχές που καταλαμβάνουν βεβαιώνουν την αριθμητική τους διαφορά, έτσι στην περίπτωση των συζευγμένων ηλεκτρονίων ο ίδιος σκοπός επιτυγχάνεται χάριν της κβαντικής συσχέτισης που χαρακτηρίζει την κατάστασή τους. Τα δύο αυτά παραδείγματα δείχνουν ότι η γνώση της αριθμητικής διαφοράς δεν πηγάζει από τις διαφορετικές περιγραφές των αντικειμένων όπως αξιώνει η ΑΤμΔ. Αντίθετα και στις δύο περιπτώσεις έχουμε να κάνουμε με δύο αντικείμενα, τα οποία είναι από κάθε άποψη μη διακρίσιμα, γεγονός που οδηγεί καθαρά στην παραβίαση της ΑΤμΔ. Για τους van Fraassen και Peschard η συμμετρική και μη ανακλαστική σχέση «το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...», η οποία σύμφωνα με την «εναλλακτική» άποψη καθιστά ασθενώς διακρίσιμα τα ηλεκτρόνια της singlet κατάστασης ώστε η ΑΤμΔ να ισχύει, δεν είναι παρά μια κβαντική συσχέτιση του ίδιου τύπου με αυτή που θα προέκυπτε μέσα από μια διαδικασία προετοιμασίας ενός συστήματος όμοιων μποζονίων με ίδιο σπιν. Για τον ίδιο λόγο δεν αναφέρονται στη διάκριση μεταξύ φερμιονίων και μποζονίων. Ερμηνεύουν ενιαία τις κβαντικές συσχετίσεις λέγοντας ότι αυτές μας πληροφορούν για την αριθμητική διαφορά που χαρακτηρίζει ένα σύστημα, μια διαφορά όμως που η γνώση της δεν πηγάζει από έννοιες αλλά από τη σύνδεσή της με συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες.

Ωστόσο οι van Fraassen και Peschard δεν εξομοιώνουν απόλυτα την περίπτωση των

κατοπτρικά ασύμπτωτων αντικειμένων με αυτήν των κβαντικών συστημάτων *πολλών-όμοιων-σωματιδίων*. Δίνουν έμφαση στο γεγονός ότι οι κβαντικές συσχετίσεις δεν υποστασιοποιούνται υπό την έννοια ότι δεν πρόκειται για σχέσεις που υφίστανται σε μια δεδομένη κατάσταση και τονίζουν ότι ο μη υποστασιοποιημένος χαρακτήρας των συσχετίσεων οφείλεται στην έλλειψη συμβατότητας μεταξύ των πειραματικών διαδικασιών προετοιμασίας και μέτρησης. Η προετοιμασία μιας συζευγμένης κατάστασης μπορεί να βεβαιώνει τη συσχέτιση μεταξύ των δυνατών αποτελεσμάτων μιας τοπικής μέτρησης του σπιν, όμως από τη στιγμή που η μέτρηση αυτή πραγματοποιηθεί το σύστημα διαταράσσεται και το αποτέλεσμα της δεν μπορεί να αποδίδεται στην προ-μέτρησης κατάσταση. Μπορεί η μέτρηση του σπιν ενός σωματιδίου της singlet κατάστασης να δώσει αποτέλεσμα «άνω», όμως η συσχέτιση δεν μας βεβαιώνει ότι το ίδιο αυτό σωματίδιο είχε πριν τη μέτρηση σπιν «άνω».¹³⁸ Αντίθετα, στην περίπτωση των κατοπτρικά ασύμπτωτων αντικειμένων, οι συνθήκες υπό τις οποίες η σχέση της κατοπτρικής ασυμπτωτικότητας ισχύει είναι συμβατές με τις συνθήκες υπό τις οποίες ένα χέρι προσδιορίζεται ως δεξιό ή αριστερό. Η συμβατότητα των συνθηκών εγγυάται παραπέρα τη συνέχεια των συνθηκών ταυτότητας για τα μέρη του συστήματος, γεγονός που αφήνει ανοιχτό το ενδεχόμενο το ζεύγος των δύο χεριών να είναι τα ενεργά συσχετιζόμενα της εν λόγω σχέσης.¹³⁹ Το ίδιο μπορούμε να ισχυρισθούμε και για το παράδειγμα των όμοιων σφαιρών του Black: οι συνθήκες υπό τις οποίες οι δύο σφαίρες βρίσκονται να απέχουν ένα μίλι η μία από την άλλη είναι συμβατές με τις συνθήκες υπό τις οποίες οι δύο σφαίρες εντοπίζονται σε συγκεκριμένες θέσεις που απέχουν ένα μίλι η μία από την άλλη. Μπορούμε έτσι να πούμε ότι οι συμμετρικές και μη ανακλαστικές σχέσεις «το ... απέχει ένα μίλι από το ...» και «το ... είναι κατοπτρικά ασύμπτωτο του ...» αφορούν ενεργά συσχετιζόμενα και ότι πρόκειται για υποστασιοποιημένες σχέσεις, οι οποίες καθιστούν τόσο τις σφαίρες του Black όσο και το ζεύγος ενός δεξιού και ενός αριστερού χεριού ασθενώς διακρίσιμα αντικείμενα.

Με τον τρόπο αυτό οι van Fraassen και Peschard τραβούν τη διαχωριστική γραμμή μεταξύ κλασικής και κβαντικής περίπτωσης. Όπως και οι Dieks και Versteegh επικαλούνται τους διαφορετικούς ρόλους κλασικής και κβαντικής μέτρησης και το γεγονός ότι η κλασική μέτρηση αφήνει το σύστημα στην ίδια κατάσταση. Σε αντίθεση όμως με τους Dieks και Versteegh, οι van Fraassen και Peschard δεν δέχονται ότι η ασθενής διακρισιμότητα είναι σε τελική ανάλυση διακρισιμότητα και γι αυτό η υποστασιοποίηση των σχέσεων στις κλασικές περιπτώσεις φαίνεται ότι δεν είναι αρκετή για τη διάσωση της ΑΤμΔ. Για να ισχύει η ΑΤμΔ θα πρέπει οι περιγραφές των μερών του εκάστοτε συστήματος να είναι διαφορετικές. Όμως αυτό δεν μπορεί να συμβεί στις συμμετρικές καταστάσεις, κβαντικές ή κλασικές, για τις οποίες εφαρμόζεται η

¹³⁸ van Fraassen B. - Peschard I.(2008), P34

¹³⁹ van Fraassen B. - Peschard I.(2008), p35

ασθενής διακρισιμότητα. Ο μόνος τρόπος να οδηγηθούμε σε διαφορετικές περιγραφές είναι το σπάσιμο της συμμετρίας μέσα από μια πειραματική διαδικασία και η διαφορά μεταξύ κλασικής και κβαντικής περίπτωσης εντοπίζεται στο γεγονός ότι το σπάσιμο της συμμετρίας για τα κλασικά συστήματα μπορεί να είναι προσωρινό.

Η αντιμετώπιση του όλου ζητήματος από τους van Fraassen και Peschard στηρίζεται στη νεο-καντιανή, όπως τη χαρακτηρίζουν, προσέγγισή τους, σύμφωνα με την οποία η διαδικασία απόκτησης της γνώσης διενεργείται μέσω δύο λειτουργικά ανεξάρτητων γνωσιακών μηχανισμών. Για τα αντικείμενα της καθημερινής εμπειρίας οι δύο αυτοί μηχανισμοί βρίσκονται σε πλήρη συγχρονισμό. Η απλή παρατήρηση ενός αντικειμένου στον χώρο είναι αρκετή για να το προσδιορίσουμε χωρικά σε σχέση με όλα τα άλλα αντικείμενα και να του αποδώσουμε μια σειρά ιδιοτήτων. Στις περιπτώσεις αυτές η συγκρότηση του αντικειμένου της εμπειρίας είναι άμεση και η διάκριση των γνωσιακών μηχανισμών που την καθιστούν δυνατή δεν γίνεται αντιληπτή. Το ίδιο συμβαίνει με τα αντικείμενα της κλασικής φυσικής όπου τον ρόλο των γνωσιακών μηχανισμών αναλαμβάνει το πείραμα, το οποίο δεν περιορίζεται πάντα στην απλή παρατήρηση. Έτσι, παρόλο που η γνώση ενός αντικειμένου είναι πιθανόν να προκύπτει μέσα από μια σειρά μετρήσεων, η μέτρηση στην κλασική φυσική είναι μια ελεγχόμενη αλληλεπίδραση, η οποία μας επιτρέπει να συλλέγουμε σωρευτικά πληροφορίες για ένα σύστημα αντικειμένων είτε αυτές αφορούν το σύστημα ως όλο, είτε το κάθε αντικείμενο ξεχωριστά.

Στη κβαντική φυσική όμως οι μετρήσεις που επιτρέπουν τη σωρευτική συλλογή πληροφοριών είναι μόνο αυτές που αφήνουν ανέπαφες τις κβαντικές συζεύξεις. Η αποσύζευξη ενός συστήματος σημαίνει την κατάρρευση της κυματοσυνάρτησής του και γι αυτό η μέτρηση που την προκαλεί δίνει μεν εξατομικευμένες πληροφορίες για τα μέρη του, όταν όμως το σύστημα έχει ήδη πάψει να υπάρχει. Χάριν αυτής της συμπεριφοράς η ύπαρξη διαφορετικών γνωσιακών μηχανισμών, οι οποίοι λειτουργούν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, γίνεται έκδηλη. Έτσι χάριν του πειράματος προετοιμασίας μιας singlet κατάστασης γνωρίζουμε ότι στην κατάσταση αυτή υπάρχουν δύο ηλεκτρόνια και ότι το συνολικό σπιν του συστήματος είναι μηδέν. Όμως η απόδοση της ιδιότητας του σπιν σε κάθε σωματίδιο ξεχωριστά είναι μια μορφή γνώσης που πηγάζει από ένα διαφορετικό μηχανισμό, τον μηχανισμό της μέτρησης του σπιν. Η μέτρηση στην περίπτωση των συζευγμένων καταστάσεων δεν προσθέτει πληροφορίες στις ήδη υπάρχουσες· δημιουργεί μια καινούρια κατάσταση και το γεγονός αυτό είναι που καθιστά έκδηλη την ανεξάρτητη λειτουργία της.

4.5 Η φυσική διακρισιμότητα ως συνθήκη εγκυρότητας της ATμΔ

Μέσα από διαφορετική προσέγγιση οι Ladyman και Bigaj καταλήγουν σε ένα ανάλογο

συμπέρασμα: η ασθενής διακρισιμότητα δεν είναι μια γνήσια μορφή διακρισιμότητας και ότι η ΑΤμΔ παραβιάζεται στις συζευγμένες (αντι)συμμετρικές καταστάσεις. Οι Ladyman και Bigaj δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στην έννοια της *φυσικής* (physical) διακρισιμότητας, η οποία να θυμηθούμε ότι εισάγεται από τους Muller και Saunders ως κριτήριο που καθιστά τη διαφορά μεταξύ δύο αντικειμένων κατάλληλη για το σκοπό της ΑΤμΔ. Οι προϋποθέσεις που έχουν θέσει οι δύο φιλόσοφοι ώστε τα κατηγορήματα της γλώσσας μιας θεωρίας να αναπαριστούν γνήσιες φυσικές ιδιότητες ή σχέσεις είναι να αντιστοιχούν σε μετρήσιμα φυσικά μεγέθη και όταν πρόκειται για τη γλώσσα της κβαντικής μηχανικής να ικανοποιούν επιπλέον και το AAM.¹⁴⁰ Ωστόσο οι Ladyman και Bigaj θα υποστηρίξουν ότι ακόμα κι αν δεχθούμε ότι η συμμετρική και μη ανακλαστική σχέση που βεβαιώνει την κατά Quine ασθενή διακρισιμότητα δύο αντικειμένων ικανοποιεί τις παραπάνω προϋποθέσεις δεν συνεπάγεται άνευ ετέρου και τη φυσική τους διακρισιμότητα και αυτό είναι κάτι που ισχύει ανεξάρτητα από την κλασική ή κβαντική τους φύση. Για τους Ladyman και Bigaj χρειάζεται επιπλέον:

«να βεβαιώσουμε την ύπαρξη μιας δυνατής φυσικής διαδικασίας που θα μπορούσε να έχει μια έκβαση όταν εφαρμόζεται στο ένα αντικείμενο και μια διαφορετική έκβαση όταν εφαρμόζεται στο άλλο. Αυτή η διαδικασία δεν είναι ανάγκη να εφαρμοσθεί στην πράξη, αλλά να μας είναι καταρχήν διαθέσιμη. Μιλώντας μεταφορικά, θέλουμε να είμαστε σε θέση να ‘σημαδέψουμε’ το ένα αντικείμενο αλλά όχι το άλλο»¹⁴¹.

Όμως μια τέτοια φυσική διαδικασία δεν υφίσταται ούτε στην περίπτωση των όμοιων σφαιρών του Black ούτε στη περίπτωση των ηλεκτρονίων της singlet κατάστασης. Ας θυμηθούμε ότι η ασθενής διακρισιμότητα εισάγεται από τον Quine ως έσχατη μορφή διακρισιμότητας, είναι σχεσιακής μορφής και σύμφωνα με την αρχική της διατύπωση (παράρτημα Β) δύο αντικείμενα χαρακτηρίζονται ασθενώς διακρίσιμα όταν υπάρχει ένα κατηγορήμα $R^*(x_1, x_2, \dots, x_n)$ για το οποίο ισχύει:

$$\exists x_1, \exists x_2, \dots, \exists x_{n-1} \left(R^*(a, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) \wedge \neg R^*(b, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) \right) \quad (4.3)$$

Η ανάγνωση της πρότασης (4.3) λέει ότι η ασθενής διακρισιμότητα των αντικειμένων a και b δεν διασφαλίζεται μόνο με την ύπαρξη του κατηγορήματος R^* . Είναι επίσης αναγκαία και η ύπαρξη των $(n-1)$ *αντικειμένων αναφοράς* (gauge objects) που καταλαμβάνουν συγκεκριμένες θέσεις μέσα στο σχεσιακό δίκτυο που ορίζει το κατηγορήμα R^* έτσι ώστε να διαμορφώνουν μια *θέση-καλούπι*, στην οποία ταιριάζει το a όχι όμως και το b . Μόνο αργότερα ο Quine δέχθηκε ότι η ασθενής διακρισιμότητα ισοδυναμεί με μια συμμετρική και μη ανακλαστική σχέση και ότι η πρόταση (4.3) μπορεί να αντικατασταθεί από ένα διθέσιο κατηγορήμα $R(x_1, x_2)$ που στην

¹⁴⁰ Muller, F., M., - Saunders, S., (2008) pp525-527

¹⁴¹ Ladyman, J. & Bigaj, T. (2010), p129

περίπτωση των σφαιρών του Black αποκτά το ειδικό περιεχόμενο «το x_1 απέχει ένα μίλι από το x_2 », ενώ στην περίπτωση των συζευγμένων ηλεκτρονίων της singlet κατάστασης το ειδικό περιεχόμενο της είναι «το x_1 έχει αντίθετο σπιν από το x_2 ». Εντούτοις, για να είναι τα δύο αντικείμενα και φυσικώς διακρίσιμα μέσω της σχέσης R θα πρέπει να διασφαλίζεται η ύπαρξη τουλάχιστον ενός αντικειμένου αναφοράς, το οποίο να διαμορφώνει με το a τη σχέση R όχι όμως και με το b . Ωστόσο τα μόνα αντικείμενα που μπορούν να αναλάβουν ένα τέτοιο ρόλο και στις δύο περιπτώσεις είναι ή το a ή το b και το πρόβλημα είναι ότι δεν μπορούμε να θεωρούμε αντικείμενο αναφοράς ένα από τα αντικείμενα που καλούμαστε να διακρίνουμε χωρίς να εμπλακούμε σε μια κυκλική διαδικασία. Η φυσική διακρισιμότητα των a και b επιτυγχάνεται όταν είμαστε καταρχήν σε θέση να ξεχωρίσουμε το αντικείμενο αναφοράς και στη συνέχεια να βεβαιώσουμε ότι αυτό σχετίζεται με το a με τρόπο που δεν σχετίζεται με το b .¹⁴² Αυτή θα ήταν πράγματι μια διαδικασία μέσω της οποίας είναι δυνατόν «...να σημαδέψουμε το ένα αντικείμενο, όχι όμως και το άλλο».

Ο ρόλος που οι Ladyman και Bigaj αναθέτουν στα αντικείμενα αναφοράς είναι ενδεικτικός του νοήματος που αποδίδουν στην έννοια της φυσικής διακρισιμότητας και τη σύνδεσή της με την ΑΤμΔ: *η φυσική διακρισιμότητα επιτυγχάνεται όταν υπάρχει δυνατότητα εξατομίκευσης*. Αν όμως η φυσική διακρισιμότητα είναι η μόνη κατάλληλη μορφή διακρισιμότητας για το σκοπό της ΑΤμΔ, τότε προορισμός της ΑΤμΔ είναι να θεμελιώσει την αριθμητική διαφορά των αντικειμένων μέσα από την προοπτική της εξατομίκευσής τους.¹⁴³ Για τον λόγο αυτό τα αντικείμενα αναφοράς θα πρέπει να διασφαλίζουν την ύπαρξη της φυσικής εκείνης διαδικασίας που εξατομικεύει τα υπό διάκριση αντικείμενα και τίποτα λιγότερο. Κατόπιν τούτων οι Ladyman και Bigaj καταλήγουν σε μια συνθήκη ώστε η σχεσιακή διακρισιμότητα που περιγράφει η πρόταση (4.3) να είναι και φυσική διακρισιμότητα, η οποία στην περίπτωση μια δυαδικής σχέσης λέει ότι:

«τα a και b είναι σχεσιακά και φυσικά διακρίσιμα ως προς τη γλώσσα L αν και μόνο αν υπάρχει κάποια φυσικά ορισμένη σχέση R τέτοια ώστε να ισχύει:

$$\exists x[(Rax \wedge \neg Rbx) \wedge \forall y(yIndx \rightarrow (Ray \wedge \neg Rby))]]^{144} \quad (4.4)$$

όπου x είναι το αντικείμενο αναφοράς και $yIndx$ σημαίνει ότι το y είναι μη διακρίσιμο από το x . Είναι φανερό ότι οι σχέσεις που καθιστούν ασθενώς διακρίσιμες τόσο τις όμοιες σφαίρες του Black, όσο και τα ηλεκτρόνια της singlet κατάστασης, δεν ικανοποιούν την παραπάνω συνθήκη, διότι στις περιπτώσεις αυτές δεν υπάρχουν άλλα αντικείμενα αναφοράς, εκτός από αυτά των οποίων τη διακρισιμότητα ελέγχουμε. Έτσι στην περίπτωση των συζευγμένων ηλεκτρονίων, αν

¹⁴² Ladyman, J. - Bigaj, T. (2010), p127

¹⁴³ Ladyman, J. - Bigaj, T. (2010), p134

¹⁴⁴ Ladyman, J. - Bigaj, T. (2010), p129

το σωματίδιο b αναλάβει τον ρόλο του x , τότε μπορούμε να ισχυρισθούμε αληθώς ότι «το a έχει αντίθετο σπιν από το b και το b δεν έχει αντίθετο σπιν από το b » όμως η αντικατάσταση του b από το a (το a είναι μη διακρίσιμο από το b) θα οδηγούσε στην πρόταση: «το a έχει αντίθετο σπιν από το a και το a δεν έχει αντίθετο σπιν από το b » η οποία συνιστά αντίφαση.

Κατόπιν τούτων οι Ladyman και Bigaj συμπεραίνουν ότι η ΑΤμΔ αποτυγχάνει να είναι αληθής, εφόσον το αίτημα για φυσική διακρισιμότητα δεν ικανοποιείται τόσο στην κλασική όσο και στην κβαντική περίπτωση. Ωστόσο αναγνωρίζουν και αυτοί ότι θα πρέπει να ερμηνεύουμε με διαφορετικό τρόπο τις κλασικές και κβαντικές σχέσεις και ότι πίσω από την επιφανειακή ομοιότητα των σχέσεων «το... απέχει 1 μίλι από το ...» και «το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...» κρύβονται θεμελιώδεις διαφορές. Σύμφωνα με την κλασική μηχανική όταν δύο αντικείμενα επαληθεύουν τη σχέση «το... απέχει 1 μίλι από το ...» δεν υπάρχει αμφιβολία ότι αυτά βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις που απέχουν 1 μίλι η μια από την άλλη. Επιπλέον η κλασική μηχανική επιτρέπει την εκ των έσω παρατήρηση, ας πούμε τη χρονικά πεπερασμένη παρουσία ενός αντικειμένου αναφοράς, η οποία απλώς θα επιβεβαιώσει τον αρχικό ισχυρισμό χωρίς να διαταράξει τη συμμετρία του συστήματος. Τουναντίον όταν κάποιος λέει ότι τα ηλεκτρόνια της singlet κατάστασης επαληθεύουν τη σχέση «το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...», συσκοτίζει το γεγονός ότι στις συζευγμένες καταστάσεις τα σωματίδια πέραν των εγγενών δεν φέρουν άλλες ιδιότητες και ότι η εν λόγω σχέση περιγράφει μια μορφή κβαντικής συσχέτισης, η οποία αφορά τα αποτελέσματα μιας μέτρησης και όχι την κατάσταση του κάθε συζευγμένου ηλεκτρονίου.

Μέσα από την ίδια λογική οι Dieks και Versteegh επισημαίνουν ότι η κβαντική μηχανική στερεί την ικανότητα του *διακρίνειν* από κάθε επίδοξο *παρατηρητή/αντικείμενο αναφοράς* που θα επιχειρήσει μια εκ των έσω παρατήρηση συζευγμένων συστημάτων. Τούτο διότι αξιώνει οι σχέσεις που αυτός διαμορφώνει με το κάθε σωματίδιο του συστήματος να είναι ακριβώς ίδιες. Ωστόσο οι Ladyman και Bigaj εκφράζουν την κάθετη διαφωνία τους με τον ισχυρισμό των Dieks και Versteegh που λέει ότι μετά από μια μέτρηση τα κβαντικά συστήματα μεταπίπτουν σε μη συμμετρικές καταστάσεις και τα σωματίδιά τους συμπεριφέρονται πλέον ως άτομα.¹⁴⁵ Παρόλο που μετά τη μέτρηση αίρεται η απροσδιοριστία ως προς την τιμή του σπιν η κατάσταση του συστήματος δεν μπορεί να αναπαριστάνεται από ένα απλό γινόμενο μονοσωματιδιακών καταστάσεων. Το θεώρημα Spin-Statistics επιβάλλει στα όμοια φερμιόνια αντισυμμετρικές καταστάσεις πράγμα που σημαίνει ότι μετά τη μέτρηση η κατάσταση του συστήματος θα πρέπει να αναπαριστάνεται και πάλι από ένα αντισυμμετρικό διάνυσμα, το οποίο θα περιλαμβάνει δύο όρους που ο ένας θα προκύπτει από τον άλλο μέσω της εναλλαγής των σωματιδίων στα οποία

¹⁴⁵ Ladyman, J. - Bigaj, T. (2010), p132

αναφερόμαστε όχι πλέον με βάση τις ιδιοτιμές του σπιν αλλά με βάση τη σχετική τους θέση.¹⁴⁶

Ωστόσο, όπως αργότερα αναγνωρίζουν οι Ladyman και Bigaj σε μια κοινή δημοσίευσή τους με τον Linnebo Øystein οι αντισυμμετρικές καταστάσεις δεν είναι πάντα συζευγμένες.¹⁴⁷ Θα δούμε στη συνέχεια τι επιπλέον απαιτείται από μια αντισυμμετρική κατάσταση ώστε να είναι συζευγμένη και ότι αυτό που δεν επιτρέπει να αποδίδουμε ιδιότητες στα σωματίδια ενός κβαντικού συστήματος είναι το φαινόμενο των συζεύξεων. Θα δούμε επίσης ότι υπάρχουν συνθήκες υπό τις οποίες ένα κβαντικό σύστημα όμοιων σωματιδίων μπορεί να αναπαριστάνεται από ένα μη συμμετρικό διάνυσμα.

4.6 Οι αντισυμμετρίες δεν εκφράζουν πάντα συζευγμένες καταστάσεις

Η (αντι)συμμετρικοποίηση των καταστάσεων δεν είναι επιβεβλημένη όταν τα σωματίδια ενός συστήματος πολλών-όμοιων-σωματιδίων επιδέχονται εξατομικευμένη περιγραφή.¹⁴⁸ Η πλέον κατάλληλη διαδικασία για τη δημιουργία συνθηκών εξατομικευμένης περιγραφής είναι η διαδικασία των τοπικών μετρήσεων, οι οποίες στοχεύουν στα επιμέρους σωματίδια των συστημάτων. Ας πάρουμε και πάλι το παράδειγμα της singlet κατάστασης ενός ζεύγους ηλεκτρονίων, το οποίο όμως έχει προετοιμασθεί για μια EPR μέτρηση. Αυτό σημαίνει ότι από την πειραματική διάταξη προετοιμασίας εξέρχονται δύο ηλεκτρόνια με συνολικό σπιν μηδέν, που κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις, ας πούμε ότι το ένα κινείται προς τα αριστερά (L) και το άλλο προς τα δεξιά (R), όπου έχουν τοποθετηθεί ειδικοί ανιχνευτές μέτρησης του σπιν. Υπό αυτές τις συνθήκες το αποτέλεσμα της μέτρησης που καταγράφει ο ένας εκ των ανιχνευτών προδικάζει το αποτέλεσμα που καταγράφει ο άλλος. Έτσι αν ο εξ αριστερών ανιχνευτής ανιχνεύσει ένα ηλεκτρόνιο με σπιν «άνω», τότε προβλέπουμε με βεβαιότητα ότι ο εκ δεξιών ανιχνευτής θα ανιχνεύει ένα ηλεκτρόνιο με σπιν «κάτω». Σε κάθε περίπτωση η μέτρηση θα αναδείξει δύο σωματίδια με αντίθετο σπιν γεγονός που καταγράφεται ως μια μορφή κβαντικής συσχέτισης, από αυτές που τυπικά θεωρούμε ότι παραβιάζουν κάποια από τις ανισότητες του Bell. Όμως αυτού του τύπου οι κβαντικές συσχετίσεις αποδεικνύουν ότι το σύστημα βρίσκεται σε μια συζευγμένη κατάσταση, η οποία ως εκ τούτου *πρέπει* να αναπαριστάνεται από ένα αντισυμμετρικό διάνυσμα του χώρου $\mathcal{H}^2$.¹⁴⁹

Ωστόσο υπάρχουν δύο τρόποι αναπαράστασης της εν λόγω κατάστασης. Ο πρώτος τρόπος είναι το διάνυσμα κατάστασης να λάβει τη μορφή:

¹⁴⁶ Ladyman, J. - Bigaj, T. (2010), p134

¹⁴⁷ Ladyman, J.- Linnebo, Ø.,- Bigaj, T., (2013)

¹⁴⁸ M. L. Dalla Chiara – G. Toraldo di Francia (1993) pp265-6

¹⁴⁹ Ladyman, J.- Linnebo, O.,- Bigaj, T., (2013) pp216-7

$$|\psi_{\text{sin}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow_z\rangle_L |\downarrow_z\rangle_R - |\downarrow_z\rangle_L |\uparrow_z\rangle_R) \quad (4.5)$$

όπου $|\uparrow_z\rangle$ και $|\downarrow_z\rangle$ είναι μονοσωματιδιακές ιδιοκαταστάσεις του σπιν στην z -κατεύθυνση. Το διάνυσμα (4.5) περιγράφει μια συζευγμένη σπιν κατάσταση δύο *διακρισίμων* σωματιδίων. Η διάκριση των δύο σωματιδίων επιτυγχάνεται με τη χρήση των δεικτών L και R , οι οποίοι λειτουργούν στην προκειμένη περίπτωση ως αναφορικά σύμβολα. Ο δείκτης L αναφέρεται στο σωματίδιο που οδεύει προς τα αριστερά και ο δείκτης R στο σωματίδιο που οδεύει προς τα δεξιά. Εντούτοις παρά τη διακρισιμότητα των σωματιδίων του συστήματος η κατάστασή του εξακολουθεί να θεωρείται συζευγμένη, αφενός διότι τα σωματίδια πριν τη μέτρηση δεν βρίσκονται σε κάποια ιδιοκατάσταση του σπιν και αφετέρου διότι το αποτέλεσμα της μέτρησης του σπιν στο ένα σωματίδιο θα καθορίσει το αποτέλεσμα αντίστοιχης μέτρησης στο άλλο.

Τούτων δεδομένων μια τοπική μέτρηση του σπιν θα έχει ως αποτέλεσμα την αποσύζευξη του συστήματος και την κατάρρευση της κατάστασης (4.5) σε μια από τις ιδιοκαταστάσεις του, είτε στην $|\uparrow_z\rangle_L |\downarrow_z\rangle_R$, είτε στην $|\downarrow_z\rangle_L |\uparrow_z\rangle_R$. Οι καταστάσεις αυτές δεν είναι συμμετρικές και παραβιάζουν το AAM. Από αυτό όμως δεν συμπεραίνουμε ότι τα διανύσματα αυτά δεν αναπαριστούν φυσικά δυνατές καταστάσεις. Οι μη συμμετρικές καταστάσεις είναι πράγματι διαθέσιμες για κβαντικά συστήματα που συγκροτούνται από διακρισίμα σωματίδια. Η διακρισιμότητα των σωματιδίων και η απουσία συσχετίσεων μετά τη μέτρηση σημαίνει ότι οι αμοιβαίες μεταθέσεις τους οδηγούν το σύστημα σε μια νέα κατάσταση με αποτέλεσμα το AAM να παραβιάζεται και κατάλληλη στατιστική να αναδεικνύεται η MB.¹⁵⁰

Όμως το διάνυσμα (4.5) δεν είναι ο μόνος διαθέσιμος τρόπος αναπαράστασης της singlet κατάστασης ενός ζεύγους ηλεκτρονίων που έχει προετοιμασθεί για μια EPR μέτρηση. Θα μπορούσε η ίδια κατάσταση να αναπαριστάνεται από το αντισυμμετρικό διάνυσμα:

$$|\psi_{\text{sin}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow_z\rangle_1 |\downarrow_z\rangle_2 - |\downarrow_z\rangle_1 |\uparrow_z\rangle_2) \otimes (|R\rangle_1 |L\rangle_2 + |L\rangle_1 |R\rangle_2) \quad (4.6)$$

Το διάνυσμα (4.6) περιγράφει μια συζευγμένη κατάσταση τόσο ως προς την κατάσταση του σπιν όσο και ως προς την περιοχή ανίχνευσης του κάθε σωματιδίου. Οι κβαντικές συσχετίσεις που περιγράφονται στην προκειμένη περίπτωση είναι δύο· η μία μας πληροφορεί ότι μετά από την κατάλληλη μέτρηση τα σωματίδια του συστήματος αποκτούν αντίθετο σπιν και η άλλη ότι ο κάθε ανιχνευτής θα ανιχνεύσει ένα και μόνο σωματίδιο. Με βάση τις κβαντικές συσχετίσεις που περιγράφει το διάνυσμα (4.6) συμπεραίνουμε ότι αν μετά από μια τοπική μέτρηση ο εξ

¹⁵⁰ Ανάλογοι συλλογισμοί οδηγούν σε ανάλογα συμπεράσματα και στην περίπτωση σωματιδίων διαφορετικού είδους, δηλαδή σωματιδίων που είναι διακρισίμα, διότι δεν μοιράζονται τις ίδιες εγγενείς ιδιότητες. [Friebe, C., (2014, pp1-2)]

αριστερών ανιχνευτής ανιχνεύσει ένα σωματίδιο με σπιν «άνω», τότε το διάνυσμα (4.6) θα καταρρεύσει είτε στην ιδιοκατάσταση $|\uparrow_z\rangle_1|L\rangle_1|\downarrow_z\rangle_2|R\rangle_2$, είτε στην ιδιοκατάσταση $|\uparrow_z\rangle_2|L\rangle_2|\downarrow_z\rangle_1|R\rangle_1$. Ωστόσο οι καταστάσεις αυτές περιγράφουν μη διακρίσιμα σωματίδια και δεν μπορούν να γίνουν αποδεκτές ως φυσικές καταστάσεις φερμιονίων. Η μία ιδιοκατάσταση προκύπτει από την άλλη μετά από μια αμοιβαία μετάθεση των δεικτών 1 και 2 όμως οι δείκτες δεν έχουν φυσικό νόημα και η αμοιβαία μετάθεσή τους δεν σηματοδοτεί μια νέα κατάσταση. Αυτό σημαίνει ότι το AAM ισχύει και κατάλληλη στατιστική αναδεικνύεται η στατιστική FD, η οποία επιβάλλει την αντισυμμετρικοποίηση της κατάστασης και κατάλληλο διάνυσμα είναι το:

$$|\psi_{sin}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|\uparrow_z\rangle_1|L\rangle_1|\downarrow_z\rangle_2|R\rangle_2 - |\uparrow_z\rangle_2|L\rangle_2|\downarrow_z\rangle_1|R\rangle_1 \right) \quad (4.7)$$

Όμως η κατάσταση (4.7) παρά την αντισυμμετρία της, δεν είναι πλέον συζευγμένη. Η μέτρηση έχει ως αποτέλεσμα το κάθε σωματίδιο να γίνει φορέας ενός συνόλου *σύμμετρων* (commensurable) ιδιοτήτων και να τύχει εξατομικευμένης περιγραφής. Όπως επισημαίνουν οι Grirardi και Marinatto, η αντισυμμετρικοποίηση δεν απαγορεύει την απόδοση ενός πλήρους συνόλου ιδιοτήτων στα μέρη ενός σύνθετου συστήματος και αυτό από μόνο του είναι αρκετό για να πούμε ότι υπάρχουν αντισυμμετρικές καταστάσεις που δεν είναι συζευγμένες.¹⁵¹ Για τον λόγο αυτό οι Ladyman, Linnebo και Bigaj, χαρακτηρίζουν την κατάσταση (4.7) ως μια *ψευδο*-συζευγμένη κατάσταση, εφόσον πρόκειται για δημιούργημα του φορμαλισμού· η αντισυμμετρικοποίηση της γίνεται εξ αιτίας της παρουσίας των δεικτών, οι οποίοι όμως δεν είναι πειραματικά ανιχνεύσιμες μεταβλητές.¹⁵²

Ωστόσο το αίτημα της αντισυμμετρικοποίησης δεν τίθεται, αν ως διάνυσμα αναπαράστασης της singlet κατάστασης, στην οποία αναφερόμαστε, επιλέξουμε το (4.5) και όχι το (4.6). Η επιλογή του διανύσματος (4.5) είναι προτιμότερη, όχι διότι αποφεύγουμε μια άνευ νοήματος συμμετρικοποίηση, αλλά διότι συνιστά μια πλήρη περιγραφή του συστήματος. Το διάνυσμα (4.5), όχι όμως και το (4.6), ενσωματώνει πληροφορίες οι οποίες είναι διαθέσιμες λόγω της προετοιμασίας του συστήματος για μια EPR μέτρηση, ότι δηλαδή στην περιοχή του *L*-ανιχνευτή, όπως και στην περιοχή του *R*-ανιχνευτή, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να ανιχνευτεί ένα ηλεκτρόνιο. Αυτό σημαίνει ότι οι κυματοσυναρτήσεις των δύο σωματιδίων είναι χωρικά περιορισμένες και ο βαθμός αλληλοεπικάλυψής τους είναι αμελητέος. Όμως η ίδια πληροφορία δεν είναι πάντα διαθέσιμη. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα στην περίπτωση των δεσμευμένων ηλεκτρονίων του ατόμου του ηλίου, τα οποία βρίσκονται κι αυτά σε μια κατάσταση μηδενικού σπιν. Οι κυματοσυναρτήσεις τους είναι ισχυρά αλληλεπικαλυπτόμενες και ο μόνος τρόπος να

¹⁵¹ Grirardi, G., - Marinatto, L., (2003) p384

¹⁵² Ladyman, J.- Linnebo, O.,- Bigaj, T., (2013) p216

αναπαραστήσουμε την κατάστασή τους είναι το διάνυσμα (4.6). Βέβαια στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει δυνατότητα μια τοπικής μέτρησης από μακροσκοπικούς παρατηρητές.

Καταλήγουμε έτσι στο συμπέρασμα ότι στα συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* αυτό που δεν επιτρέπει να αποδίδουμε ιδιότητες σε επιμέρους σωματίδια δεν είναι οι συμμετρίες που επιβάλλει το ΑΑΜ αλλά το φαινόμενο της σύζευξης. Έτσι μπορούμε να θεωρούμε ότι στις περιπτώσεις αυτές μετά από μια τοπική μέτρηση τα επιμέρους σωματίδια του συστήματος γίνονται ενεργοί φορείς ιδιοτήτων. Υπό τις συνθήκες αυτές το διάνυσμα (4.7) περιγράφει μια κατάσταση ανάλογη των όμοιων σφαιρών του Black: όπως δεν εκφράζουμε αμφιβολίες για το γεγονός ότι οι σφαίρες του Black καταλαμβάνουν συγκεκριμένες περιοχές του χώρου, οι οποίες απέχουν μεταξύ τους απόσταση ενός μιλίου, έτσι και στην περίπτωση της κατάστασης (4.7) δεν αμφιβάλουμε για το γεγονός ότι το σπιν του συστήματος είναι μηδέν, διότι τα σωματίδιά του βρίσκονται το καθένα σε καταστάσεις με αντίθετο σπιν. Με άλλα λόγια η κατάσταση (4.7) δεν εκφράζει μια κβαντική συσχέτιση πειραματικών αποτελεσμάτων, αλλά μια γνήσια σχέση την οποία αποδίδουμε σε ένα σύνθετο σύστημα και η οποία καθορίζεται πλήρως από τις ιδιότητες των μερών του. Κατόπιν τούτων η ΑΤμΔ ισχύει για την κατάσταση (4.7) αν και μόνο αν ισχύει και για τις όμοιες σφαίρες του Black. Έτσι, αν θεωρούμε ότι η ασθενής διακρισιμότητα εξυπηρετεί το σκοπό της ΑΤμΔ, τότε τόσο τα σωματίδια της κατάστασης (4.7) όσο και οι σφαίρες του Black διαφέρουν αριθμητικά χάριν μιας ποιοτικής διαφοράς και η ΑΤμΔ ισχύει και στις δύο περιπτώσεις. Αν όμως η ασθενής διακρισιμότητα δεν εξυπηρετεί το σκοπό της ΑΤμΔ, διότι δεν μας επιτρέπει να λέμε ποιο σωματίδιο είναι ποιο, τότε η ΑΤμΔ αποτυγχάνει και στις δύο περιπτώσεις. Τα πράγματα όμως περιπλέκονται όταν πρόκειται για συζευγμένες καταστάσεις, διότι τότε ιδιότητες κατέχει μόνο το σύστημα ως όλο. Στην περίπτωση αυτή η λύση προκειμένου η ΑΤμΔ να διασωθεί είναι να υιοθετήσουμε μια ισχυρή εκδοχή ολισμού όπως έχουν υποστηρίξει οι Dieks και Versteegh.

5

Αριθμησιμότητα και Ατομικότητα

Δύο Ξεχωριστές Έννοιες

5.1 Άτομα ή όχι-άτομα; Το δίλημμα της «κυρίαρχης» άποψης

Η στρατηγική με την οποία ξεκινάει η έρευνα γύρω από την εφαρμογή της ΑΤμΔ και τα αποτελέσματα της εφαρμογής της από τους υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης είναι αυτή που η Katherine Hawley ονομάζει *υπεράσπιση μέσω διακρισιμότητας* (discerning defence)¹⁵³: δεχόμαστε καταρχήν ότι σε μια δεδομένη κατάσταση υπάρχουν δύο ή περισσότερα αντικείμενα και διερευνούμε αν αυτά είναι με κάποιο τρόπο διακρίσιμα. Για τους υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης το συμπέρασμα είναι ότι στα κβαντικά συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* τα σωματίδια είναι από κάθε άποψη μη διακρίσιμα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην οριστική διάψευση της ΑΤμΔ, εφόσον για την «κυρίαρχη» άποψη η αριθμητική διαφορά των σωματιδίων δεν αμφισβητείται. Ανοίγει όμως μετά από αυτό ένα νέο πεδίο διαλόγου στους κόλπους της «κυρίαρχης» άποψης. Τι σημαίνει για τη μεταφυσική συγκρότηση των κβαντικών σωματιδίων η μη διακρισιμότητά τους; Σε συνθήκες μη διακρισιμότητας είναι μεταφυσικά αδύνατο να ξεχωρίσουμε κάποιο σωματίδιο και να πούμε κάτι που να ισχύει γι αυτό και μόνο γι αυτό. Αυτό με άλλα λόγια σημαίνει ότι τα σωματίδια είναι αδύνατον να εξατομικευθούν και άρα οι συνθήκες μη διακρισιμότητας είναι επίσης και συνθήκες έλλειψης ταυτότητας των σωματιδίων. Απέναντι στο δεδομένο αυτό από την πλευρά της «κυρίαρχης» άποψης υπάρχουν δύο εναλλακτικοί τρόποι αντίδρασης, οι οποίοι όμως εδράζονται σε μια κοινή αντίληψη περί ατομικότητας: η ατομικότητα είναι *εγγενές* χαρακτηριστικό των αντικειμένων και ως εκ τούτου τα κβαντικά σωματίδια ή είναι *οχι-άτομα* (non-individuals) ή είναι *άτομα* (individuals).

Ας πάρουμε τον πρώτο τρόπο αντίδρασης και ας πούμε ότι τα κβαντικά σωματίδια *δεν* είναι άτομα. Τι σημαίνει όμως για ένα σωματίδιο να μην είναι άτομο; Οι Arenhart και Krause, οι οποίοι συντάσσονται με αυτή την εκδοχή, απαντούν λέγοντας ότι τα κβαντικά σωματίδια δεν είναι άτομα, διότι «... δεν εμφανίζουν συνθήκες ταυτότητας με την εξής έννοια: άπαξ και απομονωθούν να διατηρήσουν την ατομικότητά τους για πάντα...»¹⁵⁴. Δεν είναι ωστόσο ξεκάθαρο τι εννοούν οι Arenhart και Krause όταν λένε ότι τα κβαντικά σωματίδια δεν *εμφανίζουν* (present) συνθήκες ταυτότητας. Σίγουρα δεν εννοούν ότι τα σωματίδια δεν «(κατ)έχουν» συνθήκες ταυτότητας για να τις εμφανίσουν, διότι οι συνθήκες δεν είναι κάτι που μπορούν να κατέχονται από οτιδήποτε· είναι καταστάσεις οι οποίες είτε *επικρατούν* είτε *διαμορφώνονται* για έναν ειδικό

¹⁵³ Hawley, K., (2009), p108

¹⁵⁴ Arenhart, J., R., B., - Krause, D. (2014) p278

σκοπό σε ορισμένο χώρο και χρόνο και αποτελούν το πλαίσιο εκδήλωσης των γεγονότων. Επομένως αυτό που μπορούμε να πούμε για τις συνθήκες ταυτότητας μιας οντότητας είναι είτε ότι τέτοιες συνθήκες δεν υπάρχουν γενικά, είτε ότι η εν λόγω οντότητα δεν βρίσκεται σε συνθήκες ταυτότητας. Όταν όμως λέμε ότι για μια οντότητα δεν υπάρχουν γενικά συνθήκες ταυτότητας, σημαίνει ότι δεν υπάρχουν συνθήκες υπό τις οποίες αυτή θα μπορούσε να απομονωθεί και να γίνει αντικείμενο παρατήρησης. Από μεταφυσική σκοπιά δεν αποκλείεται τέτοιες οντότητες να υπάρχουν. Ένα *γυμνό καθέκαστο* (bare particular) για παράδειγμα που εισάγεται σε διάφορα μεταφυσικά σχήματα είναι μια τέτοιας μορφής οντότητα. Ωστόσο τα κβαντικά σωματίδια δεν ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Για κάθε κβαντικό σωματίδιο υπάρχουν συνθήκες στις οποίες είναι δυνατόν να απομονωθεί και να αναγνωρισθεί ως σωματίδιο κάποιου είδους. Οι συνθήκες αυτές καθορίζονται από το είδος του σωματιδίου και όλα τα καθέκαστα σωματίδια του ίδιου είδους μοιράζονται τις ίδιες συνθήκες ταυτότητας. Απομένει συνεπώς να πούμε ότι τα κβαντικά σωματίδια δεν είναι άτομα, διότι δεν βρίσκονται πάντα σε συνθήκες ταυτότητας. Τι θα συμβεί όμως όταν για ένα σωματίδιο προκύψουν ή δημιουργηθούν συνθήκες ταυτότητας; Δεν θα πρέπει για λόγους συνέπειας να εξακολουθούν να θεωρούνται *οχι-άτομα* (non-individuals) παρά την εξατομικευμένη συμπεριφορά; Ως προς αυτό οι Arenhart και Krause θεωρούν κίβδηλη¹⁵⁵ την ατομικότητα που επιδεικνύουν σε συνθήκες ταυτότητας τα κβαντικά σωματίδια και άρα ανεξαρτήτως συμπεριφοράς θα πρέπει να θεωρούνται *οχι-άτομα*. Δηλαδή η έλλειψη ατομικότητας είναι εγγενές χαρακτηριστικό των σωματιδίων, τα οποία πρέπει να θεωρούνται *οχι-άτομα* σε όλες τις συνθήκες.

Ο δεύτερος τρόπος αντίδρασης απέναντι στη μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων είναι να πούμε ότι παρά τη μη διακρισιμότητά τους τα σωματίδια είναι άτομα. Στην περίπτωση αυτή η ατομικότητα εκλαμβάνεται και πάλι ως ένα εγγενές χαρακτηριστικό των σωματιδίων, το οποίο διαφέρει από τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά και δεν ανάγεται σε κάποιο από αυτά. Η *πρωταρχική αυτότητα* (primitive thisness) ως η κατά κάποιο τρόπο ιδιότητα κάθε αντικειμένου να ταυτίζεται με τον εαυτό του και το *υπόστρωμα* (substratum) εν είδει γυμνού καθέκαστου στο οποίο εμφυτεύονται οι ιδιότητες των αντικειμένων είναι αυτά που προτείνονται συνήθως ως εξήγηση της ατομικότητας. Κοινό γνώρισμά τους είναι το γεγονός ότι είναι απροσπέλαστες από την εμπειρία και το εύλογο ερώτημα είναι γιατί θα πρέπει να επιβαρύνουμε την οντολογία μας με τέτοιου είδους οντότητες. Η αποτυχία της ΑΤμΔ είναι ο κύριος λόγος που ωθεί σε τέτοιου είδους εξηγήσεις. Εφόσον στη φύση υπάρχουν αριθμητικές διαφορές, οι οποίες δεν ανάγονται σε ποιοτικές, θα πρέπει να αναζητήσουμε την εξήγησή τους σε κάτι πέραν των ποιοτήτων. Τα κβαντικά σωματίδια δίνουν ένα τέτοιο παράδειγμα, διότι αν και σε πολλές περιπτώσεις είναι μη

¹⁵⁵ Arenhart, J., R., B., - Krause, D. (2014) p278

διακρίσιμα, υπάρχουν πάντα ως αριθμήσιμες οντότητες. Έτσι η αριθμησιμότητα αναδεικνύεται σε καθοριστικό στοιχείο για μια τέτοια μεταφυσική θεώρηση και δεν εκλείπουν οι απόψεις σύμφωνα με τις οποίες η αριθμητική διαφορά αποτελεί ικανή συνθήκη ατομικότητας.¹⁵⁶

Ωστόσο φαίνεται ότι αυτού του είδους η αντιμετώπιση δημιουργεί μια αντίφαση στους κόλπους της «κυρίαρχης» άποψης. Οι French και Redhead χρεώνουν την αποτυχία της ΑΤμΔ στο γεγονός ότι δεν υπάρχει πάντα ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό (ιδιότητα ή σχέση) που να δημιουργεί συνθήκες ταυτότητας για τα σωματίδια ενός συστήματος ώστε να μας επιτρέπει να λέμε ποιο σωματίδιο είναι ποιο και άρα η ΑΤμΔ αποτυγχάνει ως αρχή ατομικότητας. Παρόλα αυτά είδαμε ότι οι French και Redhead δεν αποκλείουν το ενδεχόμενο να υπάρχει κάποια άλλη αρχή, στην οποία να αποδώσουμε την ατομικότητα των κβαντικών σωματιδίων.¹⁵⁷ Αν όμως ζητούμενο από μια υποτιθέμενη αρχή ατομικότητας είναι να εξασφαλίζει ότι τα σωματίδια βρίσκονται πάντα σε συνθήκες ταυτότητας, τότε είναι φανερό ότι η αριθμητική διαφορά από μόνη της δεν παρέχει κάποιο τεκμήριο ταυτότητας που να δικαιολογεί την αναζήτηση μιας αρχής ατομικότητας. Με άλλα λόγια αν η ΑΤμΔ αποτυγχάνει ως αρχή ατομικότητας, διότι τα κβαντικά σωματίδια στα συστήματα πολλών-όμοιων-σωματιδίων δεν υπάρχουν σε συνθήκες ταυτότητας, τότε θα αποτυγχάνει κάθε άλλη αρχή ατομικότητας, εφόσον η έλλειψη συνθηκών ταυτότητας στις περιπτώσεις αυτές είναι ένα στοιχείο της κβαντομηχανικής περιγραφής που δεν αμφισβητείται. Αν παρόλα αυτά κάποιος επιμένει ότι είναι δυνατόν να υπάρχει μια άλλη αρχή ατομικότητας, θα πρέπει να αποδεχθεί ότι αυτή δεν εξασφαλίζει πάντα συνθήκες ταυτότητας για τα κβαντικά σωματίδια, όμως τότε είναι φανερό ότι έχουν εκλείψει πλέον οι λόγοι για τους οποίους είχε απορρίψει την ΑΤμΔ ως αρχή ατομικότητας. Ο ίδιος βέβαια έχει ως εναλλακτική να επικαλεσθεί τη μη πληρότητα της κβαντομηχανικής περιγραφής, λέγοντας ότι οι νόμοι και τα αξιώματά της αδυνατούν να συλλάβουν την εξατομικευμένη συμπεριφορά των σωματιδίων της. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση όμως η θεώρησή του προσβλέπει σε μια θεωρία κρυμμένων μεταβλητών, η οποία όχι μόνο υπερβαίνει, αλλά έχει αποδειχθεί και ασύμβατη με την κβαντική μηχανική.¹⁵⁸ Παραμένοντας όμως με την κβαντική μηχανική, αυτός που θα απορρίψει την ΑΤμΔ ως αρχή ατομικότητας, επειδή δεν εξασφαλίζει συνθήκες ταυτότητας για τα κβαντικά σωματίδια, θα πρέπει να απορρίψει και κάθε άλλη υποψήφια αρχή· όμως τότε η μόνη διαθέσιμη μεταφυσική είναι αυτή που θεωρεί τα κβαντικά σωματίδια οχι-άτομα.

Εντούτοις η ΑΤμΔ δεν κρίνεται μόνο ως αρχή ατομικότητας. Στην πραγματικότητα η κριτική που δέχθηκε η «εναλλακτική» άποψη αφορά την αποτυχία της ΑΤμΔ να εξηγήσει την αριθμητική διαφορά των κβαντικών σωματιδίων και όχι να τα εξατομικεύσει. Τόσο οι van

¹⁵⁶ Blake, M., R., (1927, Dorato, M.,-Morgranti, M., (2011), Friebe, C., (2014)

¹⁵⁷ Redhead, M.,-French, S., (1988) p244

¹⁵⁸ Παναγιωτάτου, Μ., (2012) σελ.44-58, 59-67

Fraassen και Peschard (2008) όσο και οι Ladyman και Bigaj (2009), αμφισβητούν ότι η ΑΤμΔ θα μπορούσε να αναλάβει ακόμα και ένα τέτοιο ρόλο και το κεντρικό στοιχείο των επιχειρημάτων τους είναι το γεγονός ότι στις συζευγμένες καταστάσεις τα σωματίδια πέρα των εγγενών, ως προς τις οποίες είναι όμοια, δεν φέρουν άλλες ιδιότητες δυναμικού χαρακτήρα που θα βοηθούσαν στη διάκρισή τους. Θα μπορούσαμε, παρόλα αυτά, να κάνουμε έναν ελιγμό και να πούμε ότι η αποτυχία της ΑΤμΔ ακόμα και σε αυτό τον ρόλο δεν σημαίνει απαραίτητα ότι τα κβαντικά σωματίδια δεν είναι άτομα και να δεχθούμε ως εξήγηση της ατομικότητάς τους οτιδήποτε θα εξηγούσε και την αριθμητική τους διαφορά. Τότε όμως η ατομικότητα καθίσταται ανεξάρτητη των συνθηκών, που σημαίνει ότι τα αντικείμενα είναι άτομα ανεξάρτητα από το αν υπάρχουν ή όχι σε συνθήκες ταυτότητας, το οποίο με τη σειρά του τροποποιεί σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε την ατομικότητα. Στην περίπτωση αυτή η ατομικότητα αφορά την ικανότητα των αντικειμένων να υπάρχουν πρωτίστως ως αριθμήσιμες οντότητες και δευτερευόντως σε συνθήκες ταυτότητας. Αν αυτό γίνει αποδεκτό, μπορούμε πράγματι να μιλήσουμε για εναλλακτικές αρχές ατομικότητας, όπως η πρωταρχική αυτότητα ή το υπόστρωμα των ιδιοτήτων.

5.2 Η ατομικότητα ως τρόπος ύπαρξης σε συνθήκες ταυτότητας

Υπάρχουν ορισμένες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση των δύο αντίθετων αντιλήψεων, οι οποίες θέλουν τα κβαντικά σωματίδια να είναι είτε άτομα, είτε οχι-άτομα. Καταρχήν να διευκρινίσουμε ότι είναι ένα πράγμα να λέει κάποιος ότι η ατομικότητα είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό των αντικειμένων, το οποίο επιβάλλεται στις συνθήκες ώστε όλες οι συνθήκες να είναι συνθήκες ταυτότητας γι αυτά και άλλο να λέει ότι η ατομικότητα είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό των αντικειμένων, το οποίο εκδηλώνεται ως εξατομικευμένη συμπεριφορά, όταν και μόνο όταν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες ταυτότητας. Ωστόσο θεωρούμε ότι καμιά από τις δύο αντιλήψεις περί ατομικότητας δεν ανταποκρίνεται στην κβαντομηχανική περιγραφή και θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε το γιατί. Παρά το γεγονός ότι για κάθε είδος κβαντικών σωματιδίων υπάρχουν καθορισμένες συνθήκες όπου αυτά επιδεικνύουν εξατομικευμένη συμπεριφορά, η συμπεριφορά αυτή αντιμετωπίζεται από κοινού, είτε τα κβαντικά σωματίδια θεωρούνται άτομα είτε οχι-άτομα, ως δευτερεύον δεδομένο της κβαντομηχανικής περιγραφής στις κρίσεις περί ατομικότητας. Έτσι τα κβαντικά σωματίδια από τη μια μεριά είναι οχι-άτομα παρά το γεγονός ότι σε ορισμένες συνθήκες επιδεικνύουν εξατομικευμένη συμπεριφορά και από την άλλη είναι άτομα παρόλο που σε πολλές περιπτώσεις δεν συμπεριφέρονται ως τέτοια.

Γίνεται ως εκ τούτου μια διάκριση μεταξύ ατομικότητας και εξατομικευμένης

συμπεριφοράς: η ατομικότητα δεν σημαίνει πάντα εξατομικευμένη συμπεριφορά και αντίστροφα η εξατομικευμένη συμπεριφορά δεν προϋποθέτει την ατομικότητα. Είναι όμως δικαιολογημένη μια τέτοια διάκριση; Θεωρούμε πως όχι. Σε όσους υποστηρίζουν ότι τα κβαντικά σωματίδια είναι οχι-άτομα και θεωρούν ότι η εξατομικευμένη συμπεριφορά που ενίοτε επιδεικνύουν δεν οφείλεται σε κάτι εγγενές αλλά είναι δημιούργημα των συνθηκών, έχουμε να πούμε ότι η εξατομικευμένη συμπεριφορά είναι καθαρά και πάντα θέμα συνθηκών. Συμβαίνει όμως οι επικρατούσες συνθήκες στον πλανήτη Γη να μην είναι και συνθήκες ταυτότητας για τα κβαντικά σωματίδια! Οι συνθήκες αυτές μπορούν μόνο να δημιουργηθούν, κάτι που γίνεται για παράδειγμα στους μεγάλους επιταχυντές όπου τα υψηλής ενέργειας σωματίδια συμπεριφέρονται ως άτομα και προκαλούν εξατομικευμένα συμβάντα. Θα μπορούσαμε άραγε να αποκλείσουμε ότι υπάρχουν άλλες περιοχές στο σύμπαν όπου οι επικρατούσες συνθήκες είναι και συνθήκες ταυτότητας έστω κάποιων κβαντικών σωματιδίων; Κι αν επιπλέον υποθέσουμε ότι στις περιοχές αυτές υπήρχαν νόες δεν θα ήταν αναμενόμενο αυτοί να αντιλαμβάνονται και να χαρακτηρίζουν τα κβαντικά σωματίδια ως άτομα;

Τα παραπάνω ερωτήματα έχουν γνήσιο φιλοσοφικό ενδιαφέρον και χρήζουν απαντήσεων, διότι κατά την αναζήτηση της κατάλληλης μεταφυσικής δεν θα πρέπει να μας διαφεύγει ότι η εικόνα που ως γήινοι νόες έχουμε για τον κόσμο διαμορφώνεται μέσα στις γήινες συνθήκες και θα πρέπει να είμαστε σε θέση να σκεφτούμε τι θα συνέβαινε πέρα από τις συνθήκες αυτές. Ο Toraldo di Francia μας υπενθυμίζει αυτό που επανειλημμένα έλεγε ο Quine, ότι δηλαδή για το ανθρώπινο είδος το μόνο τεκμήριο για την ύπαρξη των φυσικών αντικειμένων είναι το γεγονός ότι υποθέτοντας την ύπαρξή τους καταφέρνουμε να οργανώνουμε καλύτερα την εμπειρία. Επισημαίνει δε ότι η γήινη ζωή γεννήθηκε και εξελίσσεται σε πολύ ιδιαίτερες για το σύμπαν συνθήκες, οι οποίες επιτρέπουν στην ύλη να υπάρχει σε στερεή μορφή με αποτέλεσμα όταν σκεφτόμαστε γύρω από φυσικά αντικείμενα αυτό που συνήθως έχουμε στον νου μας είναι ένα στερεό σώμα. Είναι συνεπώς εύλογο να οργανώνουμε την εμπειρία ώστε να ταιριάζει με αυτήν την κατάσταση. Αν όμως χάριν του επιχειρήματος υποθέσουμε ότι υπήρχαν νόες στην επιφάνεια του ήλιου είναι αμφίβολο αν αυτοί είχαν κάποια ιδέα για το τι είναι στερεό σώμα και εύλογα θα ανέπτυσαν ένα τελείως διαφορετικό τρόπο οργάνωσης των αισθητηριακών τους δεδομένων.¹⁵⁹ Για τους υποτιθέμενους κατοίκους του ήλιου το φαινόμενο της πυρηνικής σύντηξης για παράδειγμα θα ήταν μάλλον ένα από τα πλέον οικεία φαινόμενα και η περιγραφή των πρωτονίων ως αντικείμενα, τα οποία καθώς κινούνται στις τροχιές τους συγκρούονται και συντήκονται σε σωματίδια α (He^{2+}), θα θεωρούνταν ο συνήθης τρόπος ύπαρξής τους. Αντίθετα η κυματική συμπεριφορά των πρωτονίων, η οποία εκδηλώνεται σε συνθήκες εξαιρετικά χαμηλής

¹⁵⁹ Toraldo di Francia, G., (1998), pp23-4

για τα δεδομένα του ήλιου θερμοκρασίας δεν θα ήταν δυνατόν να παρατηρηθεί παρά μόνο αν οι συνθήκες αυτές δημιουργούνταν γι αυτόν ακριβώς το σκοπό και ίσως κάποιοι εκεί στον ήλιο να μιλούσαν τότε για την «κίβδηλη» κυματικότητα των πρωτονίων!

Από την άλλη μεριά σε αυτούς που υποστηρίζουν ότι τα κβαντικά σωματίδια λόγω της αριθμησιμότητάς τους και μόνο είναι άτομα παρόλο που δεν επιδεικνύουν πάντα ανάλογη συμπεριφορά, λέμε ότι παραβλέπουν το γεγονός ότι η εξατομικευμένη συμπεριφορά είναι αυτή που δημιουργήσε τα δεδομένα προκειμένου να συλλάβουμε και να ορίσουμε την έννοια της ατομικότητας και για τον λόγο αυτό είναι τουλάχιστον παράξενο να μην καθορίζει εξ ολοκλήρου και την εφαρμογή της. Με άλλα λόγια η θεώρηση που θέλει την ατομικότητα να αποτυπώνεται απλά στην ικανότητα των αντικειμένων να εμφανίζονται πάντα ως αριθμήσιμες οντότητες χωρίς να επιβάλλει σε αυτά ό,τι καθιερωμένα θεωρείται εξατομικευμένη συμπεριφορά, συνιστά εκφυλισμό της έννοιας, διότι αφαιρεί από αυτήν κάτι που είναι ουσιαστικό. Για να αποφύγουμε ένα τέτοιο εκφυλισμό θα πρέπει να κρατήσουμε την ατομικότητα και την αριθμησιμότητα ως δύο διαφορετικές έννοιες που συλλαμβάνουν δύο διαφορετικές πτυχές της φύσης των αντικειμένων και έχουν διαφορετικές συνέπειες: η αριθμησιμότητα επιτρέπει σε μια οντότητα να αποτελεί μέλος μια συλλογής ακόμα και μη διακρίσιμων οντοτήτων ενώ η ατομικότητα είναι τρόπος ύπαρξης κάθε οντότητας που βρίσκεται σε συνθήκες συγχρονικής και διαχρονικής ταυτότητας, δηλαδή συνθήκες στις οποίες μπορούμε να την ξεχωρίζουμε μεταξύ άλλων μια δεδομένη χρονική στιγμή και να την αναγνωρίζουμε ως την ίδια οντότητα κάποια επόμενη χρονική στιγμή. Τα δεδομένα που δημιουργεί η κβαντική μηχανική συνηγορούν υπέρ αυτού του διαχωρισμού, διότι μας δείχνουν ότι υπάρχουν καταστάσεις που συγκροτούνται από ένα αριθμήσιμο πλήθος σωματιδίων, τα οποία ωστόσο δεν επιδεικνύουν εξατομικευμένη συμπεριφορά ή ότι οι συνθήκες υπό τις οποίες δημιουργούνται αυτές οι καταστάσεις δεν είναι και συνθήκες ταυτότητας των σωματιδίων. Είναι ως εκ τούτου σημαντικό να κατανοήσουμε ότι η έλλειψη συνθηκών ταυτότητας καθιστά ανεφάρμοστη την έννοια της ατομικότητας χωρίς όμως να ακυρώνει την αριθμησιμότητα των σωματιδίων.

5.3 Η αριθμησιμότητα των κβαντικών σωματιδίων: Εξηγητέα ή Πρωταρχική;

Η εξήγηση της αριθμητικής διαφοράς παρά τις διαφονίες γύρω από την τελική της στόχευση παραμένει ένα ζητούμενο, παραμένει δηλαδή το ερώτημα αν η αριθμητική διαφορά των κβαντικών σωματιδίων κρίνεται/εξηγείται με ποιοτικούς όρους ή αν αποτελεί πρωταρχικό και μη αναγώγιμο δεδομένο της κβαντομηχανικής περιγραφής. Στα συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* οι συμμετρίες που τα χαρακτηρίζουν περιορίζουν σημαντικά τη δυνατότητα οι αριθμητικές διαφορές να ανάγονται σε ποιοτικές, εφόσον στις περιπτώσεις αυτές η μόνη μορφή

διακρισιμότητας που είναι διαθέσιμη είναι η ασθενής. Όμως η σχέση όπου στηρίζεται η ασθενής διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων κατηγορείται ως μια απλή μορφή συσχέτισης πειραματικών αποτελεσμάτων που δεν αφορά ενεργά συσχετιζόμενα. Αν όμως η αναγωγή της αριθμητικής διαφοράς σε ποιοτική δεν είναι και πάλι δυνατή, η ΑΤμΔ αποτυγχάνει για άλλη μια φορά. Η αποτυχία της ΑΤμΔ για ορισμένους ερευνητές, όπως οι Dieks και Versteegh, σημαίνει την απόρριψη της αριθμητικής διαφοράς υπέρ μιας ισχυρής ολιστικής θεώρησης, την οποία όμως μπορούμε να αποφύγουμε είτε προτείνοντας μια εξήγηση, η οποία δεν στηρίζεται σε κάτι εγγενές αλλά χρησιμοποιεί σχέσεις που αποδίδονται στο σύστημα ως όλο και που διαμορφώνονται λόγω της πληθικότητας που το χαρακτηρίζει, είτε αντιμετωπίζοντας την αριθμητική διαφορά ως ένα *πρωταρχικό* (primitive), γεγονός το οποίο βλέπουμε να αποτυπώνεται στον πληθικό αριθμό κάθε συστήματος *πολλών-όμοιων-σωματιδίων*.

5.3.1 Η αριθμησιμότητα εντός ενός πλαισίου - Πλαισιακότητα

Η ιδέα ότι η ατομικότητα είναι εγγενές χαρακτηριστικό των αντικειμένων ότι δηλαδή είναι κάτι που ανήκει στο αντικείμενο δεν αμφισβητήθηκε για ένα μακρύ χρονικό διάστημα. Ο διάλογος γύρω από την ατομικότητα αφορούσε κυρίως τα συγκριτικά πλεονεκτήματα (ή μειονεκτήματα) της θεμελίωσής της είτε σε μεταφυσικές υποθέσεις (haecceity / πρωταρχική αυτότητα) είτε σε ποιοτικές διαφορές που θα εγγυώνται τη μοναδικότητα των αντικειμένων. Οι ιδιαιτερότητες των κβαντικών σωματιδίων διεύρυναν το πεδίο του διαλόγου αφήνοντας χώρο σε καινούργιες πιο ανατρεπτικές ιδέες, οι οποίες στράφηκαν ενάντια σε παγιωμένες αντιλήψεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πρόγραμμα του *Οντικού Δομικού Ρεαλισμού-ΟΔΡ* (Ontic Structural Realism),¹⁶⁰ το οποίο επεκτείνει σε οντολογικό επίπεδο τον βασικό ισχυρισμό του *Επιστημικού Δομικού Ρεαλισμού-ΕΔΡ* (Epistemic Structural Realism)¹⁶¹. Ξεκινώντας από τη μεταφυσική θέση του επιστημονικού ρεαλισμού¹⁶², η οποία θέλει την επιστημονική γνώση να αποτελεί γνώση μιας ανεξάρτητης του νου πραγματικότητας, ο οντικός και επιστημικός δομικός ρεαλισμός βάζουν όρια στη γνώσιμη πλευρά της πραγματικότητας λέγοντας ότι το μόνο που μπορούμε να γνωρίσουμε είναι η *δομή* (structure). Ενώ όμως ο ΕΔΡ δέχεται ότι στο κόσμο μπορεί να υπάρχει και κάτι πέραν της δομής, το οποίο δεν μπορούμε να γνωρίσουμε, ο ΟΔΡ απορρίπτει ότι κάτι τέτοιο είναι δυνατό και αποφαινεται ότι στο κόσμο δεν υπάρχει τίποτα πέραν της δομής. Κίνητρο για το δομικό ρεαλισμό (οντικό και επιστημικό) υπήρξε το γεγονός ότι η επιστήμη δεν λέει τίποτε για την εγγενή φύση των αντικειμένων και ότι μπορεί μόνο να φανερώνει σχεσιακές ιδιότητες και σχέσεις μεταξύ αυτών. Αν όμως η εγγενής φύση των

¹⁶⁰ Ladyman, J., (1998)

¹⁶¹ Worrall, J., (1989)

¹⁶² Psillos, S., (1999), p xix

αντικειμένων είναι επιστημικά απροσπέλαστη, τότε δεν υπάρχει a priori τρόπος να αποδείξει κάποιος ότι τα αντικείμενα διαθέτουν μια τέτοια πλευρά. Κατόπιν τούτου ο ΟΔΡ, σε αντίθεση με τον ΕΔΡ, ο οποίος θεωρεί ότι η εγγενής φύση των αντικειμένων είναι απλώς μη γνώσιμη, διατείνεται ότι τα αντικείμενα δεν διαθέτουν εγγενή χαρακτηριστικά, είτε γιατί δεν υπάρχουν αντικείμενα (εξαλειπτικός (eliminative) ΟΔΡ), είτε γιατί υπάρχουν μεν αλλά μόνο ως θέσεις εντός μιας δομής (ανασκευαστικός (reconstructive) ΟΔΡ), κόμβοι πάνω σε ένα πλέγμα οντολογικά πρότερων σχέσεων.¹⁶³

Εργαζόμενος στο πλαίσιο του ανασκευαστικού ΟΔΡ, ο Ladyman απορρίπτει κάθε ιδέα περί εγγενούς ατομικότητας όπως άλλωστε απορρίπτει και κάθε άλλο εγγενές χαρακτηριστικό των αντικειμένων.¹⁶⁴ Αντ' αυτού υποστηρίζει ότι η ταυτότητα και η διαφορά των αντικειμένων εξηγούνται από τη θέση τους εντός της δομής στην οποία ανήκουν και γι αυτό η ατομικότητά τους είναι πλαισιακή. Έτσι όταν δίνεται η δομή ενός φυσικού συστήματος, ήτοι το πλέγμα των σχέσεων που το συγκροτούν, μπορούμε να γνωρίζουμε τον αριθμό των αντικειμένων/θέσεων της εν λόγω δομής χωρίς να επικαλεσθούμε οτιδήποτε εγγενές. Η ασθενής διακρισιμότητα είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα πλαισιακής ατομικότητας, διότι όταν εφαρμόζεται σε μια δομή, η μη ανακλαστικότητα της σχέσης μπορεί από μόνη της να βεβαιώσει την ύπαρξη δύο αντικειμένων/θέσεων στη δομή χωρίς οποιαδήποτε αναφορά στο ειδικό περιεχόμενο της.

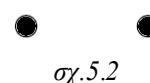
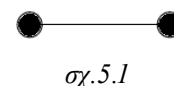
Όμως η πλαισιακή ατομικότητα δεν είναι συμβατή μόνο με την ασθενή διακρισιμότητα. Υπάρχουν δομές στις οποίες είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν τόσο η σχετική όσο και η απόλυτη κατά Quine διακρισιμότητα. Ο Ladyman επιχειρεί να στοιχειοθετήσει τον ισχυρισμό του καταφεύγοντας σε παραδείγματα από τη *Θεωρία Γραφημάτων* (Graph Theory), τα οποία επιβεβαιώνουν την ύπαρξη μαθηματικών δομών που είναι συμβατές με όλες τις κατά Quine βαθμίδες διακρισιμότητας.¹⁶⁵ Το πιο ενδιαφέρον στοιχείο όμως που αναδύεται από τη μελέτη των *γραφημάτων* (graphs) είναι η ύπαρξη (τουλάχιστον) μαθηματικών δομών, των οποίων τα αντικείμενα δεν είναι καν ασθενώς διακρίσιμα. Το γεγονός αυτό κατά τον Ladyman είτε αναδεικνύει μια σημαντική διαφορά μεταξύ μαθηματικών και φυσικών αντικειμένων, είτε παρέχει λόγους για να υποστηρίξει κάποιος ότι στη φύση ίσως να υπάρχουν αντικείμενα, τα οποία δεν είναι με κανένα τρόπο διακρίσιμα.

¹⁶³ Πέραν του εξαλειπτικού και ανασκευαστικού ΟΔΡ ο Psillos αναφέρει δύο επιπλέον διαθέσιμες ερμηνείες: τον *μορφικό* (formal) ΟΔΡ όταν τα αντικείμενα ανασκευασμένα εντός της δομής εκλαμβάνονται ως μαθηματικά αντικείμενα και τον *ήμι-μορφικό* (semiformal) ΟΔΡ όταν μόνο τα μη παρατηρήσιμα ανασκευασμένα εντός της δομής αντικείμενα είναι μαθηματικά αντικείμενα. [Psillos, S., (2006) p561]

¹⁶⁴ Ο Ladyman (2007) δεν διακρίνει τις έννοιες της ατομικότητας και της αριθμησιμότητας. Θεωρεί ότι σε μια δεδομένη κατάσταση είμαστε σε θέση να αριθμούμε αντικείμενα διότι συμβαίνει αυτά να είναι άτομα. Συνεπώς για τον Ladyman, η ατομικότητα δεν συνδέεται κατ' ανάγκη με κάποιο συγκεκριμένο τρόπο συμπεριφοράς και ότι η εξήγησή της ισοδυναμεί με την εξήγησή της αριθμησιμότητας.

¹⁶⁵ Ladyman, J., (2007), pp33-7, Ladyman, J.,-Linnebo, Ø.,- Pettigrew, R., (2011) pp9-10

Παράδειγμα γραφήματος όπου βρίσκει εφαρμογή η ασθενής διακρισιμότητα είναι ένα μη προσανατολισμένο γράφημα, το οποίο περιλαμβάνει δύο κόμβους και μία ακμή (σχ.5.1). Το γράφημα επιδέχεται ένα μη τετριμμένο αυτομορφισμό και άρα είναι συμμετρικό: η αμοιβαία μετάθεση των κόμβων του αφήνει τη δομή του γραφήματος αναλλοίωτη. Οι δύο κόμβοι του είναι ασθενώς διακρίσιμοι χάριν της θέσης τους στη συγκεκριμένη δομή, διότι ικανοποιούν τη συμμετρική και μη ανακλαστική σχέση «το συνδέεται με το μέσω μιας ακμής». Από την άλλη μεριά το γράφημα του σχήματος 5.2 περιλαμβάνει δύο ασύνδετους κόμβους και είναι επίσης συμμετρικό. Στην περίπτωση αυτή οι δύο κόμβοι δεν είναι ούτε καν ασθενώς διακρίσιμοι και ίσως κάποιος να πουν ότι ισχυρισμοί γύρω από την ταυτότητα ή τη διαφορά των κόμβων στην περίπτωση αυτή είναι εντελώς αβάσιμοι. Για τον Ladyman όμως δεν υπάρχει ανάγκη η ταυτότητα ή η διαφορά δύο αντικειμένων να θεμελιώνεται κάπου. Θεωρεί ότι «η ταυτότητα και η διαφορά των κόμβων περιλαμβάνεται μεταξύ των σχέσεων που οι κόμβοι του γραφήματος φέρουν ο ένας με τον άλλο» και ότι: «δεν μπορούν να εξηγηθούν από οτιδήποτε πέραν της ίδιας της δομής του γραφήματος»¹⁶⁶.



Από τα παραδείγματα της θεωρίας γραφημάτων, που ο Ladyman παραθέτει με σκοπό να ενισχύσει το επιχείρημά του υπέρ της πλαισιακής ατομικότητας, εντοπίζουμε τα δύο βασικά σημεία που εξυπηρετούν αυτό το σκοπό. Το πρώτο σημείο αφορά τη διακρισιμότητα των αντικειμένων, η οποία είναι δυνατόν να κριθεί με βάση αποκλειστικά και μόνο τη θέση τους στη δομή που ανήκουν και στη διαδικασία αυτή δεν εμπλέκονται εγγενή χαρακτηριστικά τους. Το δεύτερο σημείο αφορά τις περιπτώσεις όπου η ταυτότητα και η διαφορά των αντικειμένων προβλέπεται και πάλι από τη δομή του γραφήματος και καμιά μορφή διακρισιμότητας δεν απαιτείται για τη θεμελίωσή τους. Κατόπιν τούτων ο Ladyman εκφράζει την προτίμησή του στην πλαισιακή ατομικότητα, διότι είναι συμβατή με όλες τις παραδοσιακές μορφές διακρισιμότητας, τις οποίες μπορούμε να επικαλούμαστε για να εξηγήσουμε την αριθμητική διαφορά μεταξύ αντικειμένων, ενώ ταυτόχρονα αποφεύγει τις δυσκολίες στις οποίες οδηγεί η εγγενής ατομικότητα, όταν κάθε προσπάθεια θεμελίωσης της σε ποιοτικές ιδιότητες και σχέσεις αποτυγχάνει.¹⁶⁷

¹⁶⁶ Ladyman, J., (2007), p35

¹⁶⁷ Αν δύο αντικείμενα μοιράζονται τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά τότε για τη δικαιολόγησή της αριθμητικής διαφοράς (ή ατομικότητας κατά τον Ladyman), θα χρειάζεται η επίκληση μεταφυσικών και εμπειρικά απροσπέλαστων παραγόντων όπως η *πρωταρχική αυτότητα* (haecceity). Το γεγονός αυτό θα είχε όμως ορισμένες ανεπιθύμητες συνέπειες, διότι αν τα αντικείμενα διαθέτουν πρωταρχική αυτότητα τότε μετά από κάθε αμοιβαία μετάθεση δύο μη διακρίσιμων αντικειμένων πρέπει να προκύπτει μια νέα κατάσταση η οποία θα είναι μη διακρίσιμη από την αρχική. Τότε όμως παραβιάζεται το ΑΑΜ το οποίο οφείλουν να ικανοποιούν τα όμοια κβαντικά σωματίδια, όπως επιβάλλει η κβαντική στατιστική. Ανάλογες είναι οι συνέπειες της πρωταρχικής αυτότητας (haecceity) και στην περίπτωση των χωροχρονικών σημείων στη θεωρία της γενικής σχετικότητας. Κάθε χωροχρονικό μοντέλο που συμμορφώνεται στο γενικό συναλλοίωτο των εξισώσεων της γενικής σχετικότητας

Η ιδέα ότι η ταυτότητα και η διαφορά των αντικειμένων κρίνονται με βάση τη θέση τους στη δομή όπου ανήκουν εφαρμόζεται χωρίς δυσκολίες για τα μαθηματικά αντικείμενα. Στο πεδίο των μαθηματικών κάθε δομή είναι μια νοητική κατασκευή, η οποία διαμορφώνεται σύμφωνα με ορισμένους κανόνες ή αξιώματα που τίθενται εξ αρχής. Η *a priori* γνώση της δομής επιτρέπει να προσδιορισθούν οι θέσεις των αντικειμένων που προβλέπονται εντός της και αυτό είναι αρκετό για να κρίνει κάποιος την παρουσία αντίστοιχου πλήθους αντικειμένων: σε μια μαθηματική δομή όλες οι θέσεις των αντικειμένων είναι και αντικείμενα της δομής. Εντούτοις η εφαρμογή της ίδιας ιδέας στα φυσικά αντικείμενα δεν συνιστά μια εύλογη επέκταση. Απαραίτητη προϋπόθεση για να κρίνουμε την ταυτότητα ή τη διαφορά των αντικειμένων ενός φυσικού συστήματος στο πλαίσιο μιας δομής είναι να γνωρίζουμε την εν λόγω δομή και το ερώτημα είναι πώς αυτό είναι δυνατό. Ένα φυσικό σύστημα είναι κάτι περισσότερο από ένα σύνολο κόμβων και ακμών εντός ενός γραφήματος και η γνώση της δομής του δεν εξαντλείται στη γνώση των δομικών της χαρακτηριστικών. Είναι γνώση του πηγάζει από την εμπειρία και ως εκ τούτου η απόκτησή της είναι ένα *a posteriori* εγχείρημα. Την επισήμανση αυτή κάνει ο Stathis Psillos¹⁶⁸ για να πει ότι μια φυσική δομή για να είναι φυσική οφείλει επιπλέον να συλλαμβάνει τις φυσικές-αιτιακές σχέσεις που διαμορφώνονται εντός της, διότι οι σχέσεις αυτές είναι που θα καθορίσουν την αιτιακή της δράση και θα διασφαλίσουν τη μοναδικότητα της. Ο Psillos τονίζει ιδιαίτερα το στοιχείο της μοναδικότητας, διότι αυτό έχει βαρύνουσα σημασία για τους υποστηρικτές του ΟΔΡ.¹⁶⁹ Για το σκοπό αυτό η εύρεση μιας φυσικής δομής δεν μπορεί να περιορίζεται στην εύρεση των δομικών χαρακτηριστικών της, διότι τέτοιου είδους χαρακτηριστικά είναι αδύνατον να υποστηρίζουν την αιτιακή της δράση και κατά συνέπεια τη μοναδικότητα της. Είναι άλλωστε φανερό ότι οι θέσεις αντικειμένων μέσα σε μια δομή και οι καθαρές δομικές σχέσεις δεν μπορούν να προκαλέσουν οτιδήποτε· η αιτιακή δράση μιας δομής οφείλεται στους *πληρωτές* (fillers) των εν λόγω θέσεων και στις *συγκεκριμένες* (concrete) σχέσεις που διαμορφώνονται.¹⁷⁰

Κατόπιν τούτων η δομή ενός φυσικού συστήματος να μην μπορεί να αναπαρασταθεί από

παραμένει αναλλοίωτο από κάθε φυσική σκοπιά όταν κάθε σημείο του απεικονίζεται σε κάποιο άλλο μέσω μιας απείρως διαφορίσιμης, ένα-προς-ένα και επί συνάρτησης. Υπό αυτήν την έννοια τα σημεία του χωρόχρονου είναι εγγενώς μη διακρίσιμα και η δομή του χωρόχρονου δεν επηρεάζεται από τις αμοιβαίες μεταθέσεις τους. Το γεγονός αυτό όμως δεν συνάδει με την ιδέα της εγγενούς ατομικότητας ή της πρωταρχικής αυτότητας των χωροχρονικών σημείων. [Ladyman, J., (2007), pp27,37]

¹⁶⁸ Psillos, S., (2006), pp560-70

¹⁶⁹ Αν ως *πεδίο εφαρμογής* (domain) μιας δομής θεωρούμε ένα σύνολο αντικειμένων τότε αυτό μπορεί να έχει οποιαδήποτε δομή δεδομένου ότι το πεδίο περιλαμβάνει αρκετά αντικείμενα. Το γεγονός αυτό κατά τον Psillos δημιουργεί ένα πρόβλημα στους δομιστές οι οποίοι συχνά υποστηρίζουν ότι όταν δίνεται ένα συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής τότε αυτό έχει και μια συγκεκριμένη δομή. Το πρόβλημα είναι ότι ένα πεδίο εφαρμογής δεν διαθέτει μια εγγενή δομή και ότι ο καθορισμός της απαιτεί ένα σύνολο ιδιοτήτων και σχέσεων οι οποίες χαρακτηρίζουν το συγκεκριμένο πεδίο και όχι κάποιο άλλο ακόμα κι αν αυτό εμφανίζει την ίδια πληθικότητα. [Psillos, S., (2006) p562]

¹⁷⁰ Psillos, S., (2006), pp564-5

ένα σύνολο ακμών και κόμβων, όμως η αναπαράσταση αυτή δεν συλλαμβάνει το φυσικό της περιεχόμενο. Αυτό σημαίνει ότι ένα φυσικό σύστημα είναι πράγματι κάτι περισσότερο από καθαρή δομή, γεγονός που κατά τον Psillos δείχνει ότι η θέση του ΟΔΡ οφείλει να προσαρμόζεται με την *in re* μάλλον παρά με την *ante rem* εκδοχή του δορισμού.¹⁷¹ Η σημαντική διαφορά, αναφέρει ο Psillos, μεταξύ *ante rem* και *in re* δορισμού αφορά τον ρόλο των αντικειμένων στη δομή. Στον *ante rem* δορισμό τα αντικείμενα που υπάρχουν σε μια δομή είναι τόσα όσες και οι θέσεις των αντικειμένων εντός της (οι ίδιες οι θέσεις είναι τα αντικείμενα της δομής), πράγμα που σημαίνει ότι τα αντικείμενα της δομής μπορεί να είναι περισσότερα από τα αντικείμενα ενός συστήματος, το οποίο φέρεται να πραγματώνει την εν λόγω δομή. Αντίθετα στον *in re* δορισμό τα μόνα αντικείμενα μιας δομής είναι τα αντικείμενα του συστήματος που την πραγματώνουν. Με άλλα λόγια στο *in re* δορισμό υπάρχει μια διάκριση μεταξύ των θέσεων των αντικειμένων και των αντικειμένων καθ' αυτών, πράγμα που δείχνει ότι τα αντικείμενα μιας δομής έχουν περισσότερες ιδιότητες από αυτές που καθορίζει η δομή ως δομή: «Είναι δεδομένα και αποκτούν την ταυτότητά τους ανεξάρτητα από την αφηρημένη δομή την οποία φέρεται να πραγματώνουν»¹⁷².

Τούτων δεδομένων η ιδέα της πλαισιακότητας καταλήγει να συνιστά λήψη του ζητουμένου και το όλο επιχείρημα γίνεται κυκλικό. Δεδομένου ότι μια φυσική δομή δεν μπορεί παρά να είναι *in re*, το πλήθος των αντικειμένων της (και όχι των θέσεων των αντικειμένων) δεν προκύπτει αποκλειστικά και μόνο από τις καθαρές δομικές ιδιότητες της. Απαιτείται εμπειρική έρευνα κι αυτό σημαίνει ότι η πληθικότητα ενός φυσικού συστήματος καθορίζεται από τα φυσικά και όχι τα δομικά χαρακτηριστικά του. Τουναντίον τα δομικά χαρακτηριστικά μιας φυσικής δομής είναι που καθορίζονται με βάση το πλήθος των αντικειμένων που συγκροτούν το πεδίο εφαρμογής της. Για τον λόγο αυτό η ταυτότητα και η διαφορά των αντικειμένων του συστήματος που πραγματώνει μια ορισμένη δομή δεν μπορεί να θεμελιώνεται στις καθαρά δομικές ιδιότητες της. Η πληθικότητα ενός συστήματος όμοιων μποζονίων καθορίζεται με βάση τη συνολική του ενέργεια και το μήκος κύματος που το χαρακτηρίζει. Δεδομένης της πληθικότητας η δομή του συστήματος θα είναι ισομορφική με τη δομή ενός γραφήματος που συγκροτείται από ισάριθμο πλήθος ασύνδετων μεταξύ τους κόμβων. Η δομή όμως δεν μπορεί να θεμελιώνει την αριθμητική διαφορά των μποζονίων εφόσον την προϋποθέτει. Ανάλογοι συλλογισμοί γίνονται και στην περίπτωση των όμοιων φερμιονίων. Η συμμετρικότητα και η

¹⁷¹ Στη φιλοσοφία των μαθηματικών *ante rem* και *in re* είναι δύο εκδοχές του δορισμού. Η οντολογία του *ante rem* δορισμού μοιάζει με αυτή του πλατωνισμού εφόσον οι δομές θεωρούνται αφηρημένες οντότητες οι οποίες υπάρχουν ανεξάρτητα από το εάν υπάρχουν ή όχι φυσικά συστήματα που να τις πραγματώνουν. Αντίθετα ο *in re* δορισμός μοιάζει με την αριστοτελική εκδοχή του ρεαλισμού αφού στην περίπτωση αυτή τα συστήματα είναι οντολογικά πρότερα των δομών τους που σημαίνει ότι οι δομές υπάρχουν αν και μόνο αν πραγματώνονται από κάποιο σύστημα. [Shapiro, S., (1997)]

¹⁷² Psillos, S., (2006), p564

έλλειψη ανακλαστικότητας της σχέσης που καθιστά δύο όμοια φερμιόνια ασθενώς διακρίσιμα, θεμελιώνονται στο φυσικό της περιεχόμενο και όχι αντιστρόφως. Οι σχέσεις «το ... έχει αντίθετο σπιν από το ...» και «το ... απέχει ένα μίλι από το ...» είναι και οι δύο συμμετρικές και μη ανακλαστικές, όμως αυτό οφείλεται στο φυσικό περιεχόμενο της κάθε μιας, το οποίο καθορίζεται, όπως αναφέρει ο Psillos, από την αιτιακή δράση των συστημάτων όπου εφαρμόζονται και η οποία τελικά καθιστά τις κατά τα άλλα ισομορφικές δομές τους μοναδικές και διακρίσιμες μεταξύ τους.

5.3.2 Η αριθμησιμότητα/ατομικότητα ως πρωταρχικό γεγονός

Η απόρριψη της πλαισιακότητας δεν σημαίνει ότι για την εξήγηση της αριθμητικής διαφοράς των αντικειμένων θα πρέπει να καταφύγουμε σε εγγενή χαρακτηριστικά είτε αυτά είναι ποιοτικά είτε όχι. Η ταυτότητα και η διαφορά μπορούν να θεωρούνται πρωταρχικές έννοιες, δηλαδή έννοιες που δεν χρήζουν περαιτέρω θεμελίωσης. Υπέρ του *πρωταρχισμού* (primitivism) έχουν επιχειρηματολογήσει οι Dorato και Morganti. Απευθύνονται κυρίως σε όσους πιστεύουν ότι υποστηρίζοντας τον αναγώγιμο χαρακτήρα της ταυτότητας και της ατομικότητας των αντικειμένων υπηρετούν καλύτερα την θέση του νατουραλισμού, σύμφωνα με την οποία η επιστημονική μέθοδος είναι η πλέον κατάλληλη για τη διερεύνηση κάθε πτυχής της πραγματικότητας και ότι στο εγχείρημα αυτό δεν έχουν θέση εμπειρικά απροσπέλαστες οντότητες. Όμως οι Dorato και Morganti απαντούν ότι η ιδέα του πρωταρχισμού δεν συνεπάγεται μεταφυσικές προσθήκες που δεν υποστηρίζονται από τις επιστημονικές θεωρίες. Ξεκινούν την εργασία τους λέγοντας ότι η εξήγηση της αριθμητικής διαφοράς και κατ' επέκταση της ατομικότητας δεν διασφαλίζεται μέσω μια συγκεκριμένης αρχής, η οποία θα υπηρετεί το σκοπό αυτό σε κάθε πεδίο έρευνας από τον μακρόκοσμο μέχρι τον μικρόκοσμο. Αντίθετα θα πρέπει να αναζητούμε κάθε φορά την κατάλληλη εξήγηση και στο πλαίσιο αυτής της αναζήτησης ο πρωταρχισμός είναι σε ορισμένες περιπτώσεις μια πολύ καλή λύση.¹⁷³ Επιχειρηματολογούν έτσι υπέρ μιας «πλουραλιστικής» προσέγγισης στα θέματα της ταυτότητας και της ατομικότητας των υλικών αντικειμένων και σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση προτείνουν να απορρίψουμε τη «μονολιθική» θεώρηση της έννοιας της ατομικότητας υπέρ μιας πιο ευέλικτης έννοιας, η οποία να επιδέχεται διαβάθμιση. Έτσι το ερώτημα «πόση ατομικότητα» έχει ένα αντικείμενο μπορεί να τεθεί με νόημα. Οι απαντήσεις εξαρτώνται από το πεδίο εφαρμογής της έννοιας της ατομικότητας και πηγάζουν από τη μέγιστη διαθέσιμη γνώση με την οποία μας εφοδιάζουν οι καλύτερες φυσικές θεωρίες του αντίστοιχου πεδίου εφαρμογής.¹⁷⁴

¹⁷³ Dorato, G., - Morganti, M., (2011), p592

¹⁷⁴ Dorato, G., - Morganti, M., (2011), p609

Η πλουραλιστική θεώρηση της έννοιας της ατομικότητας υπονοεί μια ταξινόμηση των αντικειμένων ανάλογα με τον βαθμό ατομικότητας που διαθέτουν. Ο βαθμός ατομικότητας των αντικειμένων καθορίζει επίσης και το κριτήριο ατομικότητας που εφαρμόζεται κάθε φορά. Τοιουτοτρόπως η ΑΤμΔ δεν απορρίπτεται εξ ολοκλήρου. Είναι ενδεχομενικά αληθής και στις περιπτώσεις που αληθεύει παρέχει ένα αξιόπιστο κριτήριο ατομικότητας. Έτσι ισχύει για τα αντικείμενα του μακρόκοσμου, μεταξύ των οποίων, παρά τη φαινομενική τους ομοιότητα, πάντα θα υπάρχει μια έστω και αμυδρή διαφορά. Ισχύει επίσης και για τα αντικείμενα της κλασικής φυσικής, διότι ακόμα κι αν είναι όμοια μεταξύ τους, ξεχωρίζουν από τη θέση τους στο χώρο, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι δεχόμαστε την υπόθεση της μη διαπερατότητας.¹⁷⁵ Η κατάσταση όμως αλλάζει ριζικά όταν περνάμε στο υποατομικό κόσμο. Τα κβαντικά σωματίδια στα συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* μπορούν να είναι το πολύ ασθενώς διακρίσιμα. Σύμφωνα όμως με την πλουραλιστική θεώρηση περί ατομικότητας των Dorato και Morganti τα κβαντικά σωματίδια ακόμα και ασθενώς διακρίσιμα μπορούν να θεωρούνται άτομα με τον βαθμό ατομικότητάς τους να υπολείπεται του βαθμού ατομικότητας των μακροσκοπικών αντικειμένων και των αντικειμένων της κλασικής μηχανικής.

Ωστόσο η επίκληση της ασθενούς διακρισιμότητας, προκειμένου να στοιχειοθετηθεί η ατομικότητα των κβαντικών σωματιδίων, δεν κρίνεται σε τελική ανάλυση απαραίτητη. Οι Dorato και Morganti θεωρούν ότι ειδικά στην περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων η αριθμητική διαφορά τους είναι προτιμότερο να εκληφθεί ως ένα πρωταρχικό δεδομένο του κβαντομηχανικού φορμαλισμού που δεν χρήζει εξήγησης. Για να ενισχύσουν την πρότασή τους επικαλούνται τις ενστάσεις που διατυπώνονται ενάντια στην «εναλλακτική» άποψη λέγοντας ότι αυτές δεν είναι εύκολο να παρακαμφθούν. Δεν είναι εύκολο για παράδειγμα να παρακαμφθεί η κριτική των Dieks και Veerstegh και των Ladyman και Bigaj που λέει ότι η συμμετρική και μη ανακλαστική σχέση, που κατά τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης εξηγεί την αριθμητική διαφορά μεταξύ κβαντικών σωματιδίων, είναι στην πραγματικότητα μια μορφή συσχέτισης πειραματικών αποτελεσμάτων και δεν αφορά ενεργά συσχετιζόμενα. Επιπλέον η δέσμευση της «εναλλακτικής» άποψης στον αναγώγιμο χαρακτήρα της ταυτότητας και της διαφοράς των αντικειμένων τους αναγκάζει να γίνονται απλοϊκά ρεαλιστές ή τουλάχιστον υπέρ του δέοντος «φιλελεύθεροι» σε σχέση με το ποιοι τελεστές έχουν φυσικό νόημα και ποιοι όχι. Να θυμίσουμε ότι οι Muller και Seevinck «αποδεικνύουν» την ασθενή διακρισιμότητα των μποζονίων κάνοντας χρήση του μεταθέτη δύο τελεστών, οι οποίοι αναπαριστούν συμπληρωματικά μεγέθη. Όμως, εκτός του ότι η ιδέα της ασθενούς διακρισιμότητας των όμοιων μποζονίων δεν συνάδει με τα συμπεράσματα της στατιστικής BE, η χρήση ενός μεταθέτη ως

¹⁷⁵ Dorato, G., - Morganti, M., (2011), p607

τελεστή που αναπαριστά φυσικό μέγεθος είναι εξόχως προβληματική. Να θυμίσουμε επίσης τη διάκριση που κάνουν οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης ανάμεσα στα αντικείμενα που είναι απολύτως διακρίσιμα και είναι άτομα (individuals) και στα αντικείμενα που είναι ασθενώς διακρίσιμα και είναι relationals. Οι Dorato και Morganti θεωρούν ότι η εισαγωγή της νέας *sui generis* οντολογικής κατηγορίας των relationals εκφράζει την πεποίθηση ότι η ασθενής διακρισιμότητα δεν είναι αρκετή για να τεκμηριώσει την ατομικότητα των αντικειμένων στα οποία εφαρμόζεται.¹⁷⁶

Κατόπιν τούτων οι Dorato και Morganti υποστηρίζουν τον πρωταρχισμό έναντι του αναγωγισμού, λέγοντας επιπλέον ότι στην περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων ο πρωταρχισμός μπορεί να γίνει αποδεκτός χωρίς να παραβιάζονται οι αρχές του νατουραλισμού. Τούτο διότι είναι λύση που δίνεται από την ίδια την κβαντική μηχανική και συνίσταται στο απλό και αναμφισβήτητο γεγονός που θέλει τα κβαντικά σωματίδια να είναι αριθμήσιμες οντότητες.¹⁷⁷ Η αριθμησιμότητα των κβαντικών συστημάτων είναι το στοιχείο που καθορίζει τις κρίσεις μας γύρω από την ταυτότητα και τη διαφορά των κβαντικών σωματιδίων. Γι αυτό θα πρέπει:

«...να θεωρούμε την αριθμησιμότητα όχι απλά ένα τυπικό δεδομένο του φορμαλισμού που αποτυπώνεται στις ετικέτες των «σωματιδίων», αλλά να τη θεωρούμε ως αυτή η ίδια να φέρει μεταφυσική και φυσική σημασία, χωρίς να αναζητούμε επιπρόσθετα στοιχεία στη βάση των οποίων οι αριθμήσιμες οντότητες θα μπορούσαν να θεωρούνται διακρίσιμες από την «παρουσία» η σωματιδίων στο επίπεδο του φορμαλισμού συμπεραίνουμε την παρουσία η ξεχωριστών σωματιδίων σε οντολογικό επίπεδο και μάλιστα ανεξάρτητα από τις ποιότητές τους»¹⁷⁸

Συνεπώς για τους Dorato και Morganti πρωταρχικότητα σημαίνει την άνευ ετέρου ερμηνεία της αριθμησιμότητας που αποτυπώνεται στις αναπαραστάσεις των κβαντικών καταστάσεων, ως αριθμησιμότητα των σωματιδίων που τις συγκροτούν. Με την εργασία τους θέλουν να συμβάλλουν στην απενοχοποίηση του πρωταρχισμού. Λένε ότι στις περιπτώσεις που η φυσική γίνεται κατηγορηματική ο πρωταρχισμός προσφέρει την καλύτερη μεταφυσική εξήγηση. Η αριθμησιμότητα πράγματι δεν πρέπει να θεωρείται τυπικό δεδομένο του φορμαλισμού, το οποίο ενδέχεται να μην έχει οντολογική σημασία. Είναι ιδιότητα που αποδίδεται σε κάθε κβαντικό σύστημα και εύλογα ερμηνεύεται ως το πλήθος των σωματιδίων, τα οποία το συγκροτούν και τα οποία αναδύονται μέσα από την κατάλληλη μέτρηση.

¹⁷⁶ Dorato, G., - Morganti, M., (2011), p604-5

¹⁷⁷ Οι Dorato και Morganti αναγνωρίζουν ότι, όταν μετακινούμαστε από τη μη σχετικιστική κβαντική μηχανική στη κβαντική θεωρία πεδίου, μια δεδομένη κατάσταση μπορεί να είναι, και πολλές φορές είναι, μια υπέρθεση καταστάσεων οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το πλήθος των σωματιδίων που τις συγκροτούν και ως εκ τούτου το δεδομένο της αριθμησιμότητας αλλάζει. Στην περίπτωση αυτή είναι πιθανόν να αρμόζουν διαφορετικές ερμηνείες αλλά ως προς αυτό οι Dorato και Morganti δεν γίνονται πιο συγκεκριμένοι. [Dorato, G., - Morganti, M., (2011), p608]

¹⁷⁸ Dorato, G., - Morganti, M., (2011), p606

Ωστόσο η εκτίμηση ότι τα σωματίδια που αναδύονται μέσα από μια μέτρηση είναι τα σωματίδια που συγκροτούν το σύστημα προ μέτρησης δεν είναι καθολικά αποδεκτή. Το φαινόμενο της υπέρθεσης και οι κβαντικές συσχετίσεις που αυτό συνεπάγεται προσδίδουν στα συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* ολιστική συμπεριφορά, εξ αιτίας της οποίας τίθεται το εύλογο ερώτημα αν τέτοιου είδους συστήματα είναι προτιμότερο να αντιμετωπίζονται ως απλά αντικείμενα χωρίς μέρη. Απέναντι σε αυτό το ερώτημα η Katherine Hawley προτείνει δύο λόγους με βάση τους οποίους μπορούμε να αποφανθούμε ότι ένα δεδομένο φυσικό σύστημα δεν είναι ένα απλό αντικείμενο αλλά αποτελείται από μέρη. Ο πρώτος λόγος είναι τα υποτιθέμενα μέρη ενός συστήματος να είναι οντότητες, η ύπαρξη των οποίων είναι γενικότερα αποδεκτή στο πλαίσιο της φυσικής θεωρίας εντός της οποίας διεξάγεται η έρευνα. Ο δεύτερος είναι να υπάρχουν ιδιότητες που να χαρακτηρίζουν το σύστημα ως όλο και που να εξηγούνται καλύτερα αν υποθέσουμε την ύπαρξη και τις ιδιότητες επιμέρους αντικειμένων.¹⁷⁹

Στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας οι οντότητες που μπορούν να προταθούν ως μέρη ενός συστήματος είναι τα κβαντικά σωματίδια, τα οποία φέρουν καθορισμένες εγγενείς ιδιότητες και είτε έχουν γίνει αυτά τα ίδια αντικείμενα παρατήρησης, είτε η ύπαρξή τους υποστηρίζεται από την θεωρία. Δεδομένου ότι τα κβαντικά σωματίδια είναι καθ' όλα αποδεκτές οντότητες, αυτό που μένει να εξετασθεί είναι αν το σύστημα που προκύπτει, όταν όμοια σωματίδια συναθροίζονται πολλά μαζί, είναι σύνθετο ή απλό. Οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης, οι οποίοι προτάσσουν την ΑΤμΔ ως θεμελιώδη αρχή για την εξήγηση της αριθμητικής διαφοράς των αντικειμένων, απορρίπτουν την ιδέα ένα σύστημα να αποτελείται από μη διακρίσιμα μέρη, ακόμα κι αν συμβαίνει το κάθε υποτιθέμενο μέρος να είναι μια καθ' όλα αποδεκτή οντότητα. Απέναντι στο ενδεχόμενο να υπάρχουν σύνθετα συστήματα των οποίων τα μέρη να είναι μη διακρίσιμα υπερασπίζονται την ΑΤμΔ μέσω *άθροισης* (summing defense)¹⁸⁰, αρνούνται δηλαδή τον σύνθετο χαρακτήρα των συστημάτων. Όμως οι Dorato και Morganti δεν συμμερίζονται αυτήν την άποψη. Ισχυρίζονται ότι τα μη διακρίσιμα αντικείμενα, παρά τη μη διακρισιμότητά τους, μπορούν να κάνουν μια εμπειρική διαφορά απλά και μόνο λόγω της αριθμητικής διαφοράς τους. Προς επίρρωση του ισχυρισμού τους επικαλούνται τις προσθετικές ιδιότητες των φυσικών συστημάτων, λέγοντας ότι ένας κόσμος που αποτελείται από δύο μη διακρίσιμα υλικά αντικείμενα διαφέρει ως προς τη μάζα του από ένα κόσμο που περιέχει μόνο το ένα από αυτά. Έτσι, όταν η μάζα και το φορτίο ενός κβαντικού συστήματος *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της μάζας και του φορτίου ενός σωματιδίου ορισμένου είδους, τότε η μάζα και το φορτίο του συστήματος είναι ιδιότητες που εξηγούνται καλύτερα, όταν υποθέσουμε ότι το σύστημα αποτελείται από σωματίδια του εν λόγω είδους. Η μάζα $2m_e$

¹⁷⁹ Hawley, K., (2009) p111

¹⁸⁰ Hawley, K. (2009), p111

και το φορτίο $2q_e$ μιας singlet κατάστασης εξηγούνται καλύτερα, όταν υποθέσουμε ότι στην κατάσταση αυτή υπάρχουν δύο ηλεκτρόνια που το καθένα έχει μάζα m_e και φορτίο q_e . Ίσως όμως η εξήγηση των προσθετικών ιδιοτήτων με βάση το πλήθος των σωματιδίων, την ύπαρξη των οποίων υποθέτουμε σε μια δεδομένη κατάσταση, να μην είναι ικανή να βεβαιώσει ότι τα σωματίδια αυτά πράγματι υπάρχουν· σε τελική ανάλυση οι προσθετικές ιδιότητες ίσως και να μην χρήζουν κάποιας εξήγησης. Εντούτοις η Hawley απευθυνόμενη κυρίως στους υποστηρικτές της ΑΤμΔ επισημαίνει ότι η στάση μας απέναντι στις ιδιότητες που φέρει ένα φυσικό σύστημα θα πρέπει να είναι ενιαία και ότι οφείλουμε να μην παλινδρομούμε μεταξύ αντίθετων απόψεων, όπως συμβαίνει όταν εξαρτάμε τη στάση μας από τη διακρισιμότητα των υποτιθέμενων μερών:

«όσο ισχυρή και να είναι η αναγωγιστική μας διάθεση δεν είναι αρκετή για να διακρίνει περιπτώσεις στις οποίες τα υποτιθέμενα μέρη είναι αμοιβαία διακρίσιμα από περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι. Είτε οι ιδιότητες του όλου αξιώνουν μια εξήγηση με βάση τις ιδιότητες των μερών του, ... είτε όχι»¹⁸¹.

Το δίλημμα που θέτει η Hawley τίθεται κατά προτεραιότητα και η στάση μας απέναντι σε αυτό καθορίζει περαιτέρω και την τύχη της ΑΤμΔ στο αντίστοιχο πεδίο. Αν οι προσθετικές ιδιότητες χρήζουν εξήγησης, τότε η ΑΤμΔ θα είναι μόνο ενδεχομενικά αληθής, εφόσον θα παραβιάζεται κάθε φορά που καμία μορφή διακρισιμότητας δεν αποκαλύπτεται. Αν όμως οι προσθετικές ιδιότητες δεν χρήζουν εξήγησης, τότε η ΑΤμΔ είναι υπερασπίσιμη, μόνο που για την υπεράσπισή της θα πρέπει να αντιμετωπίζουμε *κάθε* συζευγμένο κβαντικό σύστημα ως απλό αντικείμενο. Με τον τρόπο αυτό η Hawley δεν εκφράζει απλώς τη διαφωνία της με τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης, που θέλουν την ΑΤμΔ να αναλαμβάνει καθοριστικό ρόλο στις κρίσεις μας γύρω από το εάν ένα σύστημα αποτελείται ή όχι από μέρη· υποστηρίζει επιπλέον ότι η ερμηνεία του κβαντομηχανικού φορμαλισμού δεν μπορεί να γίνεται *à la carte*.

Ενόψει της ερμηνείας της αριθμησιμότητας των κβαντικών συστημάτων, το πραγματικό δίλημμα με το οποίο ερχόμαστε αντιμέτωποι διατυπώνεται ως εξής: ή θα δεχθούμε ότι ο φορμαλισμός των κβαντικών θεωριών επιδέχεται μια σωματιδιακή ερμηνεία και θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε τις ιδιαιτερότητες του υποατομικού κόσμου ως ένα κόσμο σωματιδίων ή θα δεχθούμε ότι τα λεγόμενα κβαντικά σωματίδια είναι επιφανόμενα μιας υποκείμενης κβαντικής πραγματικότητας και θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε τη σωματιδιακή συμπεριφορά τους όταν βρεθούν σε κατάλληλες συνθήκες. Απέναντι στο εν λόγω δίλημμα θεωρούμε ότι αν το αποτέλεσμα μιας μέτρησης της singlet κατάστασης το ερμηνεύουμε ως ανίχνευση δύο ηλεκτρονίων με αντίθετο σπιν, τότε είναι συνεκτικό και συνεπές να δεχθούμε ότι τα ηλεκτρόνια υπήρχαν και πριν τη μέτρηση. Προς την κατεύθυνση αυτή ο πρωταρχισμός που προτείνουν οι Dorato και Morganti είναι μια καλή λύση.

¹⁸¹ Hawley, K. (2009), p112

Εντούτοις η αριθμησιμότητα των κβαντικών συστημάτων δεν πρέπει να θεωρείται ένας βαθμός ατομικότητας όπως προτείνουν οι Dorato και Morganti. Η αριθμησιμότητα και η ατομικότητα είναι διαφορετικές έννοιες, διότι δεν μοιράζονται τα ίδια κριτήρια εφαρμογής. Η ατομικότητα αφορά πάντα ένα αντικείμενο και για να εφαρμοσθεί προϋποθέτει ότι αυτό βρίσκεται σε συνθήκες ταυτότητας. Αντίθετα η αριθμησιμότητα αφορά πάντα μια συλλογή αντικειμένων και η εφαρμογή της προϋποθέτει την ύπαρξη μιας φυσικής διαδικασίας, η οποία να μας επιτρέπει να πούμε πόσα αντικείμενα είναι παρόντα σε μια δεδομένη κατάσταση. Στην κβαντική μηχανική η διάκριση μεταξύ των δύο αυτών εννοιών αναδεικνύεται με μεγαλύτερη σαφήνεια, εφόσον η διαδικασία αρίθμησης των μερών ενός σύνθετου συστήματος είναι δυνατόν να περαιωθεί, ακόμα κι όταν τα σωματίδιά του δεν βρίσκονται σε συνθήκες ταυτότητας.

Ωστόσο οι Dorato και Morganti έχουν δίκιο, όταν υποστηρίζουν ότι είναι λάθος να αποδίδουμε την ατομικότητα σε μια συγκεκριμένη αρχή, η οποία να την εγγυάται σε όλες τις περιπτώσεις και σε όλες τις συνθήκες. Αναφερόμενοι στη σχολαστική παράδοση δηλώνουν ότι μεταξύ του John Duns Scotus, ο οποίος θεωρούσε την *πρωταρχική αυτότητα* (primitive thisness ή haecceity) συστατικό των αντικειμένων χάριν του οποίου αυτά είναι άτομα, και του William Ockham, ο οποίος εκλαμβάνει την ατομικότητα ως θεμελιώδη τρόπο ύπαρξης των αντικειμένων, ο οποίος ούτε επιτρέπει ούτε αξιώνει περαιτέρω ανάλυση, επιλέγουν τον δεύτερο, διότι θεωρούν ότι η μεταφυσική του προσέγγιση δεν αφήνει χώρο για μεταφυσικές υποθέσεις που δεν ελέγχονται εμπειρικά και ότι είναι συμβατή με τη νατουραλιστική θεώρηση των πραγμάτων.¹⁸² Αν όμως η ατομικότητα είναι τρόπος ύπαρξης των αντικειμένων θα πρέπει να κρίνεται κατά περίπτωση και με διαφορετικά μέσα ανάλογα με το είδος του αντικειμένου και τις συνθήκες που επικρατούν τη δεδομένη στιγμή. Έτσι η ατομικότητα ενός ηλεκτρονίου δεν κρίνεται με τα ίδια μέσα που κρίνεται η ατομικότητα ενός *ατόμου* (atom) ή μιας μπάλας του μπιλιάρδου.

Εντούτοις ο πλουραλισμός των μέσων εξατομίκευσης δεν υπονοεί τη διαβάθμιση της έννοιας της ατομικότητας. Η εξατομίκευση ενός αντικειμένου, αν και διενεργείται με διαφορετικούς κάθε φορά τρόπους, στοχεύει πάντα στο ίδιο αποτέλεσμα: το αντικείμενο να γίνει αντικείμενο παρατήρησης και να επιδέχεται εξατομικευμένη περιγραφή. Μόνο τότε αποδίδουμε ατομικότητα στα αντικείμενα. Η απόδοση ατομικότητας συνδέεται με τη δυνατότητα εξατομίκευσης, η οποία πιθανόν να μην είναι εφικτή σε όλες τις συνθήκες και το ίδιο αντικείμενο να υπάρχει με διαφορετικό τρόπο σε διαφορετικές συνθήκες. Η απόδοση ατομικότητας έξω από τις συνθήκες εξατομίκευσης διαστρεβλώνει την έννοια της ατομικότητας και γι αυτό είναι προτιμότερο η ατομικότητα να αντιμετωπίζεται ως τρόπος ύπαρξης των αντικειμένων και όχι ως ένα εγγενές χαρακτηριστικό τους. Η κβαντική μηχανική είναι και πάλι η

¹⁸² Dorato, G., - Morganti, M., (2011), p599

θεωρία που αναδεικνύει το στοιχείο αυτό, διότι για όλα τα κβαντικά σωματίδια υπάρχουν συνθήκες ταυτότητας, εκτός των οποίων δεν συμπεριφέρονται ως άτομα και τότε δεν πρέπει να θεωρούνται άτομα. Η πειραματικά τεκμηριωμένη διττή συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων όχι μόνο δεν εξηγείται από, αλλά δεν είναι καν συμβατή με την ιδέα της εγγενούς ατομικότητας. Συνεπώς δεν έχουμε λόγους να τη συμπεριλάβουμε στα μεταφυσικά συστατικά των κβαντικών σωματιδίων και για λόγους συνέπειας στα μεταφυσικά συστατικά των αντικειμένων γενικά. Αντ' αυτού είναι προτιμότερο να μείνουμε στο γεγονός ότι η ατομικότητα είναι τρόπος ύπαρξης των αντικειμένων που εκδηλώνεται όταν επικρατούν ή δημιουργούνται συνθήκες ταυτότητας γι αυτά, οι οποίες πάντα θα υπάρχουν και θα καθορίζονται πλήρως από το είδος του αντικειμένου, δηλαδή από όλα εκείνα τα εγγενή/ουσιώδη χαρακτηριστικά του, που το κάνουν να είναι ηλεκτρόνιο, άτομο υδρογόνου, ή μπάλα του μπιλιάρδου.

5.4 Η κβαντική σύζευξη ως διαδικασία ενοποίησης σωματιδίων

Αντιμετωπίζοντας με ενιαίο τρόπο το σύνολο των κβαντικών σωματιδίων ο Friebe θεωρεί ότι αυτό που στην πραγματικότητα θέτει εν αμφιβόλω την ΑΤμΔ στην κβαντική μηχανική είναι οι συζευγμένες καταστάσεις των όμοιων σωματιδίων. Ισχυρίζεται όμως ότι η υπεράσπιση της αρχής μέσω άθροισης μπορεί να γίνει αποτελεσματικά, αρκεί να δεχθούμε ότι μια δεδομένη αριθμητική διαφορά παύει να υφίσταται υπό ορισμένες συνθήκες και επανέρχεται υπό άλλες. Το παράδειγμα που επικαλείται για να περιγράψει την υπερασπιστική του στρατηγική είναι η singlet κατάσταση δύο ηλεκτρονίων, όμως, όπως θα δούμε στη συνέχεια, η ίδια στρατηγική δεν είναι εξίσου αποτελεσματική στην περίπτωση ενός ζεύγους συζευγμένων φωτονίων. Η singlet κατάσταση αναπαριστάται από το διάνυσμα:

$$|\psi_{\text{sin}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|\uparrow_z\rangle_1 |\downarrow_z\rangle_2 - |\downarrow_z\rangle_1 |\uparrow_z\rangle_2 \right) \otimes \left(|R\rangle_1 |L\rangle_2 + |L\rangle_1 |R\rangle_2 \right) \quad (5.1)$$

Ένα singlet σύστημα είναι πλήρως συζευγμένο και προκύπτει όταν δύο καταρχήν ξεχωριστά ηλεκτρόνια αλληλεπιδράσουν με κάποιο τρόπο. Μέσα όμως σε μια συζευγμένη κατάσταση, λέει ο Friebe, υπάρχει πάντα ένα μόνο αντικείμενο, το οποίο δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια πλήρη δέσμη εγγενών και δυναμικών ιδιοτήτων, οι οποίες δεν *επιγίνονται* (supervene) πάνω στις ιδιότητες κάποιων υποτιθέμενων μερών του.¹⁸³ Ένα singlet σύστημα είναι απλώς η δέσμη $[2q_e, 2m_e, R-L, S^2=0, S_z=0]$, δηλαδή ένα απλό αντικείμενο με διπλάσιο φορτίο και διπλάσια μάζα

¹⁸³ Ένα σύνολο ιδιοτήτων A *επιγίνεται* (supervene) πάνω σε ένα σύνολο ιδιοτήτων B , αν και μόνο αν δύο αντικείμενα x και y που μοιράζονται όλες τις ιδιότητες του συνόλου B , (είναι μη διακρίσιμα ως προς τις ιδιότητες B) πρέπει να μοιράζονται επίσης και όλες τις ιδιότητες του συνόλου A (να είναι μη διακρίσιμα ως προς τις ιδιότητες A). Ισοδύναμα ισχύει ότι αν τα δύο αντικείμενα διαφέρουν ως προς τις ιδιότητες A , τότε θα πρέπει να διαφέρουν και ως προς τις ιδιότητες B . Όμως η σχέση του επιγίνεσθαι (supervenience) μεταξύ ιδιοτήτων δεν είναι συμμετρική. Έτσι αν τα αντικείμενα x και y είναι μη διακρίσιμα ως προς τις ιδιότητες A αυτό δεν συνεπάγεται ότι είναι και μη διακρίσιμα ως προς τις ιδιότητες B .

από το φορτίο και τη μάζα ενός ηλεκτρονίου, εκτείνεται σε μια χωρική περιοχή $R-L$ και τόσο το συνολικό σπιν του όσο και το σπιν στην κατεύθυνση zz' είναι μηδέν. Τα ηλεκτρόνια, τα οποία με την αλληλεπίδραση τους οδήγησαν στη γένεση της singlet κατάστασης, δεν είναι μέρη του συστήματος, διότι αν ήταν θα έπρεπε οι ιδιότητες του όλου να επιγίνονται σε κάποιες από τις ιδιότητες των μερών του, αλλά κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει. Στη συνέχεια όμως, μετά από μια τοπική μέτρηση του σπιν το σύστημα περιέρχεται σε μια μη συζευγμένη και αντισυμμετρική κατάσταση που αναπαριστάται από το διάνυσμα:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|\uparrow_z\rangle_1 |R\rangle_1 |\downarrow_z\rangle_2 |L\rangle_2 - |\downarrow_z\rangle_1 |L\rangle_1 |\uparrow_z\rangle_2 |R\rangle_2 \right) \quad (5.2)$$

Το σύστημα είναι πλέον σύνθετο και τα μέρη περιγράφονται από δύο ξεχωριστές και πλήρεις δέσμες ιδιοτήτων: $[q_e, m_e, s=1/2, R, \downarrow_z]$ και $[q_e, m_e, s=1/2, L, \uparrow_z]$ είναι δηλαδή δύο ηλεκτρόνια, τα οποία εντοπίζονται στις περιοχές R και L με αντίθετες τιμές σπιν στην z -κατεύθυνση. Ο Friebe επισημαίνει ότι η κύρια διαφορά μεταξύ μιας συζευγμένης και της αντίστοιχης μη συζευγμένης κατάστασης έγκειται στο γεγονός ότι η πρώτη, σε αντίθεση με τη δεύτερη, έχει καθολικές μη επιγινόμενες ιδιότητες. Η κατάσταση (5.1) είναι ιδιοκατάσταση του καθολικού, μη επιγινόμενου τελεστή S^2 με ιδιοτιμή μηδέν, όπως επίσης είναι ιδιοκατάσταση του καθολικού και μη επιγινόμενου χωρικού τελεστή με ιδιοτιμή $R-L$. Αντίθετα το σύστημα (5.2) δεν φέρει καθολικές μη επιγινόμενες ιδιότητες. Οι ιδιότητές του επιγίνονται στις ιδιότητες δύο διακρίσιμων υποσυστημάτων που εντοπίζονται σε διαφορετικές χωρικές περιοχές με διαφορετικές τιμές σπιν. Ο Friebe επισημαίνει επίσης ότι τα διανύσματα (5.1) και (5.2) θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως καταστάσεις του ίδιου συστήματος, στις οποίες αυτό βρίσκεται πριν και μετά τη μέτρηση αντίστοιχα. Το στοιχείο που τεκμηριώνει την ταυτότητα του συστήματος είναι η τιμή του προβολικού τελεστή S_z . Οι καταστάσεις (5.1) και (5.2) είναι και οι δύο, πριν και μετά τη μέτρηση, ιδιοκαταστάσεις του όλου συστήματος με ιδιοτιμή μηδέν, μόνο που στη δεύτερη περίπτωση το όλο αποτελείται από μέρη.¹⁸⁴

Σύμφωνα με τα παραπάνω θα λέγαμε ότι το πείραμα που προετοιμάζει ένα σύστημα, ώστε αυτό να βρεθεί σε συζευγμένη κατάσταση, έχει ως αποτέλεσμα όλες οι δυναμικές ιδιότητες των επιμέρους σωματιδίων να εκλείπουν, χωρίς να αντικαθίστανται από άλλες, ενώ ταυτόχρονα το όλο σύστημα αποκτά καθολικές και μη επιγινόμενες δυναμικές ιδιότητες. Αυτό κατά τον Friebe αποτελεί μια ενοποιητική διαδικασία, κατά την οποία ξεχωριστά σωματίδια ενώνονται σε ένα όλο χωρίς μέρη. Αντίστοιχα η μέτρηση, η οποία προκαλεί την αποσύζευξη του συστήματος, έχει ως αποτέλεσμα από τις δυναμικές ιδιότητες του όλου συστήματος κάποιες μη επιγινόμενες να εκλείπουν, χωρίς να αντικαθίστανται από άλλες, κάποιες άλλες να αναδύονται και κάποιες να

¹⁸⁴ Friebe, C., (2014), pp8-9

παραμένουν ως στοιχείο της ταυτότητας του συστήματος. Η διαδικασία αυτή λειτουργεί διαχωριστικά, εφόσον ένα αδιαίρετο σύστημα καταλήγει να είναι σύνθετο, να αποτελείται δηλαδή από υποσυστήματα που φέρουν καθορισμένες ιδιότητες.

Παρά το γεγονός ότι ο Friebe περιγράφει τη σύζευξη και αποσύζευξη των κβαντικών συστημάτων ως διαδικασία ενοποίησης και διαχωρισμού αντίστοιχα χωρίς εξαιρέσεις, το παράδειγμα που επικαλείται για να στοιχειοθετήσει την θέση του αφορά ένα συζευγμένο ζεύγος όμοιων φερμιονίων. Θα ήταν ως εκ τούτου σκόπιμο να αναρωτηθούμε αν οι ίδιες σκέψεις εφαρμόζονται σε κάθε περίπτωση συζευγμένου συστήματος. Για το σκοπό αυτό κατάλληλο παράδειγμα είναι η περίπτωση δύο φωτονίων, τα οποία εκπέμπονται από ένα άτομο, όταν αυτό μεταπίπτει από μια διεγερμένη στη θεμελιώδη κατάστασή του. Το πείραμα επιβεβαιώνει ότι στην περίπτωση αυτή τα δύο φωτόνια αποτελούν ένα ζεύγος πλήρως συζευγμένων σωματιδίων ως προς την ιδιότητα της πόλωσης¹⁸⁵. Η αρχή λειτουργίας της αντίστοιχης πειραματικής διάταξης φαίνεται στην (σχ.5.3)¹⁸⁶: τα δύο φωτόνια, αφού εκπέμπονται από ένα διεγερμένο άτομο ταξιδεύουν σε αντίθετες κατευθύνσεις, ας πούμε αριστερά το ένα και δεξιά το άλλο, και διέρχονται από πολωτές (OK)¹⁸⁷, οι οποίοι προσανατολίζονται με τρόπο ώστε να μετρούν την πόλωση σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις, την οριζόντια (O) και την κατακόρυφη (K).

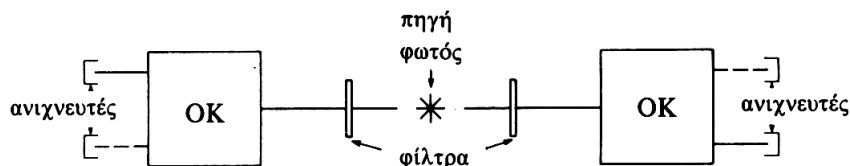
Όταν η πειραματική διάταξη λειτουργεί με μια φωτεινή δέσμη χαμηλής έντασης, τότε είμαστε σε θέση να κρίνουμε πότε τα σήματα που εκπέμπουν οι ανιχνευτές προέρχονται από φωτόνια του ίδιου ζεύγους. Στην περίπτωση αυτή οι μετρήσεις αποδεικνύουν ότι κάθε φορά που το ένα φωτόνιο του ζεύγους βρίσκεται να έχει οριζόντια πόλωση το άλλο θα βρίσκεται πάντα να έχει κατακόρυφη. Ο Alastair Rae ισχυρίζεται ότι η πόλωση στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως σωματιδιακή μάλλον, παρά ως κυματική ιδιότητα. Ο ισχυρισμός του υποστηρίζεται από το γεγονός ότι η συμπεριφορά ενός ζεύγους φωτονίων ως προς την ιδιότητα της πόλωσης είναι ανάλογη με τη συμπεριφορά ενός ζεύγους ηλεκτρονίων ως

¹⁸⁵ Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell πολωμένο είναι το φως όταν η διεύθυνση ταλάντωσης του πεδίου (ηλεκτρικού ή μαγνητικού) παραμένει σταθερή. Η πόλωση, ήτοι η διεύθυνση ταλάντωσης του πεδίου, είναι ιδιότητα του φωτός την οποία μπορούμε να μετρήσουμε. Αν και εκ πρώτης όψεως η πόλωση φαίνεται μια αποκλειστικά κυματική ιδιότητα, αποδεικνύεται ότι είναι και ιδιότητα των φωτονίων εφόσον μπορεί να μετρηθεί για κάθε φωτόνιο ξεχωριστά. Όταν μια φωτεινή δέσμη εισέρχεται μέσα σε ένα κρύσταλλο ασβεστίτη χωρίζεται σε δύο πολωμένες δέσμες με κάθετα επίπεδα πόλωσης που εξέρχονται από διαφορετικά σημεία του κρυστάλλου όπου και ανιχνεύονται. Αν η έντασή της δέσμης είναι μικρή τότε το κάθε φωτόνιο εισέρχεται και εξέρχεται από τον κρύσταλλο, έχοντας μια χρονική απόσταση από το προηγούμενο και το επόμενο, αρκετή ώστε το «μπιπ» που προκαλεί σε έναν από τους δύο ανιχνευτές να είναι ξεχωριστό και ευδιάκριτο για μας. Κατόπιν τούτου μπορούμε να πούμε ότι ένα «μπιπ» σε ένα συγκεκριμένο ανιχνευτή σηματοδοτεί την παρουσία ενός πολωμένου σε μια ορισμένη διεύθυνση φωτονίου.

¹⁸⁶ Rae, A., (1986), ελληνική έκδοση (1988) σελ.62

¹⁸⁷ Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η λειτουργία των πολωτών στηρίζεται σε μια ιδιότητα που έχει ο κρύσταλλος του ασβεστίτη. Το φως που περνά μέσα από ένα τέτοιο κρύσταλλο χωρίζεται σε δύο συνιστώσες. Η πόλωσή της μιας (τακτική ακτίνα) είναι κάθετη και της άλλης (έκτακτη ακτίνα) παράλληλη σε ένα χαρακτηριστικό επίπεδο του κρυστάλλου (κύρια τομή). Είναι λοιπόν φανερό ότι αν ο προσανατολισμός του κρυστάλλου είναι γνωστός τότε είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τη διεύθυνση πόλωσης της κάθε συνιστώσας.

προς την ιδιότητα του σπιν. Και στις δύο περιπτώσεις εγείρονται ερωτήματα που βρίσκονται στην καρδιά του EPR επιχειρήματος, δηλαδή ερωτήματα που αφορούν τη δράση από απόσταση και την τοπικότητα. Πράγματι οι συσχετίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων που παράγουν τοπικές μετρήσεις της πόλωσης στην περίπτωση των συζευγμένων φωτονίων, παραβιάζουν κάποιες από τις ανισότητες Bell, όπως ακριβώς συμβαίνει και με αντίστοιχες συσχετίσεις στην περίπτωση των συζευγμένων ηλεκτρονίων.¹⁸⁸



Σχ.5.3 Τα δύο φωτόνια του ζεύγους ταξιδεύουν σε αντίθετες κατευθύνσεις. Στην εικονιζόμενη διάταξη οι δύο μετρικές συσκευές, οι οποίες είναι τοποθετημένες με τρόπο ώστε το κάθε φωτόνιο του ζεύγους να διέρχεται μέσα από αυτές, μετρούν την οριζόντια (Ο) και κατακόρυφη (Κ) πόλωση τόσο του ενός όσο και του άλλου φωτονίου. Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι κάθε φορά που από τη δεξιά συσκευή εξέρχεται ένα οριζόντια πολωμένο φωτόνιο, το αντίστοιχο του εξέρχεται από την αριστερή συσκευή κατακόρυφα πολωμένο και αντίστροφα.

Θα μπορούσε η σύζευξη του ζεύγους των φωτονίων και η αποσύζευξή του, μετά από μια μέτρηση της πόλωσης του ενός εκ των δύο, να ερμηνευτούν ως διαδικασίες ενοποίησης και διαχωρισμού αντίστοιχα, δηλαδή ως διαδικασίες οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός όλου χωρίς μέρη στην πρώτη περίπτωση και τη μετατροπή του σε ένα άθροισμα μερών στη δεύτερη; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι μάλλον όχι! Τα δύο φωτόνια που εκπέμπει ένα διεγερμένο άτομο έχουν διαφορετικό μήκος κύματος (διαφορετικό χρώμα) και άρα είναι διακρίσιμα.¹⁸⁹ Κάνοντας χρήση κατάλληλων φίλτρων τα οποία παρεμβάλλονται στην πορεία του κάθε φωτονίου γίνεται γνωστό ποιο φωτόνιο ταξιδεύει σε ποια κατεύθυνση (σχ.5.3). Χάριν της διακρισιμότητάς τους μπορούμε να αναφερόμαστε στο ένα φωτόνιο, ας πούμε αυτό με το μικρότερο μήκος κύματος, με τον δείκτη '1' και στο άλλο με το δείκτη '2'. Παρά τη διακρισιμότητά τους όμως τα φωτόνια βρίσκονται σε συζευγμένη κατάσταση: πριν από οποιαδήποτε μέτρηση το κάθε φωτόνιο, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος και τη διαδρομή που θα ακολουθήσει, έχει ακριβώς τις ίδιες πιθανότητες μετά από τη μέτρηση της πόλωσης να βρεθεί οριζόντια ή κατακόρυφα πολωμένο· αν όμως το φωτόνιο '1' ανιχνευθεί να οδεύει προς τα δεξιά και εξέλθει από τον δεξιό πολωτή οριζόντια πολωμένο, τότε με βεβαιότητα λέμε ότι το '2' θα

¹⁸⁸ [Rae, A., (1986), ελληνική έκδοση (1988) σελ.59-91].

¹⁸⁹ Όταν από ένα διεγερμένο άτομο εκπέμπονται διαδοχικά δύο φωτόνια τότε η μετάβασή του στη θεμελιώδη κατάσταση συντελείται σε δύο φάσεις. Το άτομο πριν περιέλθει στην θεμελιώδη κατάσταση διέρχεται από μια μεταβατική κατάσταση εκπέμποντας το πρώτο φωτόνιο και στη συνέχεια αποδιεγείρεται εκπέμποντας και το δεύτερο. Η ενεργειακή διαφορά μεταξύ της αρχικής διεγερμένης κατάστασης και της μεταβατικής είναι μεγαλύτερη από τη διαφορά μεταξύ της μεταβατικής και της θεμελιώδους κατάστασης και ως εκ τούτου τα φωτόνια τα οποία εκπέμπονται να μεταφέρουν διαφορετική ενέργεια και ορμή και ως εκ τούτου θα έχουν διαφορετικό μήκος κύματος.

οδεύει προς τα αριστερά και θα εξέλθει από τον αριστερό πολωτή κατακόρυφα πολωμένο. Ωστόσο πριν τη μέτρηση τα φωτόνια δεν βρίσκονται σε μια ορισμένη κατάσταση πόλωσης και ως εκ τούτου η κατάσταση του συστήματος ως προς την ιδιότητα της πόλωσης είναι μη επιγιγνώμενη. Τις παραπάνω πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του ζεύγους των φωτονίων πριν τη μέτρηση ενσωματώνει το συμμετρικό διάνυσμα:

$$|\psi_{ent}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|O\rangle_1|K\rangle_2 + |K\rangle_1|O\rangle_2)(|R\rangle_1|L\rangle_2 + |L\rangle_1|R\rangle_2) \quad (5.3)$$

Μετά τη μέτρηση το σύστημα περιέρχεται σε μια μη συμμετρική κατάσταση, όπου το κάθε φωτόνιο αποκτά συγκεκριμένη τιμή πόλωσης. Υπάρχουν τέσσερις δυνατές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το σύστημα μετά τη μέτρηση. Κάθε μία από αυτές θα μας πληροφορεί αν το φωτόνιο ‘1’ έχει ανιχνευθεί στη δεξιά ή στην αριστερή πλευρά της μετρικής διάταξης, με οριζόντια ή κατακόρυφη τιμή πόλωσης και ομοίως για το φωτόνιο ‘2’. Έτσι αν το φωτόνιο ‘1’ ανιχνευθεί δεξιά με οριζόντια πόλωση το διάνυσμα που αναπαριστάνει την κατάσταση του ζεύγους μετά τη μέτρηση θα είναι:

$$|\psi\rangle = |O\rangle_1|R\rangle_1|K\rangle_2|L\rangle_2 \quad (5.4)$$

Αξίζει δε να επισημάνουμε ότι στην περίπτωση αυτή δεν απαιτείται συμμετρικοποίηση του διανύσματος κατάστασης, διότι τα σωματίδια του συστήματος είναι διακρίσιμα και το AAM δεν ισχύει! Κατόπιν τούτων είναι φανερό ότι το σύστημα που δημιουργείται κατά την αποδιέγερση ενός ατόμου δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται ως ένα όλο χωρίς μέρη και ότι η σύζευξη δεν λειτουργεί ενοποιητικά. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε εξ αρχής την εκπομπή δύο διακρίσιμων σωματιδίων, δύο φωτονίων με διαφορετικό μήκος κύματος που η τιμή τους καθορίζεται από την ενεργειακή κατάσταση του ατόμου που τα εκπέμπει, δηλαδή από τον τρόπο προετοιμασίας του συστήματος. Όσοι υποστηρίζουν την ΑΤμΔ και έχουν εργασθεί για τη διάσωσή της στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής θα συμφωνούσαν με τα παραπάνω. Συνεπώς η ιδέα ότι το φαινόμενο της σύζευξης λειτουργεί ενοποιητικά δεν εφαρμόζεται στην περίπτωση συζευγμένων μεν, διακρίσιμων δε σωματιδίων και γι αυτό η γενίκευσή της σε όλες τις συζευγμένες καταστάσεις είναι αυθαίρετη.

Κατόπιν τούτων οδηγούμαστε σε ένα σημαντικό για τη συζήτηση μας συμπέρασμα: το φαινόμενο της σύζευξης, εξ αιτίας του οποίου τα κβαντικά συστήματα επιδεικνύουν κάποιου είδους ολιστική συμπεριφορά, δεν αποτελεί επαρκές κριτήριο ώστε ένα σύστημα να κρίνεται ως σύνθετο ή απλό. Ακόμα κι αν δεχθούμε ότι οι συζευγμένες καταστάσεις μη διακρίσιμων σωματιδίων αφορούν ένα απλό σύστημα δεν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι είναι το φαινόμενο της σύζευξης που ευθύνεται γι αυτό. Συνεπώς το εγχείρημα να στηριχθεί η υπεράσπιση της ΑΤμΔ μέσω άθροισης σε ένα κατ’ εξοχήν κβαντικό φαινόμενο αποτυγχάνει, με

αποτέλεσμα ο μόνος λόγος που απομένει ώστε κάποιος να επιμένει στη στρατηγική υπεράσπισης μέσω άθροισης είναι η ίδια η δέσμευσή του στην αλήθεια της ΑΤμΔ, η οποία δεν επιτρέπει σε ένα σύστημα να αποτελείται από μη διακρίσιμα μέρη.¹⁹⁰ Νομιμοποιείται όμως μια φιλοσοφική αρχή να θέτει περιορισμούς που δεν προβλέπονται από την υπό ερμηνεία φυσική θεωρία; Γενικά θα λέγαμε πως ναι! Αρκεί οι περιορισμοί να είναι επαρκώς δικαιολογημένοι και να συμβάλλουν στην επίτευξη μιας απλής και κατανοητής ερμηνείας. Η υπεράσπιση όμως της ΑΤμΔ συναντά ιδιαίτερες δυσκολίες. Η υπεράσπισή της μέσω διακρισιμότητας, ακόμα κι αν παρακάμψουμε το γεγονός ότι η σχέση που καθιστά δύο οντότητες ασθενώς διακρίσιμες δεν αφορά ενεργά συσχετιζόμενα και δεχθούμε ότι η απειλή της κυκλικότητας δεν υφίσταται, οδηγεί στη διάκριση μεταξύ φερμιονίων και μποζονίων (έστω μόνο στοιχειωδών), σύμφωνα με την οποία μόνο τα φερμιόνια μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα. Ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός όμως δεν δικαιολογεί μια τέτοια διάκριση. Κι αν τελικά κάποιος αποφασίσει να υπερασπισθεί την ΑΤμΔ μέσω άθροισης, για να αποφύγει ενδεχομένως την εν λόγω διάκριση, εισηγούμενος τον ενοποιητικό ρόλο της σύζευξης θα βρεθεί αντιμέτωπος με το γεγονός ότι συζεύξεις δημιουργούνται και μεταξύ διακρίσιμων σωματιδίων των μποζονίων μη εξαιρουμένων.

Βέβαια να επαναλάβουμε ότι φερμιόνια και μποζόνια είναι δύο διαφορετικές κατηγορίες οντοτήτων. Παρά τις διαφορές τους όμως θεωρούνται οντότητες που από τη δημιουργία μέχρι την καταστροφή τους γίνονται φορείς συγκεκριμένων εγγενών ιδιοτήτων, οι οποίες καθορίζουν τη συμμετοχή τους στο γίγνεσθαι του κόσμου. Τα ηλεκτρόνια για παράδειγμα είναι στοιχειώδη σωματίδια της ύλης με μάζα m_e , φορτίο q_e και τιμή σπιν $1/2$ ενώ τα φωτόνια είναι σωματίδια αλληλεπίδρασης με τιμή σπιν 1 που μεταφέρουν ενέργεια και ορμή. Οι ιδιαιτερότητές τους έναντι των κλασικών ομολόγων τους εντοπίζονται στη συλλογική τους συμπεριφορά: όταν σωματίδια του ίδιου είδους, είτε είναι φερμιόνια είτε μποζόνια, αλληλεπιδρούν δημιουργείται ένα συζευγμένο σύστημα που εμφανίζει σχεσιακού τύπου ιδιότητες, οι οποίες δεν επιγίνονται στις ιδιότητες των μερών του. Το φαινόμενο της σύζευξης είναι ένα γενικευμένο κβαντικό φαινόμενο, το οποίο εξηγούμε καταφεύγοντας σε ολιστικές θεωρίες. Ωστόσο η απόδοση ολιστικής συμπεριφοράς στα συζευγμένα συστήματα δεν είναι απαραίτητο να μας δεσμεύει σε μια ισχυρή εκδοχή ολισμού, σύμφωνα με την οποία θα πρέπει να αντιμετωπίζουμε τα εν λόγω συστήματα ως απλά αντικείμενα χωρίς μέρη. Τα συζευγμένα συστήματα αποτελούνται από τα σωματίδια που τα δημιούργησαν, δηλαδή από σωματίδια με συγκεκριμένες εγγενείς ιδιότητες, χάριν των οποίων αλληλεπιδρούν το καθένα ξεχωριστά με τις κατάλληλες πειραματικές διατάξεις. Οι μετρήσεις που επιβεβαιώνουν τις κβαντικές συσχετίσεις των συζευγμένων

¹⁹⁰ Hawley, K., (2009), p112-3

καταστάσεων είναι εξατομικευμένες, εφόσον κάθε πειραματική διάταξη μετράει μια συγκεκριμένη ιδιότητα ενός μεμονωμένου σωματιδίου. Έτσι το κάθε ηλεκτρόνιο της singlet κατάστασης αλληλεπιδρά με πειραματικές διατάξεις που μετράνε το σπιν σωματιδίων που ανήκουν στο είδος «ηλεκτρόνιο» και αντίστοιχα το κάθε φωτόνιο ενός συζευγμένου ζεύγους αλληλεπιδρά με πειραματικές διατάξεις που μετράνε την τιμή της πόλωσης σωματιδίων που ανήκουν στο είδος «φωτόνιο». Αν όμως κάθε μετρική διάταξη προορίζεται να αναγνωρίζει και να αντιδρά κάθε φορά με ένα και μόνο σωματίδιο και μάλιστα ορισμένου είδους είναι προφανές ότι προκειμένου ένα σωματίδιο να ανιχνευθεί θα πρέπει ήδη να φέρει τις ιδιότητες που το καθιστούν αναγνωρίσιμο από τη συγκεκριμένη διάταξη. Έτσι έχουμε λόγους να πιστεύουμε ότι μετά τη σύζευξή τους τα σωματίδια εξακολουθούν να είναι φορείς εγγενών ιδιοτήτων και ως εκ τούτου να τα θεωρούμε μέρη ενός σύνθετου συστήματος.

5.5. Ολιστική συμπεριφορά και μη διαχωρισιμότητα

Η θέση του *μεταφυσικού ολισμού* (metaphysical holism) διατείνεται ότι η φύση κάποιων όλων δεν καθορίζεται, τουλάχιστον πλήρως, από τη φύση των μερών του. Εξειδικεύοντας παραπέρα διακρίνουμε μεταξύ του *οντολογικού ολισμού* (ontological holism), σύμφωνα με τον οποίο κάποια αντικείμενα που θεωρούμε ότι συντίθενται από συγκεκριμένα φυσικά μέρη στην πραγματικότητα δεν είναι σύνθετα και του *ολισμού των ιδιοτήτων* (properties holism), σύμφωνα με τον οποίο κάποια αντικείμενα φέρουν ιδιότητες που δεν καθορίζονται από τις ιδιότητες των φυσικών μερών του.¹⁹¹ Ο οντολογικός ολισμός εκφράζει την ισχυρή εκδοχή του ολισμού και σύμφωνα με τα παραπάνω λεχθέντα δεν προσφέρεται ως κατάλληλη εξήγηση της ολιστικής συμπεριφοράς των συζευγμένων κβαντικών συστημάτων. Θα μπορούσε όμως η ολιστική συμπεριφορά τέτοιων συστημάτων να οφείλεται στον ολισμό κάποιων ιδιοτήτων τους, οι οποίες δεν καθορίζονται από τις ιδιότητες των μερών τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα μέρη τους δεν υπάρχουν. Ο *σχεσιακός ολισμός* (relational holism) που προτείνει ο Paul Teller¹⁹² είναι μια μορφή ολισμού ιδιοτήτων και θα δούμε στη συνέχεια με ποιο τρόπο ερμηνεύει τα ολιστικά κβαντικά φαινόμενα. Προηγουμένως όμως είναι χρήσιμη μια αναφορά στη θέση του *αναγωγισμού* (reductionism), η οποία αποτελεί το αντίπαλο δέος του μεταφυσικού ολισμού, εφόσον διατείνεται ότι οι ιδιότητες κάθε σύνθετου όλου καθορίζονται πλήρως από τις ιδιότητες των μερών του. Ο αναγωγισμός ως μεταφυσική και μεθοδολογική αρχή στηρίζεται στην αρχή της διαχωρισιμότητας, η οποία όμως φαίνεται να παραβιάζεται στην περίπτωση των συζευγμένων κβαντικών συστημάτων.

¹⁹¹ Healey, R., A., (2016)

¹⁹² Teller, P., (1986) και Teller, P., (1989)

5.5.1 Ο αναγωγισμός και η αρχή της διαχωρισιμότητας στη κβαντική φυσική

Η θέση του αναγωγισμού είναι συμβατή με τη μεταφυσική εικόνα του κόσμου που καλλιέργησε η κλασική φυσική, εφόσον συστατικό στοιχείο αυτής της εικόνας είναι η ιδέα ότι ο κόσμος αποτελείται από εξατομικευμένες οντότητες, οι οποίες φέρουν τις δικές τους εγγενείς και μη σχεσιακές ιδιότητες. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι κάθε σύνθετο όλο δεν είναι τίποτα περισσότερο από το απλό άθροισμα των μερών του: οι μη σχεσιακές ιδιότητες των μερών δεν αρκούν για να καθορίσουν επακριβώς τις ιδιότητες του όλου. Μια τυχαία χωρική διάταξη των μερών ενός ρολογιού για παράδειγμα δεν είναι ρολόι. Η συμπεριφορά ενός ρολογιού καθορίζεται όχι μόνο από τις μη σχεσιακές ιδιότητες αλλά και από τις σχέσεις που διαμορφώνονται μεταξύ των μερών του. Κι αν το ρολόι ως τεχνητό αντικείμενο δεν νοείται ως φυσικό σύστημα, αντ' αυτού μπορούμε να αναφέρουμε την περίπτωση ενός αερίου και το γεγονός ότι η μακροσκοπική συμπεριφορά του δεν καθορίζεται μόνο από τις μη σχεσιακές ιδιότητες των μορίων που το αποτελούν. Οι τιμές των μακροσκοπικών μεγεθών που το χαρακτηρίζουν ως όλο καθορίζονται τόσο από την κινητική κατάσταση όσο και από τη μέση χωρική απόσταση μεταξύ τους. Εντούτοις η αναγκαία επίκληση των σχέσεων στην περιγραφή ενός σύνθετου όλου δεν θεωρείται πλήγμα κατά του αναγωγισμού, εφόσον οι οντότητες, οι οποίες εμπλέκονται στη διαμόρφωση συγκεκριμένων σχέσεων, θα πρέπει να φέρουν ιδιότητες χάριν των οποίων μπορούν να είναι τα συσχετιζόμενα μέρη· ή ισοδύναμα οι ιδιότητες των μερών εξηγούν τις σχέσεις που συγκροτούν το όλο.

Ένας από τους λόγους που ο αναγωγισμός ως μεταφυσική θέση κυριάρχησε στο πεδίο της κλασικής φυσικής είναι και το γεγονός ότι ως μέθοδος μελέτης των φυσικών συστημάτων αποδείχθηκε εξαιρετικά αποτελεσματικός. Η μελέτη των θερμοδυναμικών συστημάτων είναι κατά βάση αναγωγιστική, εφόσον στηρίζεται στην παραδοχή ότι η συμπεριφορά του όλου είναι το αποτέλεσμα της συμπεριφοράς του κάθε μέρους ξεχωριστά, η οποία καθορίζεται από τις ιδιότητες του καθένα και τις σχέσεις που διαμορφώνουν μεταξύ τους. Εύλογα η εφαρμογή της αναγωγιστικής μεθόδου προϋποθέτει ότι είμαστε σε θέση να διακρίνουμε τα μέρη από τα οποία συγκροτείται ένα όλο και ότι μπορούμε να περιγράψουμε το κάθε μέρος ξεχωριστά. Για τον λόγο αυτό ο αναγωγισμός στηρίζεται στη *αρχή της διαχωρισιμότητας* (separability principle) σύμφωνα με την οποία:

«Οι καταστάσεις χωροχρονικά χωριστών υποσυστημάτων, έστω $S_1, S_2, \dots, S_N$ ενός σύνθετου συστήματος S είναι ατομικά (individually) καλά ορισμένες και οι καταστάσεις του σύνθετου συστήματος είναι ολοκληρωτικά και πλήρως καθορισμένες από αυτές και τις φυσικές τους αλληλεπιδράσεις συμπεριλαμβανομένων και των χωροχρονικών τους σχέσεων»¹⁹³

¹⁹³ Karakostas, V. (2004), p284

Η αρχή της διαχωρισιμότητας ορίζει τη χωροχρονική απόσταση ως ικανή και αναγκαία συνθήκη δύο ή περισσότερα φυσικά συστήματα να βρίσκονται σε χωριστές καταστάσεις. Έτσι τα περιεχόμενα χωροχρονικά απομακρυσμένων περιοχών μπορούν να χαίρουν το καθένα ανεξάρτητης περιγραφής και να θεωρούνται χωριστά φυσικά συστήματα.¹⁹⁴ Κάθε τέτοιο σύστημα φέρει ιδιότητες (συμπεριλαμβανομένων των σχέσεων του, χωροχρονικών και μη, με άλλα συστήματα) με καλά καθορισμένες τιμές, οι οποίες θα αναδεικνύονται από κατάλληλες μετρήσεις. Επιπλέον το αποτέλεσμα κάθε τέτοιας μέτρησης θα καθορίζεται από την κατάσταση του συστήματος και μόνο από αυτήν, δεν θα εξαρτάται δηλαδή από τη διεξαγωγή και τα αποτελέσματα άλλων μετρήσεων που έχουν προηγηθεί τόσο στο ίδιο το σύστημα όσο και σε άλλα συστήματα, είτε αλληλεπιδρά με αυτά είτε όχι. Τούτων δεδομένων ο Howard χαρακτηρίζει την αρχή της διαχωρισιμότητας ως μια θεμελιώδη οντολογική αρχή, η οποία διέπει την εξατομίκευση των φυσικών συστημάτων και των καταστάσεών τους, ο καθορισμός των οποίων εξαντλεί την πραγματικότητα που η φυσική προσπαθεί να περιγράψει.¹⁹⁵ Είναι λοιπόν φανερός ο λόγος για τον οποίο η αρχή της διαχωρισιμότητας τίθεται ως προϋπόθεση της αναγωγιστικής μεθόδου: αν η πλήρης περιγραφή μιας φυσικής ολότητας συνίσταται στην περιγραφή των μερών της, τότε θα πρέπει τα μέρη να αποτελούν χωριστά συστήματα που χαίρουν ανεξάρτητης περιγραφής όπως ορίζει η αρχή της διαχωρισιμότητας.

Η αρχή της διαχωρισιμότητας αποτυγχάνει σε δύο περιπτώσεις. Η πρώτη αναφέρεται ως *μη διαχωρισιμότητα των καταστάσεων* (nonseparability of states) και είναι αυτή κατά την οποία χωροχρονικά απομακρυσμένα συστήματα είτε δεν βρίσκονται το καθένα στη δική του χωριστή κατάσταση, είτε η από κοινού κατάστασή τους δεν καθορίζεται από τις χωριστές καταστάσεις τους. Η δεύτερη αναφέρεται ως *μη διαχωρισιμότητα των συστημάτων* (nonseparability of systems) και είναι αυτή κατά την οποία τα περιεχόμενα χωροχρονικά απομακρυσμένων περιοχών δεν συνιστούν χωριστά συστήματα αλλά ένα απλό σύστημα.¹⁹⁶ Πάντως σε κάθε περίπτωση μη διαχωρισιμότητας η χωροχρονική απόσταση δύο περιοχών δεν αποτελεί ικανή συνθήκη ώστε τα περιεχόμενά τους να αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστά συστήματα που το καθένα βρίσκεται στη δική του κατάσταση. Συστήματα που παραβιάζουν την αρχή της διαχωρισιμότητας είναι αυτά τα οποία παρόλο που εκτείνονται σε χωροχρονικά χωριστές περιοχές τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του περιεχομένου της κάθε περιοχής δεν καθορίζουν τουλάχιστον πλήρως την κατάστασή τους.

Οι κβαντικές θεωρίες, σε αντίθεση με τη κλασική μηχανική και τη γενική θεωρία της

¹⁹⁴ Στις μη σχετικιστικές φυσικές θεωρίες ικανή και αναγκαία συνθήκη της διαχωρισιμότητας των συστημάτων αποτελεί η *χωρική* τους απόσταση αντί της χωροχρονικής η οποία κρίνει τη διαχωρισιμότητα των συστημάτων στις σχετικιστικές θεωρίες.

¹⁹⁵ Howard, R., (1989), p226

¹⁹⁶ Healey, R., A., (2015), SEP - Howard, R., (1989), p226

σχετικότητας, είναι μη διαχωρίσιμες θεωρίες, που σημαίνει ότι φυσικά συστήματα που έχουν αλληλεπιδράσει κατά το παρελθόν και εκτείνονται τώρα σε χωριστές χωρικές περιοχές δεν βρίσκονται την ίδια στιγμή σε χωριστές καταστάσεις. Η μη διαχωρισιμότητα είναι ένα από τα πλέον καινοτόμα στοιχεία του κβαντομηχανικού φορμαλισμού, το οποίο συλλαμβάνει τις συνέπειες των αλληλεπιδράσεων στη συγκρότηση σύνθετων κβαντικών συστημάτων.¹⁹⁷ Έστω ότι ένα σύνθετο σύστημα S αποτελείται από δύο υποσυστήματα, S_1 και S_2 , των οποίων οι καταστάσεις αναπαριστάνονται αντίστοιχα στους χώρους Hilbert $\mathcal{H}_1$ και $\mathcal{H}_2$. Το σύνθετο σύστημα S συγκροτείται, όταν και εφόσον κάποια χρονική στιγμή τα υποσυστήματα S_1 και S_2 αλληλεπιδράσουν μέσω κάποιας φυσικής δύναμης. Από αυτή τη στιγμή και μετά η κατάσταση του συστήματος θα αναπαριστάται από διανύσματα του χώρου $\mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_2$, τα οποία γενικά έχουν τη μορφή $|\psi\rangle = \sum_i c_i |x_i\rangle |y_i\rangle$ όπου ισχύει $\sum_i |c_i|^2 = 1$ και τα σύνολα των διανυσμάτων $|x_i\rangle$ και $|y_i\rangle$ σχηματίζουν το καθένα μια ορθοκανονική βάση στους χώρους $\mathcal{H}_1$ και $\mathcal{H}_2$ αντίστοιχα. Στη σπάνια περίπτωση που για κάποιον από τους συντελεστές του αθροίσματος ισχύει $|c_i|^2 = 1$ το διάνυσμα κατάστασης του συστήματος λαμβάνει τη μορφή ενός απλού γινομένου, $|\psi\rangle = |x_i\rangle |y_i\rangle$ και τότε η κατάσταση του συστήματος S ανάγεται στις καταστάσεις των υποσυστημάτων S_1 και S_2 . Σύμφωνα με την καθιερωμένη ερμηνεία του κβαντομηχανικού φορμαλισμού, αυτή είναι η μόνη περίπτωση που μπορεί κάποιος να θεωρεί ότι το κάθε υποσύστημα βρίσκεται στη δική του καθαρή κατάσταση και ότι η κατάσταση του όλου καθορίζεται από τις καταστάσεις των μερών του. Σε κάθε άλλη περίπτωση το διάνυσμα κατάστασης του S είναι ένα άθροισμα γινομένων, γεγονός το οποίο σηματοδοτεί την ύπαρξη κβαντικών συσχετίσεων μεταξύ των S_1 και S_2 ώστε το όλο σύστημα να χαρακτηρίζεται συζευγμένο.¹⁹⁸ Τα υποσυστήματα των συζευγμένων συστημάτων συστηματικά αποτυγχάνουν να τύχουν μιας εξατομικευμένης περιγραφής ώστε να θεωρούμε ότι το καθένα βρίσκεται στη δική του κατάσταση παρόλο που πολλές φορές συμβαίνει να εκτείνονται σε χωριστές χωροχρονικές περιοχές. Στην απλή περίπτωση των ηλεκτρονίων της singlet κατάστασης το σύνθετο σύστημα βρίσκεται σε μια ιδιοκατάσταση του σπιν με ιδιοτιμή μηδέν χωρίς αυτό να σημαίνει ότι το κάθε ηλεκτρόνιο βρίσκεται επίσης σε μια

¹⁹⁷ Ο Arageorgis έχει δείξει ότι υπάρχουν μοντέλα που διαμορφώνονται στο πλαίσιο της σχετικιστικής κβαντικής θεωρίας πεδίου όπου οι έννοιες «μέρος», «όλο» ή «εγγενής ιδιότητα» χαρακτηριστικές της φιλοσοφικής εξήγησης του ολισμού μπορούν να έχουν νόημα. Ο ίδιος προτείνει μέσω μιας αναλογίας με αντίστοιχα μοντέλα της κβαντικής μηχανικής, ένα διπλό δυναμικό σύστημα ενός Klein-Gordon πεδίου σε ένα χώρο Minkowski όπου τα δύο χωροχρονικά χωριστά δυναμικά συστήματα (ας πούμε το αριστερό και το δεξιό) μπορούν να θεωρούνται υποσυστήματα (μέρη) του σύνθετου διπλού δυναμικού συστήματος (όλο) με τρόπο κατάλληλο προς τη φιλοσοφική ανάλυση του ολισμού, εφόσον πληρούνται οι δύο βασικές προϋποθέσεις: πρώτον ότι το όλον είναι τέτοιο ώστε να θεωρείται ότι καθ' όλη τη διάρκεια της δυναμικής του εξέλιξης συντίθεται πλήρως από δύο δυναμικά συστήματα, το αριστερό και το δεξιό, και δεύτερον ότι έχει νόημα να μιλάμε για εγγενείς ιδιότητες του αριστερού και του δεξιού δυναμικού συστήματος. [Arageorgis, A., (2013)]

¹⁹⁸ Karakostas, B., (2004), p288

ιδιοκατάσταση του σπιν. Τα ηλεκτρόνια της singlet κατάστασης δεν φέρουν την ιδιότητα του σπιν και δεν βρίσκονται το καθένα σε μια ορισμένη κατάσταση ακόμα κι αν μετά την αλληλεπίδρασή τους ταξιδεύουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις ώστε να θεωρούνται χωρικά απομακρυσμένα.

Τα παραπάνω πέραν κάθε αμφιβολίας δείχνουν ότι η αρχή της διαχωρισιμότητας παραβιάζεται στη κβαντική μηχανική. Ενδεχομένως όμως κάποιος να επιχειρήσει να επαναφέρει την αρχή της διαχωρισιμότητας στην κβαντική μηχανική ισχυριζόμενος ότι τα συστατικά ενός συζευγμένου συστήματος βρίσκονται το καθένα σε μια μικτή κατάσταση. Η απόδοση μικτών καταστάσεων είναι μια δυνατότητα που παρέχει ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός. Ας μιλήσουμε και πάλι για την singlet κατάσταση $|\psi_{sin}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow_z\rangle_1|\downarrow_z\rangle_2 - |\downarrow_z\rangle_1|\uparrow_z\rangle_2)$ (5.4) όπου

$\{|\uparrow_z\rangle_1, |\downarrow_z\rangle_1\}$ και $\{|\uparrow_z\rangle_2, |\downarrow_z\rangle_2\}$ είναι ορθοκανονικές βάσεις δύο όμοιων χώρων Hilbert $\mathcal{H}_1$ και $\mathcal{H}_2$, οι οποίες συγκροτούνται από τις ιδιοκαταστάσεις του σπιν στην z διεύθυνση. Κατόπιν τούτου οι τελεστές: $W_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow_z\rangle_1\langle\uparrow_z|_1 + |\downarrow_z\rangle_1\langle\downarrow_z|_1)$ και $W_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow_z\rangle_2\langle\uparrow_z|_2 + |\downarrow_z\rangle_2\langle\downarrow_z|_2)$

που δρουν στους χώρους $\mathcal{H}_1$ και $\mathcal{H}_2$ αντίστοιχα, αναπαριστούν τις μικτές καταστάσεις των δύο σωματιδίων του singlet συστήματος. Η διαδικασία απόδοσης μικτών καταστάσεων είναι δυνατή σε κάθε περίπτωση συζευγμένης κατάστασης και το γεγονός αυτό ίσως να δημιουργεί κάποιο χώρο για τη διάσωση της αρχής της διαχωρισιμότητας στην κβαντική μηχανική. Εντούτοις οι μικτές καταστάσεις αποδίδονται στα μέρη ενός συστήματος μέσω μιας μαθηματικής διαδικασίας και μόνο υπό το φως αυτής της διαδικασίας εκλαμβάνονται ως «χωριστές». Όμως η ύπαρξη μιας μαθηματικής διαδικασίας απόδοσης καταστάσεων στα μέρη ενός συστήματος δεν συνεπάγεται από μόνη της τη διάσωση της αρχής της διαχωρισιμότητας. Όπως επισημαίνει η Michela Massimi, θα πρέπει οι κβαντικές καταστάσεις των υποσυστημάτων του να είναι και οντολογικά διαχωρίσιμες, κάτι που συμβαίνει όταν ικανοποιούνται οι δύο παρακάτω συνθήκες, στις οποίες η Massimi αναφέρεται ως *ορθόδοξο κριτήριο* οντολογικής διαχωρισιμότητας των καταστάσεων¹⁹⁹:

- 1) Κάθε υποσύστημα έχει καθορισμένες (αν και πιθανόν άγνωστες) τιμές για ένα πλήρες σύνολο σύμμετρων παρατηρήσιμων που σχετίζονται μόνο με το συγκεκριμένο υποσύστημα.
- 2) Οι προκαθορισμένες οντολογικά χωριστές καταστάσεις των υποσυστημάτων καθορίζουν πλήρως την κοινή τους κατάσταση.

Από τη σκοπιά του φορμαλισμού οι δύο αυτές συνθήκες ικανοποιούνται, η πρώτη όταν το θεωρούμενο υποσύστημα βρίσκεται σε καθαρή κατάσταση, δηλαδή αναπαριστάται από ένα διάνυσμα στο χώρο Hilbert και η δεύτερη όταν η κατάσταση του όλου συστήματος αποδίδεται

¹⁹⁹ Massimi, M., (2001) σελ.321

από το γινόμενο των καταστάσεων, τις οποίες αποδίδουμε στο κάθε υποσύστημα ξεχωριστά. Τα μίγματα παραβιάζουν και τις δύο αυτές συνθήκες. Παραβιάζουν καταρχήν τετριμμένα την πρώτη, διότι ως μίγματα διαφέρουν εξ ορισμού από τις καθαρές καταστάσεις, αλλά και τη δεύτερη, διότι οι συζευγμένες καταστάσεις όμοιων σωματιδίων αναπαριστώνται ως γραμμικός συνδυασμός γινομένων που δεν παραγοντοποιείται.

Ωστόσο, ακόμη κι αν δεχθούμε ότι οι μικτές καταστάσεις παρέχουν πληροφορίες για το κάθε σωματίδιο ξεχωριστά, οι πληροφορίες αυτές όχι μόνο δεν συνιστούν πλήρη περιγραφή του όλου, αλλά υποκαθορίζουν και την κατάστασή του. Ο Karakostas δείχνει ότι οι μικτές καταστάσεις W_1 και W_2 , στις οποίες ανάγεται η singlet κατάσταση, αποδίδονται επίσης και σε μια σειρά άλλων περιπτώσεων, μεταξύ των οποίων και η triplet κατάσταση

$$|\psi_{tri}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow_z\rangle_1|\downarrow_z\rangle_2 + |\downarrow_z\rangle_1|\uparrow_z\rangle_2) \quad (5.5).^{200}$$

Παρόλο που οι $|\psi_{sin}\rangle$ και $|\psi_{tri}\rangle$ είναι διαφορετικές καταστάσεις σύνθετων συστημάτων και αποδίδουν διαφορετικές πιθανότητες στα δυνατά αποτελέσματα συγκεκριμένων τοπικών μετρήσεων του σπιν, οι μικτές καταστάσεις των υποσυστημάτων τους ταυτίζονται. Είναι συνεπώς προφανές ότι οι πληροφορίες που δίνουν οι μικτές καταστάσεις δεν αρκούν για την πλήρη ανασυγκρότηση της καθαρής κατάστασης του όλου²⁰¹ και ως εκ τούτου το όλο μπορεί να θεωρείται με ένα μη τετριμμένο τρόπο κάτι περισσότερο από τα μέρη του.²⁰² Αυτό όμως σημαίνει τη μη διαχωρισιμότητα των συστημάτων, που φαίνεται να είναι ένα γενικευμένο φαινόμενο του υποατομικού κόσμου, το οποίο «...αποκλείει με ένα καινοτόμο τρόπο τη δυνατότητα ορισμού εξατομικευμένων αντικειμένων ανεξάρτητα από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες εκδηλώνεται η συμπεριφορά τους».²⁰³ Στη κβαντική μηχανική υπάρχει μια εγγενής αδυναμία να απομονώσουμε ένα από τα σωματίδια μιας συζευγμένης

²⁰⁰ Η διαφορά της triplet από την singlet κατάσταση εντοπίζεται στην τιμή του σπιν του όλου συστήματος η οποία στην πρώτη περίπτωση ισούται με ένα και στη δεύτερη με μηδέν. Να επισημάνουμε ότι η triplet κατάσταση παρά το γεγονός ότι αναπαριστάται από ένα συμμετρικό διάνυσμα δεν παραβιάζει την απαγορευτική αρχή του Pauli. Στην πραγματικότητα το διάνυσμα (5.5), όπως άλλωστε και το διάνυσμα (5.4) που αναπαριστά την singlet κατάσταση, δεν συνιστούν πλήρη περιγραφή του συστήματος, διότι και στις δύο περιπτώσεις λείπει το χωρικό μέρος της κυματοσυνάρτησης το οποίο μαζί με το διάνυσμα που αναπαριστά την κατάσταση σπιν είναι απαραίτητο για την πλήρη περιγραφή του συστήματος των δύο ηλεκτρονίων. Η αντισυμμετρία του συστήματος διασφαλίζεται, διότι αν το διάνυσμα του σπιν είναι συμμετρικό, τότε η χωρική του κατάσταση θα είναι αντισυμμετρική και αντιστρόφως. Για τον λόγο αυτό στην triplet κατάσταση είναι δυνατόν δύο ηλεκτρόνια ενός και του αυτού συστήματος να βρίσκονται στην ίδια κατάσταση σπιν, τότε όμως θα πρέπει να βρίσκονται σε διαφορετικές χωρικές καταστάσεις και θα διαφέρουν ως προς τον μαγνητικό κβαντικό αριθμό.

²⁰¹ Το παράδειγμα της singlet και triplet κατάστασης δείχνει ότι οι μικτές καταστάσεις δεν παρέχουν μία βάση πάνω στην οποία επιγράφεται η κατάσταση του όλου συστήματος. Πράγματι αν με A συμβολίσουμε το σύνολο των ιδιοτήτων που φέρει ένα σύστημα ως όλο και με B το σύνολο των ιδιοτήτων που μέσω των μικτών καταστάσεων αποδίδονται στα υποσυστήματά του τότε το A επιγράφεται πάνω στο B όταν δύο συστήματα που είναι διακρίσιμα ως προς τις ιδιότητες A, είναι κατ' ανάγκη διακρίσιμα και ως προς τις ιδιότητες B. Όμως κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει με το παράδειγμα των singlet και triplet συστημάτων. Η αρχή της διαχωρισιμότητας αξιώνει το A να επιγράφεται στο B και ως εκ τούτου η αρχή δεν ισχύει για τις μικτές καταστάσεις.

²⁰² Karakostas (2004), p291-2

²⁰³ Karakostas (2012), p 52

κατάστασης ως ένα ξεχωριστό αντικείμενο αντίληψης, σκέψης και γλωσσικής αναφοράς, να προχωρήσουμε με άλλα λόγια σε μια πράξη εξατομίκευσης. Κάθε αναφορά σε μεμονωμένα σωματίδια συζευγμένων καταστάσεων γίνεται μόνο σε σχέση με το όλο σύστημα και τη «θέση» του μέσα σε αυτό. Αποτελεί ωστόσο αντικείμενο συζήτησης η ερμηνεία του φαινομένου και οι συνακόλουθες συνέπειες της. Έτσι έχει σημασία αν η μη διαχωρισσιμότητα ορισμένων κβαντικών καταστάσεων οφείλεται σε κάποια μορφή ολισμού των ιδιοτήτων ή σε μια ισχυρή μορφή οντολογικού ολισμού, ήτοι έχει σημασία αν πρόκειται για μη διαχωρισσιμότητα μόνο των καταστάσεων ή και των συστημάτων.

5.5.2 Ο σχεσιακός ολισμός

Οφείλουμε πάντως να παρατηρήσουμε ότι υπάρχει γενικά μια δυσκολία να γίνει αποδεκτή η θέση του οντολογικού ολισμού για τα συζευγμένα κβαντικά συστήματα. Η πηγή αυτής της δυσκολίας βρίσκεται στο γεγονός ότι η διαδικασία προετοιμασίας μιας συζευγμένης κατάστασης συνίσταται σε ένα συγκεκριμένο συμβάν αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο ή περισσότερων συστημάτων/σωματιδίων, τα οποία είναι εύλογο να θεωρούμε ότι εξακολουθούν να υπάρχουν και μετά απ' αυτό ως δύο διαφορετικά (πιθανόν μη διακρίσιμα) υποσυστήματα/σωματίδια. Αν δε λάβουμε επιπλέον υπόψη μας ότι από μια διαδικασία αποσύζευξης του συστήματος αναδύονται δύο συστήματα/σωματίδια όμοια με τα αρχικά, τότε τι λόγους αλήθεια έχουμε να απορρίπτουμε ότι τα συζευγμένα κβαντικά συστήματα είναι μη διαχωρίσιμα μεν, σύνθετα δε; Ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός πάντως δεν δίνει και ούτε υπονοεί κάποια απάντηση, διότι η περιγραφή των κβαντικών καταστάσεων δεν είναι απεικονιστική με τον τρόπο που συμβαίνει στην κλασική φυσική. Γίνεται μέσα από την προοπτική μιας μέτρησης και αφορά την απόδοση πιθανοτήτων στα δυνατά αποτελέσματα της. Έτσι το βάρος της εξήγησης το επωμίζεται η μεταφυσική, μόνο που οι μεταφυσικές εξηγήσεις, σε αντίθεση με τις φυσικές, δεν είναι εμπειρικά ελέγξιμες· γίνονται αποδεκτές για τις πραγματολογικές αρετές τους, διότι οφείλουν να είναι λογικά συνεπείς, απλές, οντολογικά φειδωλές και κυρίως να ανταποκρίνονται στο αίτημα της κατανόησης. Όταν όμως ένα μη διαχωρίσιμο σύστημα δημιουργείται μετά την αλληλεπίδραση δύο ξεχωριστών υποσυστημάτων και διαχωρίζεται όταν υποβληθεί στην κατάλληλη μέτρηση, δεν θα ήταν συνεπές, απλό και κατανοητό να θεωρούμε ότι το σύστημα παραμένει μετά τη δημιουργία του και πριν τη μέτρηση ένα σύνθετο σύστημα; Αν όχι, τότε θα πρέπει να δεχθούμε ότι τα σωματίδια που η θεωρία προβάλλει ως δομικά συστατικά του κόσμου καταστρέφονται και δημιουργούνται μέσω διαδικασιών που η ίδια δεν περιγράφει ως τέτοιες. Είναι προφανές ότι η αποσύζευξη της singlet κατάστασης, μέσω της οποίας αναδύονται δύο ηλεκτρόνια με αντίθετο σπιν, δεν είναι μια διαδικασία καταστροφής και δημιουργίας όπως αυτή

που λαμβάνει χώρα όταν ένα νετρόνιο μέσω της ασθενούς αλληλεπίδρασης διασπάται σε ένα πρωτόνιο, ένα ηλεκτρόνιο και ένα αντινεutrino.

Σε τελική ανάλυση ο οντολογικός ολισμός είναι πολύ ισχυρή μορφή ολισμού, όπου δεν χρειάζεται να καταφύγουμε προκειμένου να εξηγήσουμε τη μη διαχωρισσιμότητα ορισμένων κβαντικών καταστάσεων. Αντ' αυτού θα ήταν προτιμότερο να επιλέξουμε ως κατάλληλη εξήγηση μια μορφή ολισμού ιδιοτήτων, η οποία θα μας επέτρεπε να θεωρούμε ότι τα συζευγμένα κβαντικά συστήματα αποτελούνται από υποσυστήματα, τα οποία, παρά τη μη διαχωρισσιμότητά τους, διατηρούν την αριθμητική τους διαφορά. Ο σχεσιακός ολισμός που προτείνει ο Teller είναι μια τέτοια μορφή ολισμού.

Για τον ορισμό του σχεσιακού ολισμού ο Teller χρησιμοποιεί την έννοια της επιγένεσης (αντί του αναγωγισμού), διότι η εφαρμογή της σε δύο σύνολα ιδιοτήτων δεν απαιτεί καθαρές αναγωγές του ενός συνόλου στον άλλο. Στο πλαίσιο μιας αληθούς και περιγραφικά πλήρους φυσικής θεωρίας η επιγένεση ορίζει ότι όταν δύο μοντέλα της θεωρίας συμφωνούν ως προς όλες τις ιδιότητες και τις σχέσεις μεταξύ των βασικών μερών ενός ή περισσότερων αντικειμένων που ανήκουν στο πεδίο εφαρμογής της, θα συμφωνούν επίσης και ως προς τις ιδιότητες και τις σχέσεις αυτών των αντικειμένων.²⁰⁴ Στην περίπτωση αυτή οι ιδιότητες και οι σχέσεις μεταξύ των μερών ενός συστήματος αποτελούν τη βάση επιγένεσης των ιδιοτήτων και των σχέσεων του κάθε μοντέλου της θεωρίας. Ισοδύναμα η επιγένεση ορίζει ότι καμία μεταβολή στις ιδιότητες και σχέσεις ενός συστήματος δεν συμβαίνει χωρίς να υπάρξει μεταβολή στη βάση επιγένεσης. Κατά τον Teller ο σχεσιακός ολισμός σημαίνει μη επιγένεση διότι αξιώνει:

«αντικείμενα τα οποία τουλάχιστον σε κάποιες συνθήκες μπορούμε να αναγνωρίσουμε ως χωριστά άτομα (individuals) (να) έχουν έμφυτες (inherent) σχέσεις, δηλαδή σχέσεις που δεν επαίγονται πάνω σε μη σχεσιακές ιδιότητες των χωριστών ατόμων»²⁰⁵

Τι είναι όμως οι έμφυτες σχέσεις και πώς εισάγονται στην κβαντική μηχανική; Πρόκειται, λέει ο Teller, για σχέσεις που διαμορφώνονται χάριν ενός κατ' εξοχήν κβαντικού φαινομένου, αυτό της υπέρθεσης των ιδιοτήτων, και εξηγούν την ολιστική συμπεριφορά ενός συστήματος αντικειμένων, τα οποία ωστόσο εξακολουθούν να μετρούν εντός του συστήματος ως διαφορετικά αντικείμενα. Ο Teller ισχυρίζεται ότι αρκεί ένα αντικείμενο να φέρει έστω και μια μη σχεσιακή ιδιότητα για να μετράει ως κάτι ξεχωριστό και ότι οι έμφυτες σχέσεις διαμορφώνονται μεταξύ αντικειμένων που φέρουν τουλάχιστον από μία μη σχεσιακή ιδιότητα το καθένα, ώστε να εξακολουθούν να μετρούν ως δύο αντικείμενα. Βέβαια οι εν λόγω σχέσεις αποδίδονται στο σύστημα μόνο ως όλο και καμία πληροφορία δεν προκύπτει από αυτές για τις μη σχεσιακές τους ιδιότητες. Θα δούμε όμως ότι οι έμφυτες σχέσεις περιέχουν πληροφορίες που

²⁰⁴ Healey, R., A., (2016)

²⁰⁵ Teller, P., (1986), p73

αφορούν τα μέρη του συστήματος με τρόπο που παραβιάζει την αρχή της διαχωρισιμότητας.

Έστω για παράδειγμα ότι $|x_1\rangle$ και $|x_2\rangle$ είναι ιδιοκαταστάσεις ενός παρατηρήσιμου με ιδιοτιμές x_1 και x_2 αντίστοιχα. Όταν δύο σωματίδια, ας πούμε a και b , φέρουν τις ιδιότητες x_1 και x_2 αντίστοιχα, τότε η κατάσταση τους ως σύστημα αναπαριστάνεται από το γινόμενο $|x_1\rangle|x_2\rangle$ των ιδιοκαταστάσεων $|x_1\rangle$ και $|x_2\rangle$. Το γινόμενο $|x_1\rangle|x_2\rangle$ είναι ιδιοκατάσταση ενός σύνθετου παρατηρήσιμου που η ιδιοτιμή του αποδίδεται στο σύστημα ως όλο και θα μπορούσε να θεωρηθεί σχεσιακή ιδιότητά του. Εντούτοις δεν είναι έμφυτα σχεσιακή, εφόσον η ιδιοκατάσταση $|x_1\rangle|x_2\rangle$ ανάγεται στις ιδιοκαταστάσεις $|x_1\rangle$ και $|x_2\rangle$ στις οποίες τα δύο σωματίδια, ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, κατέχουν τις αντίστοιχες ιδιότητες. Τις ίδιες ακριβώς σκέψεις κάνουμε για το γινόμενο $|x_2\rangle|x_1\rangle$ που αποδίδει την ιδιότητα x_2 στο a και την x_1 στο b και ως εκ τούτου αποτελεί ιδιοκατάσταση του ίδιου σύνθετου παρατηρήσιμου. Όμως όταν δίνονται οι δύο αυτές ιδιοκαταστάσεις, τότε η υπέρθεσή τους $c_1|x_1\rangle|x_2\rangle + c_2|x_2\rangle|x_1\rangle$ είναι επίσης μια ιδιοκατάσταση, όπου μπορεί να βρεθεί το σύστημα των δύο σωματιδίων και όταν αυτό συμβεί, τότε αποκλείουμε το σύστημα να βρίσκεται σε μια από τις ιδιοκαταστάσεις $|x_1\rangle|x_2\rangle$ ή $|x_2\rangle|x_1\rangle$ και το κάθε σωματίδιο να κατέχει κάποια ιδιότητα, είτε την x_1 είτε την x_2 . Στη νέα αυτή ιδιοκατάσταση το σύστημα κατέχει επίσης μια σύνθετη ιδιότητα, όμως αυτή είναι μια νέα ιδιότητα, η οποία δεν επιγίνεται στις ιδιότητες x_1 και x_2 , αλλά ούτε και σε κάποια μη σχεσιακή ιδιότητα των σωματιδίων a και b . Αυτή η νέα ιδιότητα είναι που ο Teller ονομάζει *έμφυτα σχεσιακή* και παρόλο που αφορά δύο διαφορετικά σωματίδια αποδίδεται στο όλο σύστημα και καμιά πληροφορία δεν αντλούμε από αυτήν για την κατάσταση του κάθε σωματιδίου ξεχωριστά ακόμα κι αν υποθέσουμε ότι τα σωματίδια βρίσκονται σε κάποια κατάσταση.²⁰⁶

Απευθυνόμενος σε αυτούς οι οποίοι αντιμετωπίζουν τις έμφυτες σχεσιακές ιδιότητες με την υποψία ότι πρόκειται για φαντάσματα του φορμαλισμού, ο Teller επισημαίνει ότι, αν και δεν συμβαίνει πάντα, υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες οι ιδιότητες αυτές έχουν φυσική σημασία και μάλιστα για κάποιες από αυτές υπάρχει δυνατότητα ανεξάρτητης επιβεβαίωσης. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα που συναντάμε στο EPR-επιχείρημα όπου η υπέρθεση των ιδιοκαταστάσεων θέσης του κάθε σωματιδίου χωριστά οδηγεί σε μια ιδιοκατάσταση της απόστασης μεταξύ τους που είναι επίσης και ιδιοκατάσταση της συνολικής ορμής τους. Οι ιδιότητες αυτές είναι έμφυτα σχεσιακές, διότι δεν εξαρτώνται από τις συγκεκριμένες θέσεις ή ορμές του κάθε σωματιδίου και αυτό συμβαίνει, όπως ισχυρίζεται ο Teller, ανεξάρτητα από την

²⁰⁶ Teller, P., (1986), p78

πληρότητα ή μη της κβαντικής θεωρίας. Ακόμα κι αν κάποιος δέχεται τη μη πληρότητα της κβαντικής μηχανικής και υποθέσει ότι τα σωματίδια του συστήματος έχουν το καθένα καθορισμένη θέση και ορμή, που δεν προβλέπονται ούτε περιγράφονται από την κβαντική μηχανική, η EPR σχεσιακή ιδιότητα δεν εξαρτάται από και δεν επιγίνεται σε υποτιθέμενες μη σχεσιακές ιδιότητες των επιμέρους σωματιδίων.²⁰⁷

5.6 Συνοψίζοντας...

Με δεδομένη τη διάκριση μεταξύ ατομικότητας και αριθμησιμότητας οι υποστηρικτές της «κυρίαρχης» και της «εναλλακτικής» άποψης συμφωνούν ότι τα κβαντικά σωματίδια δεν είναι άτομα (individuals) τουλάχιστον χάριν μιας ιδιότητας και υπό αυτή την έννοια η ΑΤμΔ αποτυγχάνει ως αρχή ατομικότητας. Βέβαια η αποτυχία της ΑΤμΔ ως αρχή ατομικότητας δεν υπονοεί ότι κάποια άλλη αρχή θα ήταν κατάλληλη γι αυτό το σκοπό. Τα ίδια σωματίδια, τα οποία υπό ορισμένες συνθήκες αποτυγχάνουν να είναι διακρίσιμα ώστε να θεωρούνται άτομα, επιδεικνύουν εξατομικευμένη συμπεριφορά σε κάποιες άλλες συνθήκες. Έτσι η κβαντική φυσική δεν δείχνει ότι θα πρέπει να αναζητήσουμε μια άλλη αρχή ατομικότητας αλλά ότι η έννοια της ατομικότητας και κατ' επέκταση η έννοια του αντικειμένου χρήζουν επαναπροσδιορισμού.

Κατόπιν τούτου η ύπαρξη καθαρών αριθμητικών διαφορών γίνεται το κεντρικό στοιχείο της φιλοσοφικής αντιπαράθεσης. Δύο διλήμματα φαίνεται να αναδεικνύουν τον πυρήνα των διαφωνιών:

1. Είναι η αριθμησιμότητα των κβαντικών συστημάτων πρωταρχική ή πρέπει να ανάγεται στη διακρισιμότητα των μερών τους;
2. Οφείλουμε να ερμηνεύουμε την αριθμησιμότητα των κβαντικών συστημάτων με ενιαίο τρόπο ή είναι θεμιτό να προβαίνουμε σε διακρίσεις που δεν προκύπτουν από τις κβαντικές αναπαραστάσεις προκειμένου να διασωθεί η αρχή του Leibniz;

Η προτεραιότητα που δίνεται στη σειρά με την οποία αντιμετωπίζονται τα δύο αυτά διλήμματα αποδεικνύεται καθοριστική για τη συνέχεια. Για τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης οι έννοιες της ταυτότητας και της διαφοράς δεν είναι πρωταρχικές· το πλήθος των αντικειμένων που υπάρχουν σε μια δεδομένη κατάσταση στοιχειοθετείται από την ύπαρξη ίσου πλήθους ποιοτικών διαφορών. Για τον λόγο αυτό η αριθμησιμότητα των κβαντικών συστημάτων αναγνωρίζεται ως αριθμησιμότητα σωματιδίων αν και μόνο αν ανάγεται στη διακρισιμότητα των μερών τους. Η προτεραιότητα που οι υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης δίνουν στην αναγωγή των αριθμητικών διαφορών σε ποιοτικές τους οδηγεί σε

²⁰⁷ Teller, P. (1986) p79

οντολογικές διακρίσεις, όπως τη διάκριση μεταξύ φερμιονικών και μποζονικών συστημάτων, που δεν συνάδουν με την ιδέα μιας ενιαίας οντολογικής ερμηνείας του κβαντομηχανικού φορμαλισμού. Στο πλαίσιο της «εναλλακτικής άποψης» αποδεκτή ερμηνεία του φορμαλισμού γίνεται μόνο αυτή που δεν παραβιάζει την ΑΤμΔ. Έτσι στην περίπτωση ενός συστήματος πολλών όμοιων μποζονίων η αριθμησιμότητά τους δεν ερμηνεύεται ως αριθμητική διαφορά όμοιων σωματιδίων, διότι η αναγωγή της σε ποιοτική δεν είναι δυνατή. Όμως η επιλεκτική ερμηνεία του φορμαλισμού μιας φυσικής θεωρίας δεν είναι ο κατάλληλος τρόπος να ερμηνεύουμε μια φυσική θεωρία. Φερμιονικά και μποζονικά συστήματα θα πρέπει να ερμηνεύονται με τον ίδιο τρόπο κι αν η ΑΤμΔ αποτυγχάνει να εξηγήσει την αριθμητική διαφορά σε έναν από του δύο τύπους συστημάτων θα αποτυγχάνει γενικά. Τότε είμαστε υποχρεωμένοι να δεχθούμε ότι στη φύση υπάρχουν καθαρές αριθμητικές διαφορές και ότι η αριθμησιμότητα των κβαντικών συστημάτων ερμηνεύεται ως αριθμητική διαφορά των σωματιδίων που τα συγκροτούν, θεωρείται δηλαδή πρωταρχική και μη αναγώγιμη. Εντούτοις ερμηνεία της αριθμησιμότητας σε αριθμητική διαφορά μη διακρίσιμων σωματιδίων δεν είναι αυθαίρετη· θεμελιώνεται σε δεδομένα του φορμαλισμού και ελέγχεται μέσω δύο πειραματικών διαδικασιών, του πειράματος προετοιμασίας από τη μια και της μέτρησης από την άλλη.

6

Φυσικές Θεωρίες και Θεωρίες Αναφοράς

Τόσο στην κλασική όσο και στην κβαντική μηχανική γίνεται εκτεταμένα χρήση ονομάτων, ετικετών ή δεικτών, τα οποία φέρονται να λειτουργούν ως γλωσσικά μέσα αναφοράς. Ειδικότερα οι δείκτες που εμφανίζονται στις αναπαραστάσεις των φυσικών καταστάσεων ενός συστήματος είναι στοιχεία του φορμαλισμού τους που η χρήση τους έχει ως σκοπό την αναφορά στα επιμέρους σωματίδια του συστήματος. Ωστόσο η εμφάνιση και μόνο των δεικτών δεν εγγυάται την αποτελεσματικότητα της χρήσης τους. Μια πράξη αναφοράς, για να είναι επιτυχής στο πλαίσιο μιας στοιχειώδους φυσικής θεωρίας θα πρέπει να πληρούνται δύο προϋποθέσεις. Η πρώτη είναι να γίνεται σωστά η χρήση του ονόματος από τον χρήστη και η δεύτερη είναι η *ικανότητα* του ίδιου του αντικειμένου να γίνεται φορέας ενός ονόματος. Η ικανότητα αυτή πηγάζει από το ίδιο το αντικείμενο: ένα αντικείμενο έχει την ικανότητα να φέρει ένα όνομα όταν υπάρχει με τρόπο ώστε να επιτρέπει στον χρήστη του ονόματός του να το ξεχωρίζει ακόμα και μέσα από μια συλλογή όμοιων αντικειμένων και να το αναγνωρίζει ως το ίδιο αντικείμενο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Με άλλα λόγια τα αντικείμενα μιας φυσικής θεωρίας καταφέρνουν να γίνονται φορείς ονομάτων όταν η περιγραφή τους τα φέρει να συμπεριφέρονται ως άτομα. Ισχύει και το αντίστροφο! Ένα όνομα για να ανταποκριθεί στον ρόλο του θα πρέπει να συνδεθεί με ένα αντικείμενο που επιδεικνύει εξατομικευμένη συμπεριφορά.

Συνεπώς οι πράξεις αναφοράς προϋποθέτουν συγκεκριμένη οντολογία που τις καθιστά δυνατές. Έτσι, αν η έρευνα δείξει ότι οι δείκτες του κλασικού ή κβαντικού φορμαλισμού ανταποκρίνονται στον αναφορικό τους ρόλο, τότε αποκαλύπτεται μια σημαντική πλευρά της φύσης των φορέων τους. Συνήθως η απόκριση σε αντίστοιχες έρευνες λέει ότι ενώ στην κλασική μηχανική οι χρήση των δεικτών ισοδυναμεί με πράξεις αναφοράς και άρα τα κλασικά σωματίδια συμπεριφέρονται ως άτομα, στην κβαντική μηχανική οι δείκτες αποτυγχάνουν στον αναφορικό τους ρόλο ειδικά όταν εμπλέκονται στην περιγραφή συστημάτων *πολλών-όμοιων-σωματιδίων*. Έτσι στην περίπτωση αυτή τα κβαντικά σωματίδια δεν μπορούν να θεωρούνται άτομα και ως εκ τούτου οι δείκτες ή θα πρέπει να εκλαμβάνονται ως ανερμήνευτα στοιχεία του κβαντομηχανικού φορμαλισμού ή οι κβαντικές περιγραφές θα πρέπει να γίνονται χωρίς τη χρήση δεικτών πράγμα που απαιτεί ένα νέο φορμαλιστικό πλαίσιο. Ωστόσο η θεώρηση αυτή συλλαμβάνει μόνο μία πλευρά της φύσης των κβαντικών σωματιδίων. Για κάθε είδος κβαντικών σωματιδίων υπάρχουν συνθήκες υπό τις οποίες επιδεικνύουν εξατομικευμένη συμπεριφορά και τότε η χρήση των δεικτών ισοδυναμεί με πράξεις αναφοράς. Όμως ακόμα και εκτός των συνθηκών αυτών είναι

λάθος να θεωρούμε ότι οι δείκτες στερούνται οποιουδήποτε νοήματος, εφόσον υπάρχει πάντα μια «ένα προς ένα» αντιστοιχία μεταξύ των δεικτών και των μονοσωματιδιακών καταστάσεων, οι οποίες συγκροτούν την κατάσταση του συστήματος, και υπό μία έννοια είναι εν δυνάμει μέσα αναφοράς των σωματιδίων που αναδύονται μετά από την κατάλληλη μέτρηση.

Προκειμένου οι απόψεις που εκφράζονται γύρω από τη χρήση των δεικτών στη στοιχειώδη κλασική και κβαντική μηχανική να αξιολογηθούν, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη γενικότερες απόψεις γύρω το νόημα των γλωσσικών μέσων αναφοράς. Το τι μεταφέρει ένα όνομα και το πώς συνδέεται με το αντικείμενο αναφοράς του είναι τα δύο βασικά ερωτήματα που διερευνώνται κατά την αναζήτηση του εν λόγω νοήματος και οι λεγόμενες θεωρίες αναφοράς είναι τα φιλοσοφικά σχήματα που διαμορφώνονται μέσα από τις διαφορετικές απαντήσεις/προσεγγίσεις των ερωτημάτων αυτών. Τις θεωρίες αυτές θα επιχειρήσουμε να σκιαγραφήσουμε στη συνέχεια, δίνοντας έμφαση στα στοιχεία που τις καθιστούν ενδιαφέρουσες για την παρούσα εργασία.

6.1 Οι δύο αντίπαλες θεωρίες αναφοράς και ο συγκερασμός τους

Όλοι καταρχήν συμφωνούν ότι τα (κύρια) ονόματα (proper names), οι ετικέτες (labels) και οι δείκτες (indexes) είναι μέσα γλωσσικής αναφοράς, δηλαδή λέξεις ή γλωσσικά σύμβολα που η εκφορά τους έχει σκοπό την αναφορά (reference) σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, το ίδιο κάθε φορά. Όταν λέμε για παράδειγμα «Ο Λεωνίδας Καβάκος είναι βιολιστής» η εκφορά του ονόματος «Λεωνίδας Καβάκος» έχει σκοπό να παραπέμψει το συνομιλητή μας σε ένα συγκεκριμένο πρόσωπο, αυτό για το οποίο λέμε ότι είναι βιολιστής. Οι διαφωνίες εγείρονται γύρω από το εάν τα αναφορικά μέσα πλην της αναφοράς τους έχουν και κάποια σημασία (sense) και αν πράγματι έχουν, πώς αυτή σχετίζεται με τον αναφορικό τους ρόλο. Δύο είναι οι βασικές θεωρίες που διαμορφώθηκαν και παράλληλα τροφοδοτούν τη συζήτηση γύρω από τα ζητήματα αυτά. Σύμφωνα με την πρώτη, την οποία θα αποκαλούμε *θεωρία άμεσης αναφοράς*, τα ονόματα έχουν μόνο αναφορά, δεν χρειάζεται δηλαδή να έχουν και κάποια σημασία προκειμένου να επιτελέσουν τον αναφορικό τους ρόλο. Σύμφωνα με τη δεύτερη, την οποία θα αποκαλούμε *θεωρία περιγραφικής αναφοράς*, τα ονόματα πλην της αναφοράς έχουν και σημασία και ότι η σημασία τους είναι αυτή που καθιστά δυνατή ή και καθορίζει την αναφορά τους. Ωστόσο στο πλαίσιο αυτού του διαλόγου διατυπώνονται και επιχειρήματα υπέρ μιας συμβιβαστικής άποψης που θα συνδυάζει τα εκατέρωθεν πλεονεκτήματα και θα αποφεύγει, ει δυνατόν, τα μειονεκτήματά τους.

Οι υποστηρικτές της θεωρίας άμεσης αναφοράς ισχυρίζονται ότι η εκφορά ενός ονόματος δεν αποσκοπεί στην περιγραφή του αντικειμένου με το οποίο συνδέεται: αυτός που εκφέρει το όνομα ενός αντικειμένου το κάνει για να καλέσει, να ονομάσει ή και να δείξει το εν λόγω

αντικείμενο, όχι για να το περιγράψει. Για τον λόγο αυτό η σύνδεση ονόματος και αναφοράς πρέπει να είναι άμεση και η χρήση του ονόματος δεν πρέπει να υπονοεί ιδιότητες ή άλλα ποιοτικά γνωρίσματα. Όπως χαρακτηριστικά το έθεσε ο John Stuard Mill²⁰⁸, τα κύρια ονόματα δεν είναι υποδηλωτικά (connotative): *δείχνουν* (denote) τα *άτομα* (individuals) που ονομάζονται με αυτά· όμως δεν υποδηλώνουν (connote) κάποιες ιδιότητες ως ανήκουσες σε αυτά. Έτσι από τη στιγμή που το όνομα «Λεωνίδα Καβάκος» αποδόθηκε σε κάποιο πρόσωπο, λειτουργεί πλέον ως ένα αναφορικό σύμβολο που χρησιμοποιείται κάθε φορά που γίνεται λόγος για το πρόσωπο αυτό, χωρίς όμως να μεταφέρει πληροφορίες που να το αφορούν. Βέβαια πολλές φορές συμβαίνει τα ονόματα που αποδίδονται σε ορισμένα αντικείμενα να επιλέγονται για συγκεκριμένους λόγους που σχετίζονται με κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους. Συμβαίνει επίσης η ιδέα ενός ονόματος να συνδέεται συνειρμικά με κάποια περιγραφή του φορέα του. Εντούτοις από τη στιγμή που ένα όνομα αποδίδεται σε ένα αντικείμενο η σύνδεσή του με αυτό είναι ανεξάρτητη τόσο από τους λόγους που οδήγησαν στην επιλογή του όσο και από κάθε είδους πληροφοριακό υλικό που σχετίζεται με τον φορέα του. Το όνομα του Λεωνίδα Καβάκου, για παράδειγμα, ίσως να δόθηκε προς τιμή κάποιου συγγενή του ή κατά την εκφορά του ονόματος «Λεωνίδα Καβάκος» να σκεφτόμαστε «κορυφαίος έλληνας μουσικός» ή «ο μουσικός που το 2017 τιμήθηκε με το βραβείο Léonie Sonning Music». Τίποτα όμως από αυτά δεν μπορεί να αποτελεί μέρος του νοήματος του ονόματος «Λεωνίδα Καβάκος», διότι ακόμα κι αν είναι αληθείς ισχυρισμοί είναι ενδεχομενικά αληθείς. Η σύνδεση όμως ονόματος και αναφοράς δεν μπορεί να επηρεάζεται από ενδεχομενικές αλήθειες και υπό την έννοια αυτή το όνομα που αποδίδεται σε κάποιο αντικείμενο δεν έχει καμία απολύτως σημασία, το νόημα του θα πρέπει να εξαντλείται στην αναφορά του.

Στον αντίποδα της άμεσης θεωρίας βρίσκεται η θεωρία περιγραφικής αναφοράς, της οποίας κύριος διαμορφωτής υπήρξε ο Gottlob Frege²⁰⁹. Σύμφωνα με αυτήν τα ονόματα εκτός της αναφοράς τους έχουν και κάποια σημασία, μεταφέρουν δηλαδή πληροφορίες για τον φορέα τους. Ένα από τα πλεονεκτήματα της περιγραφικής θεωρίας είναι και η εναρμόνισή της με τον κοινό νου. Η χρήση ονομάτων στην καθημερινή γλώσσα δείχνει ότι, όταν αποφασίζουμε να αποκαλούμε ένα αντικείμενο με ένα ορισμένο όνομα, συμβαίνει να συνδέουμε το όνομα αυτό με κάποια χαρακτηριστικά του αντικειμένου, τα οποία ανακαλούμε κατά τη χρήση του. Η σύνδεση αυτή επιτρέπει στο χρήστη του ονόματος να αναγνωρίζει τον φορέα του ονόματος και να προβαίνει σε αποτελεσματικές πράξεις αναφοράς. Δημιουργείται έτσι ένας δεσμός μεταξύ του ονόματος και μιας περιγραφής του φορέα του, η οποία και εκφράζει τη σημασία του ονόματος. Η σημασία και η αναφορά είναι δύο ξεχωριστές και ανεξάρτητες λειτουργίες των ονομάτων και

²⁰⁸ Mill, J., S., (1872)

²⁰⁹ Frege G. (1952)

σε αντιδιαστολή με την άμεση θεωρία, κατά την οποία τα ονόματα έχουν μόνο αναφορά, η περιγραφική θεωρία διατείνεται ότι τα ονόματα έχουν αναγκαία μια σημασία και μόνο ενδεχομενικά μια αναφορά. Η θέση αυτή βρίσκεται στον πυρήνα της περιγραφικής θεωρίας και πέραν του ότι φαίνεται να προσφέρει ελκυστικές εξηγήσεις σε μια σειρά από γλωσσικά φαινόμενα²¹⁰, φαίνεται επίσης να διαχειρίζεται αποτελεσματικά το ερώτημα «ποιος είναι ο μηχανισμός της αναφοράς;», στο οποίο η θεωρία άμεσης αναφοράς αποτυγχάνει να δώσει μια πειστική απάντηση. Έτσι στο πλαίσιο της περιγραφικής αναφοράς μπορούμε να λέμε ότι ένα όνομα αναφέρεται στο φορέα του, διότι είναι συνδεδεμένο με ένα συγκεκριμένο περιγραφικό περιεχόμενο, που εκφράζει τη σημασία του και ταυτόχρονα διότι αυτό το περιεχόμενο ικανοποιείται αποκλειστικά και μόνο από τον φορέα του.

Εντούτοις η απάντηση της περιγραφικής θεωρία στο παραπάνω ερώτημα καταλήγει τελικά να είναι ένα σοβαρό μειονέκτημα της. Το πρόβλημα είναι ότι αν τα ονόματα αναφέρονται μόνο μέσω της σημασίας τους, τότε θα πρέπει η σημασία του κάθε ονόματος να είναι καλά καθορισμένη και να ισοδυναμεί με μια περιγραφή, η οποία σταθερά θα μας παραπέμπει στο ίδιο πάντα αντικείμενο. Αυτό όμως τις περισσότερες φορές αποδεικνύεται ιδιαίτερα δύσκολο. Ακόμα κι αν διευρύνουμε τη σημασία ενός ονόματος, εμπλουτίζοντας το πληροφοριακό περιεχόμενο της με αληθείς προτάσεις που αφορούν την αναφορά του, ποτέ δεν θα είμαστε σίγουροι ότι το σύνολο των πληροφοριών που διαθέτουμε συνιστά μια μοναδική περιγραφή που διαχρονικά θα αφορά το ίδιο αντικείμενο. Θα παραμένει πάντα ανοιχτό το ενδεχόμενο κάποιες από τις πληροφορίες αυτές είτε να αποδειχθούν ψευδείς ή να πάσουν να ισχύουν. Έχουμε όμως την πεποίθηση ότι από τη στιγμή που ένα όνομα αποδίδεται σε ένα αντικείμενο το όνομα αυτό θα συνδέεται με το ίδιο αντικείμενο ανεξάρτητα από τα συμβάντα που θα σημαδέψουν τη διαχρονική του παρουσία. Με όρους μεταφυσικής λέμε ότι ο σύνδεσμος μεταξύ ονόματος και του φορέα του, από τη στιγμή που δημιουργείται, καθίσταται αναγκαίος, ή ισοδύναμα ότι το όνομα θα αναφέρεται στο ίδιο πάντα αντικείμενο όχι μόνο στον πραγματικό, αλλά και σε κάθε δυνατό κόσμο στον οποίο υπάρχει. Δεν μπορούμε όμως να πούμε το ίδιο για τις προτάσεις που το περιγράφουν, διότι αυτές ακόμα κι αν θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές είναι μόνο ενδεχομενικά αληθείς. Όμως η ενδεχομενικότητα βρίσκεται στον αντίποδα της αναγκαιότητας και ως εκ τούτου καμία περιγραφή δεν μπορεί να υποκαταστήσει ένα όνομα ως προς τον αναφορικό του ρόλο. Υπέρ αυτής της άποψης έχει επιχειρηματολογήσει ο Saul Kripke, ο οποίος κατατάσσει τα ονόματα στην κατηγορία των αναφορικών συμβόλων, που ο ίδιος έχει ονομάσει *άκαμπτους αναφορείς* (rigid designators) ενώ προτείνει τον όρο *ενδεχομενικοί αναφορείς*

²¹⁰ Reimer, M., Michaelson, E., (2017) *SEP*

(accidental designators) για τις οριστικές περιγραφές που στον πραγματικό κόσμο συμβαίνει να δείχνουν ένα συγκεκριμένο αντικείμενο.²¹¹

Επιστρέφουμε έτσι στο βασικό επιχείρημα της θεωρίας άμεσης αναφοράς που λέει ότι καμία περιγραφή δεν μπορεί να υποκαταστήσει ένα όνομα στον αναφορικό του ρόλο ώστε να αποτελεί μέρος του νοήματός του. Παρόλα αυτά ένα όνομα εμπλέκεται με μια περιγραφή τουλάχιστον σε δύο περιπτώσεις: όταν βαφτίζουμε ένα αντικείμενο και όταν μαθαίνουμε να το χρησιμοποιούμε. Όταν ο μακρινός μας πρόγονος βάφτισε το βραδινό αστέρι «Αποσπερίτη» συνέδεσε το όνομα αυτό με την περιγραφή «το ουράνιο σώμα το οποίο εμφανίζεται πρώτο στο στερέωμα μετά τη δύση του ηλίου», την οποία και επικαλούμαστε κάθε φορά που θέλουμε να εξηγήσουμε *ποιος* είναι ο Αποσπερίτης. Γι αυτό αν η περιγραφική θεωρία απορριφθεί είτε γιατί η χρήση των ονομάτων αποσκοπεί στην αναφορά και μόνο σε αυτή, είτε γιατί οι περιγραφές που θα μπορούσαν να συνιστούν τη σημασία των ονομάτων είναι μόνο ενδεχομενικά αληθείς, τότε υπάρχει ένα ανοιχτό ερώτημα γύρω από τον ρόλο των περιγραφών στις πράξεις αναφοράς.

Μένοντας στην περιγραφική θεωρία ο John Searle²¹² επιχειρεί μια απάντηση στο ερώτημα αυτό. Κάθε φορά, λέει ο Searle, που μαθαίνουμε σε κάποιον να χρησιμοποιεί ένα όνομα χρειάζεται να του εξηγήσουμε ότι μια συγκεκριμένη λέξη είναι το όνομα ενός αντικειμένου και αυτό συνήθως γίνεται μέσω μιας περιγραφής. Η συγκεκριμένη περιγραφή συνιστά υπό μια έννοια τη σημασία του ονόματος, διότι τα χαρακτηριστικά που επικαλείται λειτουργούν ως κριτήρια εφαρμογής του. Παρόλα αυτά, υποστηρίζει ο Searle, είναι λάθος να θεωρεί κάποιος ότι η αναφορική λειτουργία διενεργείται μέσω αυτών των χαρακτηριστικών. Για να συμβαίνει αυτό απαιτείται μια εκ των προτέρων συμφωνία μεταξύ των χρηστών ενός ονόματος ως προς το ποια είναι τα κριτήρια εφαρμογής του, ποια δηλαδή πρέπει να είναι *ακριβώς* τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου στο οποίο αναφέρεται· όμως τότε ένα όνομα δεν θα ήταν τίποτα περισσότερο από μια συντομογραφία αυτών των κριτηρίων ή μια λεπτομερής οριστική περιγραφή. Κάτι τέτοιο θα εκφύλιζε τον αναφορικό ρόλο των ονομάτων, χάριν του οποίου τα ονόματα εισάγονται στη γλώσσα. Δεν πρέπει να ξεχνάμε, λέει ο Searle, ότι η επιτυχία των ονομάτων βρίσκεται ακριβώς στο γεγονός ότι η χρήση τους μας επιτρέπει να αναφερόμαστε δημόσια στα αντικείμενα χωρίς να είμαστε αναγκασμένοι να συμφωνούμε ακριβώς ως προς το ποια περιγραφικά χαρακτηριστικά συνιστούν την ταυτότητα του αντικειμένου. Τα ονόματα αναφέρει «δεν λειτουργούν ως περιγραφές, αλλά ως πάσσαλοι πάνω στους οποίους κρεμάμε περιγραφές»²¹³. Τούτων δεδομένων υποστηρίζει ότι ναι μεν η εφαρμογή ονομάτων απαιτεί κάποια κριτήρια, αυτά όμως εξαρτώνται από το πλαίσιο, εντός του οποίου γίνεται η χρήση τους. Γι αυτό τα

²¹¹ Kripke, A., S., (1972) p48

²¹² Searle, R., J., (1958)

²¹³ Searle, R., J., (1958), p172-3

ονόματα έχουν κάποια σημασία, «χαλαρά» μάλλον συνδεδεμένη με αυτά ώστε να εξυπηρετεί χωρίς να καθορίζει την αναφορά. Είναι συνεπώς απολύτως θεμιτό τα ονόματα να συνδέονται με ένα πλήθος από διαφορετικές σημασίες, οι οποίες εγκαθιδρύονται σταδιακά κατά την επικοινωνία του ονόματος από τον έναν στον άλλο χρήστη. Επιπλέον κάθε κατηγορήμα που αληθώς αποδίδεται στην αναφορά ενός ονόματος εκφράζει μια από τις πολλές σημασίες του ονόματος, που όμως είναι μόνο ενδεχομενικές, όπως ενδεχομενικές είναι και οι περιγραφές που τις εκφράζουν.

Σε τελική ανάλυση αυτό που ο Searle θεωρεί «σημασία» είναι οι περιγραφές, τις οποίες σε μια συγκεκριμένη συγκυρία επικαλούνται οι χρήστες των ονομάτων, όταν επιχειρούν να ταιριάξουν ένα όνομα με την αναφορά του. Η εύρεση τέτοιων προτάσεων είναι αναμφίβολα κάτι που πρέπει να απασχολεί τους χρήστες των ονομάτων. Όμως οι προτάσεις αυτές δεν συνιστούν αναγκαίο σύνδεσμο μεταξύ ονομάτων και της αναφοράς τους. Ο ρόλος των ονομάτων πρέπει να περιορίζεται στην αναφορά, η οποία σε τελική ανάλυση εξαντλεί την όποια σημασία τους. Το συμπέρασμα αυτό βρίσκει σύμφωνο τον Kripke, ο οποίος με κύριο άξονα τη θέση του περί άκαμπτης αναφοράς επιχειρεί ένα συγκερασμό άμεσης και περιγραφικής θεωρίας. Έτσι ο Kripke χαρακτηρίζοντας τα ονόματα άκαμπτους αναφορείς γίνεται εν μέρει υποστηρικτής της άμεσης θεωρίας, εφόσον δέχεται ότι τα ονόματα έχουν αναφορά χωρίς να έχουν σημασία. Υιοθετεί επίσης την θέση της περιγραφικής θεωρίας, η οποία λέει ότι η αναφορά ενός ονόματος είναι πιθανό να καθορίζεται μέσω μιας περιγραφής, δεν δέχεται όμως ότι το όνομα συνδέεται κατά κάποιο τρόπο με αυτή τη περιγραφή. Αντίθετα θεωρεί ότι μετά την αρχική πράξη του βαπτίσματος η αναφορά καθορίζεται μέσω μιας *αλυσίδας επικοινωνίας* (chain of communication)²¹⁴, στην οποία αυτός που μαθαίνει ένα όνομα γίνεται ένας κρίκος της, αρκεί βέβαια να σκοπεύει να το χρησιμοποιεί, για να αναφέρεται στο ίδιο αντικείμενο, στο οποίο αναφερόταν και αυτός από τον οποίο το έμαθε.²¹⁵ Τα παραπάνω συνοψίζουν τη λεγόμενη *αιτιακή θεωρία αναφοράς* (causal theory of reference), κύριο χαρακτηριστικό της οποίας είναι η υποβάθμιση του ρόλου της περιγραφής κατά τη χρήση των ονομάτων και η ανάδειξη σε σημαντικό παράγοντα επιτυχούς αναφοράς της *πρόθεσης* (intention) διαδοχικών χρηστών να αναφέρονται στο ίδιο αντικείμενο. Η σχέση ονόματος και αναφοράς διαμορφώνεται κατά την πράξη του βαπτίσματος, η οποία γίνεται χωρίς προϋποθέσεις. Ωστόσο κατά τη διάδοση ενός ονόματος η αναφορά του ενδέχεται να προσδιορίζεται μέσω μιας περιγραφής, η οποία έχει μοναδικό σκοπό να βοηθήσει κάθε νέο χρήστη να ταιριάξει το όνομα με την αναφορά του. Ο ρόλος της περιγραφής είναι ως εκ τούτου αρκετά σημαντικός και δεν μπορεί να αγνοείται από μια θεωρία αναφοράς. Μάλιστα, όπως θα δούμε στη συνέχεια, η περιγραφή, στην περίπτωση

²¹⁴ Kripke, A., S., (1980), p91

²¹⁵ Kripke, R., S., (1980) p93

των αντικειμένων της φυσικής, είναι ο μόνος τρόπος που διαθέτει κάποιος για να ταιριάζει ένα αναφορικό σύμβολο με την αναφορά του.

Θα κλείσουμε την ενότητα αυτή με κάποιες διαπιστώσεις. Τα γλωσσικά μέσα αναφοράς είναι ένας τρόπος για να (συνο)μιλήσουμε για τα αντικείμενα που υπάρχουν στον κόσμο. Έτσι βαφτίζουμε ένα αντικείμενο με ένα όνομα με σκοπό να το χρησιμοποιούμε κάθε φορά που θέλουμε να μεταδώσουμε ή να συλλέξουμε πληροφορίες γύρω από το αντικείμενο αυτό. Για να είναι όμως η όλη διαδικασία αποτελεσματική θα πρέπει από τη μια μεριά το αντικείμενο να μπορεί να είναι φορέας ενός ονόματος και από την άλλη όλοι οι συνομιλητές να χρησιμοποιούν το ίδιο όνομα για το ίδιο αντικείμενο. Υπάρχουν ως εκ τούτου δύο ξεχωριστές και ανεξάρτητες μεταξύ τους παράμετροι, από τις οποίες εξαρτάται η αποτελεσματικότητα της αναφοράς. Η πρώτη αφορά τη γνωσιακή κατάσταση του χρήστη και είναι επιστημική. Ο χρήστης πρέπει να γνωρίζει το φορέα του ονόματος και η γνώση αυτή αποκτάται πολλές φορές μέσω μιας περιγραφής. Βέβαια θα υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο η περιγραφή να είναι είτε ελλιπής, με αποτέλεσμα να εφαρμόζεται σε περισσότερα του ενός αντικείμενα, είτε λανθασμένη, να μην αφορά δηλαδή το επίμαχο αντικείμενο. Και στις δύο περιπτώσεις η χρήση του ονόματος δεν γίνεται σωστά, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι μπορούμε να παρακάμψουμε την επίκληση μιας περιγραφής προκειμένου ένας νέος χρήστης να ταιριάζει το όνομα με την αναφορά του. Θα πρέπει απλώς να έχουμε υπόψη μας ότι η επιτυχής αναφορά προϋποθέτει κάθε νέος χρήστης να έχει την πρόθεση να χρησιμοποιεί ένα όνομα σύμφωνα με την αλυσίδα επικοινωνίας που το συνδέει με την αρχική πράξη βαπτίσματος και να είναι επαρκώς πληροφορημένος.

Η δεύτερη παράμετρος, από την οποία εξαρτάται η επιτυχία μιας πράξης αναφοράς, είναι οντολογική· αφορά την ικανότητα των αντικειμένων να γίνονται φορείς ονομάτων, ικανότητα η οποία, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, απορρέει από την ικανότητά τους να συμπεριφέρονται ως άτομα. Η επισήμανση αυτή αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων όταν δεχόμαστε ότι αυτά δεν συμπεριφέρονται σε όλες τις συνθήκες ως άτομα. Στις συνθήκες αυτές η ονοματοδότησή τους δεν μπορεί να γίνει ούτε μέσω περιγραφής και φυσικά ούτε μέσω κατάδειξης. Όπως θα δούμε όμως στη συνέχεια θα μπορούσε η ονοματοδότησή τους να θεωρηθεί δυνητική, υπό την έννοια ότι οι δείκτες που χρησιμοποιούνται σε ρόλο ονομάτων κατά τις περιγραφές των κβαντικών συστημάτων συνδέονται αν και έμμεσα με τους φορείς τους μέσα από την προοπτική μιας μέτρησης που δημιουργεί για τα κβαντικά σωματίδια συνθήκες ταυτότητας, δηλαδή συνθήκες υπό τις οποίες συμπεριφέρονται ως άτομα.

6.2 Το νόημα των δεικτών σε κλασική και κβαντική μηχανική

Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στις περιγραφές φυσικών συστημάτων είναι δομικά στοιχεία της γλώσσας της φυσικής και η παρουσία τους στη στοιχειώδη κλασική και κβαντική μηχανική δείχνει ότι οι εν λόγω θεωρίες είναι δομημένες ως γλώσσες διακρίσιμων σωματιδίων.²¹⁶ Όμως από τη δομή και μόνο της γλώσσας δεν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα σωματίδια είναι πράγματι διακρίσιμα. Η διακρισιμότητα κρίνεται με βάση τις τιμές παρατηρήσιμων μεταβλητών, δηλαδή μεταβλητών που αναπαριστούν μετρήσιμα μεγέθη και λαμβάνουν τις τιμές τους μέσα από την παρατήρηση και το πείραμα. Όμως οι δείκτες είναι μη παρατηρήσιμες μεταβλητές, εφόσον δεν αλληλεπιδρούν με τις πειραματικές διατάξεις και δεν παράγουν φαινόμενα, με βάση τα οποία να συμπεράνουμε *ποιο* από τα σωματίδια ενός συστήματος είναι αυτό που εισέρχεται στην πειραματική διάταξη κάθε φορά. Συνεπώς οι δείκτες επειδή και μόνο εμφανίζονται στις περιγραφές φυσικών συστημάτων δεν σημαίνουν τη διακρισιμότητα των σωματιδίων τους και η χρήση τους δεν ισοδυναμεί με πράξη αναφοράς. Για να ανταποκριθούν στον αναφορικό τους ρόλο χρειάζεται να συνδεθούν με κάποια ιδιότητα των σωματιδίων, με βάση την οποία γίνεται δυνατή η διάκρισή τους, όμως αυτό σημαίνει ότι οι δείκτες αναφέρονται στα αντικείμενα μέσω μιας περιγραφής και ότι στις φυσικές θεωρίες η σύνδεση των δεικτών με τα σωματίδια τους δεν είναι αδιαμεσολάβητη όπως θα ήθελαν οι υποστηρικτές της άμεσης θεωρίας αναφοράς.

Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι οι δείκτες έχουν μια αυστηρά νοούμενη σημασία όπως θα ήθελαν οι υποστηρικτές της περιγραφικής θεωρίας αναφοράς. Η περιγραφή της κατάστασης ενός συστήματος τόσο στην κλασική όσο και στην κβαντική μηχανική γίνεται μέσα από την προοπτική μιας μέτρησης και συσχετίζει την προ-μέτρησης κατάσταση με τα δυνατά αποτελέσματά της. Συμβαίνει έτσι για την ίδια κατάσταση διαφορετικές πειραματικές διαδικασίες να υπαγορεύουν διαφορετικές περιγραφές και τότε είναι δυνατόν όμοια σωματίδια που είναι μη διακρίσιμα ως προς ένα σύνολο πειραμάτων να γίνονται διακρίσιμα όταν το σύνολο αυτό διευρυνθεί με νέου τύπου πειράματα, τα οποία ελέγχουν ιδιότητες, ως προς τις οποίες τα σωματίδια διαφέρουν μεταξύ τους. Αν στην περίπτωση αυτή οι δείκτες συνδεθούν μέσω μιας ένα προς ένα αντιστοιχίας με την ιδιότητα ως προς την οποία τα σωματίδια είναι διακρίσιμα, τότε γίνονται, αν και έμμεσα, πειραματικά ανιχνεύσιμες μεταβλητές (κατά τον de Muynck αποκτούν πειραματικό νόημα) και πληρούνται οι προϋποθέσεις υπό τις οποίες ανταποκρίνονται στον αναφορικό τους ρόλο. Έστω για παράδειγμα ότι μια σειρά από πειράματα κρούσης πραγματοποιούνται με δύο μπάλες του μπιλιάρδου, οι οποίες διαφέρουν μόνο στο χρώμα τους, η μια είναι ας πούμε μπλε και η άλλη κόκκινη. Το χρώμα είναι μια ιδιότητα που δεν σχετίζεται με

²¹⁶ Muynch, M., W., (1975), p329

το φαινόμενο της κρούσης και δεν μπορεί να καθορίσει καθ' οιονδήποτε τρόπο το αποτέλεσμα της. Ωστόσο είναι μια ιδιότητα άμεσα παρατηρήσιμη, η οποία κάνει τις δύο μπάλες διακρίσιμες. Με βάση την ιδιότητα αυτή έχει νόημα να προχωρήσουμε σε μια πράξη βαπτίσματος και να προσαρτήσουμε τον δείκτη '1' στη μπάλα με το μπλε χρώμα και τον δείκτη '2' στη μπάλα με το κόκκινο χρώμα.²¹⁷ Κατόπιν τούτου η περιγραφή του φαινομένου της κρούσης γίνεται με χρήση των δεικτών, οι οποίοι λειτουργούν αναφορικά, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι, σε συμφωνία με την αιτιακή θεωρία αναφοράς, η περιγραφή είναι αληθής και ότι οι δύο μπάλες έχουν την ικανότητα να φέρουν ένα όνομα.,

Παρόλα αυτά στη κλασική και κβαντική μηχανική οι δείκτες χρησιμοποιούνται στις περιγραφές φυσικών συστημάτων ανεξάρτητα από τη διακρισιμότητα των σωματιδίων τους. Ενόψει μιας πειραματικής διαδικασίας αυτό που αρχικά ενδιαφέρει είναι η κατάσταση προετοιμασίας του συστήματος, η οποία θα καθορίσει την αλληλεπίδρασή του με την αντίστοιχη πειραματική διάταξη. Στην κατάσταση αυτή οι δείκτες είναι μέρος της περιγραφής και η εμφάνισή τους δηλώνει την παρουσία ισάριθμου πλήθους σωματιδίων χωρίς αυτό να σημαίνει ότι λειτουργούν και αναφορικά. Η αναφορική λειτουργία προϋποθέτει ότι τα σωματίδια του συστήματος επιδέχονται το καθένα ξεχωριστή περιγραφή, ή ισοδύναμα ότι βρίσκονται το καθένα σε διαφορετική μονοσωματιδιακή κατάσταση. Μόνο τότε υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης του κάθε δείκτη με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που κάνουν ένα σωματίδιο να ξεχωρίζει από όλα τα άλλα. Να επισημάνουμε δε ότι η ύπαρξη και μόνο αυτής της δυνατότητας, ακόμα κι όταν η πραγμάτωσή της είναι πρακτικά αδύνατη, φανερώνει την ικανότητα των σωματιδίων του συστήματος να φέρουν ένα όνομα με ό,τι αυτό συνεπάγεται για τη μεταφυσική τους συγκρότηση.

Η σημασία αυτής της επισήμανσης γίνεται αντιληπτή όταν πρόκειται για θερμοδυναμικά συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων*. Είναι φανερό ότι για τέτοιου τύπου συστήματα, είτε αναπαριστάνονται από το κλασικό στατιστικό μοντέλο MB, είτε από τα κβαντικά στατιστικά μοντέλα BE και FD, η σύνδεση του κάθε δείκτη με τις ιδιότητες ενός σωματιδίου δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Η μελέτη αυτών των συστημάτων είναι στατιστική και οι τιμές των παρατηρήσιμων μεγεθών καθορίζονται από το ποιες και πόσες είναι οι μονοσωματιδιακές καταστάσεις του συστήματος και όχι από το ποια σωματίδια βρίσκονται σε ποιες καταστάσεις. Για τον λόγο αυτό είναι αναμενόμενο και συμβαίνει οι αμοιβαίες μεταθέσεις των σωματιδίων τους να μην αποτυπώνονται ως ποιοτικές μεταβολές των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών τους ώστε να είναι πειραματικά ανιχνεύσιμες. Η διαπίστωση αυτή αφορά τη φύση των πειραματικών συσκευών και όχι τη φύση των σωματιδίων και γι αυτό ισχύει τόσο για τα κλασικά όσο και για

²¹⁷ Muynch, M., W., (1975), p330

τα κβαντικά σωματίδια. Από τη σκοπιά αυτή ο Dieks έχει χαρακτηρίσει τα όμοια σωματίδια, κλασικά και κβαντικά, ως *παρατηρησιακά μη διακρίσιμα* (observationally indistinguishable)²¹⁸ και είναι φανερό ότι αυτή η μορφή της μη διακρισιμότητας δεν επιτρέπει στους δείκτες να ανταποκριθούν στον αναφορικό τους ρόλο.

Ωστόσο η παρατηρησιακή μη διακρισιμότητα δεν ερμηνεύεται με τον ίδιο τρόπο στην κλασική και στη κβαντική περίπτωση. Η κλασική μηχανική περιγράφει τα σωματίδια της ως ευρισκόμενα κάθε χρονική στιγμή σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, την οποία στην περίπτωση συστημάτων με *πολλά-όμοια-σωματίδια* απλώς δεν είμαστε πάντα σε θέση να γνωρίζουμε. Όμως η άγνοια στην περίπτωση αυτή απορρέει από την κατάσταση του παρατηρητή και τα εργαλεία που έχει στη διάθεσή του· αν τα μέσα παρατήρησης μας επέτρεπαν να «δούμε» ένα μόριο, τότε θα διαπιστώναμε ότι τα μόρια ενός αερίου κάθε χρονική στιγμή βρίσκονται το καθένα σε μια διαφορετική θέση και θα τα διακρίναμε μέσω αυτής. Στην υποθετική αυτή περίπτωση οι δείκτες συνδέονται με τη θέση των σωματιδίων και η αναφορική λειτουργία τους αποκαθίσταται. Συνεπώς η παρατηρησιακή μη διακρισιμότητα έχει γνωσιολογική και όχι μεταφυσική προέλευση, αποδίδεται στη γνωσιακή κατάσταση του παρατηρητή και όχι στη φύση του αντικειμένου.

Στην κβαντική μηχανική όμως διαμορφώνεται ένα διαφορετικό σκηνικό. Για τα κβαντικά θερμοδυναμικά συστήματα η συμμετρικοποίηση των καταστάσεων είναι επιβεβλημένη όχι εξ αιτίας ελλειπούς πληροφόρησης, επειδή δηλαδή δεν γνωρίζουμε ποιο σωματίδιο βρίσκεται σε ποια κατάσταση, αλλά εξ αιτίας του φαινομένου της υπέρθεσης που οφείλεται στις κυματικές ιδιότητες των κβαντικών σωματιδίων. Άλλωστε οι (αντι)συμμετρικές καταστάσεις είναι καθαρές καταστάσεις και άρα εμπεριέχουν το μέγιστο της διαθέσιμης πληροφορίας που σχετίζεται με το σύστημα. Όμως στις καταστάσεις αυτές η σύνδεση του κάθε σωματιδίου με κάποια από τις διαθέσιμες μονοσωματιδιακές καταστάσεις με σκοπό τη διάκρισή του δεν είναι ούτε επί της αρχής εφικτή ενώ οι μικτές καταστάσεις όπως έχουμε ήδη πει δεν θεωρούνται από οντολογική σκοπιά ξεχωριστές²¹⁹ και η επίκλησή τους συσκοτίζει τη μεταφυσική διάσταση της μη διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων. Η μόνη διαθέσιμη πληροφορία για μεμονωμένα σωματίδια, ενόσω αυτά βρίσκονται σε (αντι)συμμετρικές καταστάσεις, είναι η τιμή της πιθανότητας ένα σωματίδιο να βρεθεί μετά από μια μέτρηση σε μια ορισμένη κατάσταση. Όμως ακόμη και τότε τα σωματίδια θα είχαν όλα τις ίδιες πιθανότητες να βρεθούν στην ίδια κατάσταση.²²⁰ Πέραν τούτου η απόδοση πιθανοτήτων δεν εξυπηρετεί το σκοπό της διάκρισης, διότι αυτό που ενδιαφέρει είναι το εάν τα σωματίδια ως μέρη ενός συστήματος είναι δυνατόν να

²¹⁸ Dieks, D., (1990), p139

²¹⁹ Massimi, M., (2001)

²²⁰ French, S.,- Redhead, M., (1988), Redhead, M., - Teller P., (1992).

κατέχουν μια ιδιότητα ικανή να τα διακρίνει από τα όμοιά τους και όχι αν κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορούν και με ποια πιθανότητα να *αποκτήσουν* μια τέτοια ιδιότητα.²²¹

Διαπιστώνουμε έτσι ότι στα κβαντικά συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* τα σωματίδια δεν έχουν την ικανότητα να φέρουν ένα όνομα και ότι ο λόγος για τον οποίο οι δείκτες δεν ανταποκρίνονται στον αναφορικό τους ρόλο είναι διότι η σύνδεσή τους με τα σωματίδια του συστήματος είναι μεταφυσικά αδύνατη. Ενόψει αυτού του δεδομένου ο Denis Dieks υποστηρίζει ότι το μόνο νόημα που μπορούν να έχουν οι δείκτες που εμπλέκονται στις περιγραφές των κβαντικών συστημάτων είναι η αναφορά τους στους διάφορους χώρους Hilbert, των οποίων το ταυυστικό γινόμενο δημιουργεί τον αναπαραστατικό χώρο του όλου συστήματος, δηλαδή σε μαθηματικά μάλλον παρά σε φυσικά αντικείμενα όπως συνήθως αφήνεται να εννοηθεί. Στον βαθμό όμως που η σύνδεση των δεικτών με κάτι φυσικό είναι αδύνατη, αυτοί πρέπει να παραμένουν ανερμήνευτα στοιχεία του κβαντομηχανικού φορμαλισμού. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η κβαντική μηχανική δεν θεωρείται επαρκής θεωρία για την περιγραφή του κβαντικού κόσμου και ότι η μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων αναδεικνύεται στο πλαίσιο μιας θεωρίας πεδίου, εντός του οποίου δεν γίνεται χρήση δεικτών.²²² Στο πλαίσιο αυτό τα σωματίδια της κβαντικής μηχανικής περιγράφονται ως ιδιότητες των σημείων του χωρόχρονου και είναι θέμα ερμηνείας το εάν οι ιδιότητες αυτές φέρονται από τα ίδια τα σημεία του χωρόχρονου ή από αντικείμενα που υπάρχουν σε αυτόν.

6.3 Παρατηρησιακή και εννοιολογική διακρισιμότητα των σωματιδίων της φυσικής

Η αποτυχία των δεικτών ως μέσα αναφοράς δεν σημαίνει, τουλάχιστον για όλους, ότι αυτοί στερούνται οποιουδήποτε νοήματος. Παρόλο που οι φυσικές θεωρίες περιγράφουν και εξηγούν

²²¹ Η απόδοση ιδιοτήτων στην κλασική και κβαντική μηχανική συνδέεται και στις δύο περιπτώσεις με την προοπτική μιας μέτρησης. Ωστόσο υπάρχει μια θεμελιώδης διαφορά στον τρόπο με τον οποίο οι δύο αυτές θεωρίες ερμηνεύουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Στην κλασική μηχανική η κατάσταση των σωματιδίων της δίνεται από ένα ζεύγος πραγματικών αριθμών ($\mathbf{q}, \mathbf{p}$) σε ένα φασικό χώρο, που αντιστοιχούν στις τιμές της θέσης και της ορμής. Δεδομένης της κατάστασης ενός σωματιδίου κάθε παρατηρήσιμο μέγεθος A έχει καλά καθορισμένη τιμή την οποία υπολογίζουμε από τη συνάρτηση $f_A(\mathbf{q}, \mathbf{p})$ του παρατηρήσιμου A . Στη συνέχεια η μέτρηση του A *αποκαλύπτει* την ήδη υφιστάμενη τιμή του η οποία εξακολουθεί να υφίσταται και μετά τη μέτρηση. Στην κβαντική μηχανική όμως η κατάσταση ενός σωματιδίου περιγράφεται από ένα διάνυσμα $|\psi\rangle$ ενός μονοσωματιδιακού μιγαδικού χώρου Hilbert και τα παρατηρήσιμα μεγέθη είναι τελεστές του χώρου αυτού. Αν A είναι ένα παρατηρήσιμο με διακριτό φάσμα ιδιοτιμών $\{\alpha_1, \dots, \alpha_M\}$ και $\{|\alpha_1\rangle, \dots, |\alpha_M\rangle\}$ το αντίστοιχο σύνολο των ιδιοδιανυσμάτων του A , τότε η κβαντική μηχανική αποδίδει σε κάθε ιδιοκατάσταση του A τιμές πιθανοτήτων να είναι η πραγματική κατάσταση του σωματιδίου μετά από την κατάλληλη μέτρηση. Ωστόσο η πειραματική διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα το διάνυσμα κατάστασης $|\psi\rangle$ μετά την αλληλεπίδρασή του με την πειραματική συσκευή να *ανάγεται* (to be reduced) σε μια τις ιδιοκαταστάσεις $|\alpha_m\rangle$ του A με ιδιοτιμή α_m . Συνεπώς η μέτρηση μεταβάλλει γενικά την κατάσταση του συστήματος, εκτός κι αν συμβαίνει το σύστημα να βρίσκεται ήδη πριν τη μέτρηση σε μια από τις ιδιοκαταστάσεις $|\alpha_m\rangle$ του A και άρα να κατέχει ήδη την ιδιότητα α_m . Αυτή είναι η μόνη περίπτωση στην οποία η κβαντική μέτρηση λειτουργεί *αποκαλυπτικά*. [Isham, J., C. (2008) pp 67-73, 150-160]

²²² Muynch, M., W., (1975), Dieks, D., (1990), Redhead, M.-Teller, P., (1992), Teller, P. (1995)

τις ποιοτικές μεταβολές που συμβαίνουν στη φύση με όρους ιδιοτήτων και αλληλεπιδράσεων, η εικόνα του κόσμου ως ένα πεδίο κατανομής και ανακατανομής ελεύθερων ιδιοτήτων δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στις κοινότητες φυσικών και φιλοσόφων. Τόσο η καθημερινή όσο και η επιστημονική πρακτική φανερώνουν τη βαθιά πεποίθηση μας ότι οι ιδιότητες φέρονται από αντικείμενα και ως προς αυτό δεν υπάρχει πιο αξιόπιστη απόδειξη από το γεγονός ότι η γλώσσα που κυριαρχεί στην καθημερινή μας ζωή αλλά και στα εργαστήρια της φυσικής είναι η γλώσσα των αντικειμένων και όχι των ιδιοτήτων. Μέσα στο πλαίσιο αυτό οι δείκτες στις φυσικές θεωρίες σηματοδοτούν την παρουσία ενός πλήθους αντικειμένων, τα οποία μπορούμε, αν μη τι άλλο, να τα σκεφτόμαστε ως αριθμητικά διαφορετικές οντότητες, να τα θεωρούμε δηλαδή τουλάχιστον *εννοιολογικά διακρίσιμα*. Η εννοιολογική διακρισιμότητα των σωματιδίων δεν σημαίνει ποιοτική διακρισιμότητα. Εισάγεται ως έννοια από τους de Muynch & van Liempd για να συλλάβει την αριθμητική διαφορά των σωματιδίων και ουσιαστικά εμπεριέχεται μέσα στην έννοια του *πλήθους*. Τόσο η κλασική όσο και η κβαντική μηχανική ξεκινούν με δεδομένη την εννοιολογική διακρισιμότητα των σωματιδίων τους, την οποία εκφράζουν με τη χρήση των δεικτών. Το εάν η εννοιολογική διακρισιμότητα είναι και παρατηρησιακή εξαρτάται από τη φύση των σωματιδίων και από τον τρόπο ύπαρξής τους σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Η παρατηρησιακή και η εννοιολογική διακρισιμότητα (ΠΔ και ΕΔ αντίστοιχα) εκφράζουν δύο διαφορετικές έννοιες, των οποίων τη σχέση οι de Muynch και van Liempd περιγράφουν ως εξής²²³: η ΕΔ είναι αναγκαία προϋπόθεση για την ΠΔ, εφόσον το ερώτημα αν δύο σωματίδια είναι παρατηρησιακά διακρίσιμα έχει νόημα να τεθεί μόνο αν τα σωματίδια αυτά είναι εννοιολογικά διακρίσιμα. Ωστόσο η ΕΔ δεν είναι και ικανή συνθήκη για την ΠΔ. Προκειμένου τα σωματίδια να είναι και παρατηρησιακά διακρίσιμα θα πρέπει να υπάρχει μια πειραματική διαδικασία, μέσω της οποίας κάθε δείκτης είναι δυνατόν να συνδεθεί με μια ιδιότητα, ως προς την οποία τα σωματίδια είναι διακρίσιμα. Αν μια τέτοια διαδικασία δεν υπάρχει, τότε τα σωματίδια είναι παρατηρησιακά μη διακρίσιμα παρά την εννοιολογική τους διακρισιμότητα.²²⁴

Παρατηρησιακή και εννοιολογική διακρισιμότητα αποδίδουν διαφορετικό νόημα στους δείκτες των σωματιδίων της φυσικής. Όταν τα σωματίδια είναι παρατηρησιακά διακρίσιμα, τότε οι δείκτες λειτουργούν αναφορικά: *κάνοντας χρήση ενός δείκτη καταφέρνουμε να αναφερόμαστε*

²²³ Muynch, M., W.-Liempd, P., G., (1986), p479

²²⁴ Με βάση τη διάκριση μεταξύ παρατηρησιακής και εννοιολογικής διακρισιμότητας οι de Muynch και van Liempd προτείνουν μια διαφορετική ανάγνωσή της ΑΤμΔ επισημαίνοντας ότι η εν λόγω αρχή δεν έχει καμία σχέση με την παρατηρησιακή μη διακρισιμότητα, διότι ακόμα κι αν τα σωματίδια λόγω της παρατηρησιακής μη διακρισιμότητας δεν έχουν την ικανότητα να γίνουν φορείς ονομάτων είναι εύκολο να δειχθεί ότι ένα σύστημα δύο σωματιδίων διαφέρει από ένα μονοσωματιδιακό σύστημα· αρκεί, λένε, να μετρήσουμε τα σωματίδια. Συνεπώς αν υπάρχει μια φυσική διαδικασία μέσω της οποίας μπορούμε να μετρήσουμε τα σωματίδια μιας δεδομένης κατάστασης τότε τα σωματίδια θεωρούνται τουλάχιστον εννοιολογικά διακρίσιμα και αυτός είναι ικανός λόγος για να απορρίψουμε την ταυτότητά τους. Όταν όμως δεν υπάρχει δυνατότητα αριθμησης τα υποτιθέμενα σωματίδια είναι εννοιολογικά μη διακρίσιμα και δεν είναι πολλά αλλά ένα [Muynch, M., W.-Liempd, P., G., (1986), p479]

σε ένα συγκεκριμένο-καθέκαστο σωματίδιο και να το διακρίνουμε μεταξύ άλλων. Όταν όμως τα σωματίδια είναι εννοιολογικά διακρίσιμα, τότε μπορούμε να τα σκεφτόμαστε ως αριθμητικά διαφορετικές οντότητες ακόμα κι αν μοιράζονται τις ίδιες ακριβώς ιδιότητες, αν δηλαδή είναι παρατηρησιακά μη διακρίσιμα. Οι δείκτες στην περίπτωση αυτή αποτυγχάνουν ως μέσα *καθέκαστης* αναφοράς. Λειτουργούν όμως ως μέσα *καθόλου* αναφοράς: *η χρήση του κάθε δείκτη σηματοδοτεί το ένα μεταξύ των πολλών του ιδίου είδους*. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση των (αντι)συμμετρικών κβαντικών καταστάσεων. Γνωρίζουμε ότι ένα κβαντικό σύστημα πολλών-όμοιων-ηλεκτρονίων συγκροτείται από ένα πλήθος ηλεκτρονίων παρόλο που το κάθε ηλεκτρόνιο δεν βρίσκεται με μια ορισμένη κατάσταση. Τούτο είναι δυνατό διότι η έννοια του ηλεκτρονίου είναι *ήδη* ενταγμένη στο εννοιολογικό μας πλαίσιο. Το ηλεκτρόνιο ανακαλύφθηκε ως *μία* οντότητα με καλά καθορισμένες εγγενείς ιδιότητες. Έτσι, όταν σε μια περιοχή του χώρου ανιχνευθεί μια οντότητα που έχει μάζα $m=9,1 \cdot 10^{-28} g$ φορτίο $q=-1,6 \cdot 10^{-19} C$ και σπιν $1/2$, συμπεραίνουμε την παρουσία ενός ηλεκτρονίου στη περιοχή αυτή. Αυτό όμως σημαίνει ότι ένα ηλεκτρόνιο μπορούμε να το σκεφτόμαστε ως *ένα* και είναι εύλογο η μοναδικότητα αυτή να μη χάνεται όταν το *ένα* ηλεκτρόνιο μπει στο σύμπαν ενός *άλλου* ηλεκτρονίου. Υπό την έννοια αυτή τα ηλεκτρόνια που δομούν ένα σύστημα σε αντισυμμετρική κατάσταση παραμένουν εννοιολογικά διακρίσιμες και άρα αριθμήσιμες οντότητες.

Αυτό όμως είναι κάτι που δεν υιοθετεί ο Denis Dieks. Ο Dieks αμφισβητεί την έννοια του σωματιδίου όχι μόνο ως εξατομικευμένη οντότητα αλλά και ως φορέα ιδιοτήτων. Δηλώνει ότι «στον βαθμό που η κβαντομηχανική περιγραφή θεωρείται πλήρης τα «σωματίδια» δεν είναι μόνο παρατηρησιακά αλλά και εννοιολογικά μη διακρίσιμα»²²⁵ και ότι από οντολογική σκοπιά είναι λάθος στις (αντι)συμμετρικές καταστάσεις να μιλάμε για σωματίδια, διότι στις καταστάσεις αυτές δεν υπάρχουν οντότητες με σωματιδιακά χαρακτηριστικά. Εντοπίζει μάλιστα στην εννοιολογική μη διακρισιμότητα την ειδοποιό διαφορά μεταξύ κβαντικών και κλασικών σωματιδίων, διότι ενώ κβαντικά και κλασικά σωματίδια είναι από κοινού παρατηρησιακά μη διακρίσιμα, μόνο τα κβαντικά σωματίδια είναι *και* εννοιολογικά μη διακρίσιμα, εφόσον στα κβαντικά μόνο συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* η σύνδεση ενός σωματιδίου με μια μονοσωματιδιακή κατάσταση δεν είναι ούτε φυσικά ούτε μεταφυσικά δυνατή. Η διαφορά που επικαλείται ο Dieks είναι υπαρκτή και θεμελιώδης μόνο που συνδέεται με την παρατηρησιακή και όχι με την εννοιολογική μη διακρισιμότητα. Πράγματι κλασικά και κβαντικά σωματίδια είναι από κοινού παρατηρησιακά μη διακρίσιμα, όμως η μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων, όχι όμως και των κλασικών, δεν οφείλεται στη γνωσιακή κατάσταση του παρατηρητή αλλά στον τρόπο ύπαρξής τους. Από την άλλη μεριά η εννοιολογική μη διακρισιμότητα είναι πολύ ισχυρή μορφή

²²⁵ Dieks, D., (1990), pp140

μη διακρισιμότητας που η εφαρμογή της σε ένα σύνολο αντικειμένων δεν σημαίνει απλώς ότι τα αντικείμενα αυτά είναι απολύτως μη διακρίσιμα, σημαίνει ότι δεν είμαστε καν σε θέση να συλλάβουμε την αριθμητική τους διαφορά, να συλλάβουμε δηλαδή το γεγονός ότι πρόκειται για πολλά και όχι για ένα αντικείμενο. Ωστόσο τα κβαντικά σωματίδια είναι αριθμήσιμες οντότητες και η πληθικότητα των κβαντικών συστημάτων ένα παρατηρήσιμο μέγεθος, του οποίου την τιμή μπορούμε να προσδιορίσουμε είτε θεωρητικά είτε πειραματικά.²²⁶

Η σύνδεση της εννοιολογικής διακρισιμότητας των σωματιδίων μιας φυσικής θεωρίας με την αριθμησιμότητα των συστημάτων που πραγματεύεται αφενός μεν εξηγεί την εισαγωγή των δεικτών στη γλώσσα της θεωρίας αφετέρου δείχνει ότι πρόκειται για μια θεωρία αντικειμένων δηλαδή μια θεωρία που θεμελιώνεται στην παραδοχή ότι οι ιδιότητες φέρονται από αντικείμενα. Η στοιχειώδης κλασική και κβαντική φυσική είναι θεωρίες αντικειμένων και οι δείκτες είναι στοιχεία του φορμαλισμού τους παρόλο που η χρήση τους δεν ερμηνεύεται με τον ίδιο τρόπο στο κλασικό και στο κβαντικό πλαίσιο. Ωστόσο οι γλώσσες των αντικειμένων δεν είναι οι μόνες διαθέσιμες για την περιγραφή των φαινομένων. Εναλλακτικά υπάρχουν κλασικές και κβαντικές θεωρίες πεδίου που χρησιμοποιούν τη γλώσσα των ιδιοτήτων, οι οποίες δεν αποδίδονται πλέον σε αντικείμενα αλλά κατανέμονται στα σημεία του χωρόχρονου. Τέτοιου είδους γλώσσες αδιαφορούν για την ύπαρξη αντικειμένων και εύλογα δεν χρησιμοποιούν αναφορικά σύμβολα.²²⁷ Από τη στιγμή όμως που υπάρχουν εναλλακτικά θεωρητικά πλαίσια, από τα οποία απουσιάζουν οι δείκτες, η εισαγωγή και η χρήση των δεικτών φαίνεται να μην είναι μονόδρομος για την θεωρητική φυσική. Είναι ως εκ τούτου απαραίτητο η χρήση των δεικτών να αξιολογηθεί σε σχέση με τη συμβολή τους στην περιγραφή και κατανόηση της φυσικής πραγματικότητας.

6.4 Οι δείκτες ως άκαμπτοι αναφορείς και η πρωταρχική αυτότητα των σωματιδίων

Βέβαια είναι αλήθεια ότι στο πλαίσιο της κλασικής μηχανικής ποτέ δεν ετέθη θέμα αξιολόγησης της χρήσης των δεικτών. Τούτο διότι η στοιχειώδης κλασική μηχανική αφενός μεν περιγράφει τα σωματίδια της ως αντικείμενα που έχουν την ικανότητα να γίνονται φορείς αναφορικών συμβόλων, αφετέρου δίνει στο χρήστη όλες τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε να προβαίνει σε επιτυχείς πράξεις αναφοράς. Όταν ένα σωματίδιο ευρισκόμενο τη χρονική στιγμή t_0 στην κατάσταση (q_0, p_0) το βαφτίζουμε α_1 , τότε η κλασική περιγραφή εγγυάται ότι το ίδιο

²²⁶ Dalla Chiara-Toraldo di Francia (1993) p268

²²⁷ Ένα σύστημα N σωματιδίων στο πλαίσιο μιας θεωρίας πεδίου αναπαριστάται ως ένα πεδίο με χαρακτηριστική ιδιότητα την ιδιότητα της μη διαπερατότητας. Η μη διαπερατότητα λαμβάνει δύο τιμές, την τιμή 'ναι' η οποία ισοδυναμεί με την παρουσία ενός σωματιδίου σε μια ορισμένη χωρική (ή χωροχρονική) περιοχή και την τιμή 'όχι' η οποία ισοδυναμεί με την απουσία σωματιδίων. Κάθε σημείο ενός κλασικού πεδίου έχει κάθε χρονική στιγμή μια καθορισμένη τιμή μη διαπερατότητας. Αντίστοιχα στα σημεία ενός κβαντικού πεδίου κατανέμουμε πιθανότητες η ιδιότητα της μη διαπερατότητας να λάβει μετά από μια μέτρηση τη μια ή την άλλη τιμή. [Redhead, M., (1982) pp57-90, French, S.,-Krause, D. (2006) pp 51-64]

όνομα θα αναφέρεται διαχρονικά στο ίδιο σωματίδιο όποια κι αν είναι η κατάσταση του. Αυτό που επιπλέον χρειάζεται είναι ένας καλά πληροφορημένος χρήστης που θα είναι σε θέση να κρίνει αν το σωματίδιο που τη χρονική στιγμή t βρίσκεται στην κατάσταση (q,p) είναι το ίδιο σωματίδιο που τη χρονική στιγμή t_0 βρισκόταν στην κατάσταση (q_0,p_0) . Όμως η διαχρονική εξέλιξη της κατάστασης ενός κλασικού συστήματος καθορίζεται από τους νευτώνειους νόμους της κίνησης και η μόνη πληροφορία που απαιτείται για μια επιτυχή πράξη αναφοράς είναι η αρχική του κατάσταση και το δυναμικό πεδίο μέσα στο οποίο κινείται. Τούτων δεδομένων οι δείκτες ανταποκρίνονται στον αναφορικό τους ρόλο και λειτουργούν ως άκαμπτοι αναφορείς. Η κλασική περιγραφή εγγυάται ότι όταν το όνομα a_1 καθιερώνεται με μια πράξη βαπτίσματος ως το όνομα ενός σωματιδίου, τότε το ίδιο όνομα θα αναφέρεται στο ίδιο σωματίδιο τόσο στον ενεργεία όσο και σε όλους τους δυνατούς κόσμους που διέπονται από τους νόμους της κλασικής μηχανικής και στους οποίους το εν λόγω σωματίδιο υπάρχει. Επιπλέον σε συμφωνία με την αιτιακή θεωρία αναφοράς, η διάδοση του ονόματος a_1 γίνεται μέσω μιας αλυσίδας επικοινωνίας, η οποία μας πηγαίνει πίσω στην αρχική πράξη βαπτίσματος και εκτείνεται κάθε φορά που κάποιος μαθαίνει να χρησιμοποιεί σωστά το όνομα a_1 .

Συμπεραίνουμε έτσι ότι από οντολογική σκοπιά τα κλασικά σωματίδια έχουν την ικανότητα να φέρουν ένα όνομα και ότι η ικανότητα αυτή επιτρέπει στους δείκτες να λειτουργούν ως άκαμπτοι αναφορείς. Κατόπιν τούτου η επιτυχία μιας πράξης αναφοράς εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τη γνωσιακή κατάσταση του χρήστη όπως ακριβώς ορίζει η αιτιακή θεωρία αναφοράς: τα ονόματα προορίζονται να αναφέρονται στα αντικείμενα ανεξάρτητα από τις ιδιότητές τους, οι οποίες απλώς βοηθούν τον χρήστη να τα χρησιμοποιεί σωστά. Συνεπώς η σύνδεση ενός ονόματος με την αναφορά του γίνεται ανεξάρτητα από ιδιότητες, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η ταυτότητα ενός αντικειμένου δεν εξαρτάται από τις ιδιότητές του, ή ότι ένα αντικείμενο είναι κάτι πέρα από τις ιδιότητές του. Το γεγονός ότι η εκφορά του ονόματος « a_1 » οποιαδήποτε χρονική στιγμή συλλαμβάνει την παρουσία του ίδιου σωματιδίου που τη χρονική στιγμή t_0 βρισκόταν στην κατάσταση (q_0,p_0) δείχνει ότι το σωματίδιο διατηρεί την ταυτότητα του στο χρόνο και οι ιδιότητές του αν και διαχρονικά αλλάζουν, παραμένουν πάντα ιδιότητες ενός και του αυτού σωματιδίου.

Η ιδέα ότι ένα αντικείμενο είναι κάτι πέρα από τις ποιότητες του έχει τις ρίζες της σε μια μεγάλη φιλοσοφική παράδοση, η οποία θέλει τα αντικείμενα να έχουν αυτό που συχνά αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως *πρωταρχική αυτότητα* (primitive thisness)²²⁸. Σύμφωνα με τον Robert Adams η πρωταρχική αυτότητα δεν είναι η ιδιότητα που όλοι μοιραζόμαστε, του να ταυτιζόμαστε με το ένα ή το άλλο άτομο, αλλά η ιδιότητα μου να ταυτίζομαι με μένα, η ιδιότητα σου να

²²⁸ Adams, R., (1979), Teller, P., (1995)

ταυτίζεσαι με σένα κ.λ.π.²²⁹ Έτσι η πρωταρχική αυτότητα είναι η ιδιότητα που εγγυάται ότι ένα αντικείμενο διατηρεί την ταυτότητά του ακόμα κι αν συμβεί όλες οι ιδιότητές του να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον αν P_1 είναι ο πλήρης κατάλογος ιδιοτήτων του αντικειμένου με το όνομα a_1 και P_2 είναι ο πλήρης κατάλογος ιδιοτήτων του αντικειμένου με το όνομα a_2 , τότε στην υποθετική περίπτωση που συμβεί τα δύο αντικείμενα να ανταλλάξουν όλες τις ιδιότητές τους έτσι ώστε ο P_2 να είναι ο πλήρης κατάλογος των ιδιοτήτων του αντικειμένου a_1 και ο P_1 να είναι ο πλήρης κατάλογος των ιδιοτήτων του αντικειμένου a_2 η πρωταρχική αυτότητα των αντικειμένων θα σηματοδοτούσε μια διαφορετική κατάσταση πραγμάτων παρόλο που η εμπειρία του υποθετικού παρατηρητή θα παρέμενε αναλλοίωτη. Αυτό το στοιχείο βρίσκεται στην καρδιά της στατιστικής MB. Ας θυμηθούμε ότι αν δύο όμοια σωματίδια βρίσκονται σε κάποια από τις δύο κλασικά νοούμενες καταστάσεις $|x\rangle$ και $|y\rangle$ τότε οι δύο δυνατότητες $|x\rangle_1 |y\rangle_2$ και $|x\rangle_2 |y\rangle_1$ όπου τα δύο σωματίδια φαίνεται να έχουν ανταλλάξει το σύνολο των ιδιοτήτων τους μετρούν ως δύο διαφορετικές καταστάσεις παρά την παρατηρησιακή μη διακρισιμότητά τους. Το γεγονός αυτό προβάλλει ως ισχυρό τεκμήριο υπέρ της άποψης που λέει ότι τα κλασικά σωματίδια είναι αντικείμενα με πρωταρχική αυτότητα, χάριν της οποίας έχουν την ικανότητα να γίνονται φορείς ονομάτων, τα οποία και λειτουργούν ως άκαμπτοι αναφορείς.

Γίνεται έτσι φανερό ότι στην περίπτωση των κλασικών σωματιδίων για λόγους περιγραφικής πληρότητας η χρήση δεικτών είναι απαραίτητη, διότι σηματοδοτεί μια στατιστικά τεκμηριωμένη διαφορά που μια θεωρία πεδίων διατυπωμένη σε μια καθαρή γλώσσα ιδιοτήτων δεν θα μπορούσε να συλλάβει. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο στην περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων. Οι κβαντικές στατιστικές BE και FD επιβάλλουν οι δύο περιγραφικές δυνατότητες $|x\rangle_1 |y\rangle_2$ και $|x\rangle_2 |y\rangle_1$ να μην μετρούν ως δύο δυνατές κβαντικές καταστάσεις με αποτέλεσμα η χρήση των δεικτών να τίθεται εν αμφιβόλω. Στα κβαντικά στατιστικά μοντέλα αυτό που μετράει δεν είναι ποιο συγκεκριμένο σωματίδιο θα βρεθεί σε μια ορισμένη κατάσταση αλλά ποιες καταστάσεις πρόκειται να βρεθούν κατειλημμένες και από πόσα σωματίδια. Στην υποθετική περίπτωση που δύο όμοια σωματίδια ανταλλάξουν όλες τις ιδιότητές τους, η κατάσταση πραγμάτων στην οποία συμμετέχουν δεν αλλάζει ούτε ποιοτικά, ούτε αριθμητικά και ως εκ τούτου η συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων δεν συνάδει με την ιδέα της πρωταρχικής αυτότητας. Δημιουργείται έτσι μια ένταση μεταξύ της χρήσης των δεικτών και της απουσίας της πρωταρχικής αυτότητας από τα κβαντικά σωματίδια, εξ αιτίας της οποίας οι Redhead και Teller χαρακτηρίζουν την παρουσία των δεικτών στην κβαντική θεωρία ως το απομεινάρι μιας βαθιάς

²²⁹ Adams, R., (1979), p 6

ριζωμένης αντίληψης που θέλει τα αντικείμενα να φέρουν πρωταρχική αυτότητα.²³⁰ Έτσι παρόλο που οι πρωτεργάτες της κβαντικής θεωρίας αντιλήφθηκαν ότι ορισμένες πλευρές της παραδοσιακής έννοιας του αντικειμένου θα πρέπει να απορριφθούν κατά την περιγραφή των κβαντικών σωματιδίων διατήρησαν σε ισχύ ένα κλασικό χαρακτηριστικό που θέλει τα αντικείμενα να γίνονται φορείς ονομάτων.²³¹ Η εισαγωγή και η χρήση ονομάτων στην κβαντική μηχανική έδωσε στη θεωρία μια μαθηματική δομή, η οποία υπονοεί ότι τα κβαντικά σωματίδια είναι αντικείμενα με πρωταρχική αυτότητα και ο Teller εξηγεί το πώς η υπόθεση της πρωταρχικής αυτότητας αποδεικνύεται καθοριστική για την ανάπτυξη του κβαντομηχανικού formalismού με τη μορφή του τανυστικού γινομένου των χώρων Hilbert.²³²

Αν για παράδειγμα τα διανύσματα $|x\rangle$ και $|y\rangle$ ενός μονοσωματιδιακού χώρου $\mathcal{H}$ αναπαριστούν τις ιδιοκαταστάσεις ενός παρατηρήσιμου A με ιδιοτιμές x και y αντίστοιχα, τότε για ένα σύστημα δύο όμοιων σωματιδίων, η υπόθεση ότι τα σωματίδια έχουν πρωταρχική αυτότητα θα επέτρεπε σε συμφωνία με την κλασική στατιστική να ερμηνεύσουμε τα διανύσματα $|x\rangle_1 |y\rangle_2$ και $|y\rangle_1 |x\rangle_2$ του χώρου $\mathcal{H}^2$ ως αναπαραστάσεις δύο διαφορετικών καταστάσεων όπου συμβαίνει στην κατάσταση $|x\rangle_1 |y\rangle_2$ το σωματίδιο ‘1’ να έχει την ιδιότητα x και το σωματίδιο ‘2’ να έχει την ιδιότητα y και στην κατάσταση $|y\rangle_1 |x\rangle_2$ το σωματίδιο ‘1’ να έχει την ιδιότητα y και το σωματίδιο ‘2’ να έχει την ιδιότητα x . Σύμφωνα όμως με τη κβαντική στατιστική τα διανύσματα $|x\rangle_1 |y\rangle_2$ και $|y\rangle_1 |x\rangle_2$ παρόλο που εμφανίζουν δύο σωματίδια να κατέχουν το καθένα μια ορισμένη ιδιότητα και άρα έχουν φυσικό νόημα δεν μετρούν ως αναπαραστάσεις φυσικά δυνατών καταστάσεων. Κατόπιν τούτου η συμμόρφωση του κβαντομηχανικού formalismού με τα ευρήματα της κβαντικής στατιστικής δημιουργεί την ανάγκη πρόσθετων υποθέσεων, όπως είναι το Αξίωμα Συμμετρικοποίησης και το Αίτημα του Αναλλοίωτου υπό Μεταθέσεις που περιορίζουν τις δυνατές φυσικές καταστάσεις σε αυτές που είναι (αντι)συμμετρικές.

Έτσι η χρήση των δεικτών καθιστά το τανυστικό γινόμενο μονοσωματιδιακών χώρων Hilbert υποχρεωτικά τον αναπαραστατικό χώρο των καταστάσεων για κβαντικά συστήματα όμοιων σωματιδίων· συμβαίνει όμως στο χώρο αυτό να περιλαμβάνονται και μη συμμετρικά διανύσματα, τα οποία αποκλείονται ως αναπαραστάσεις κβαντικών καταστάσεων και αποτελούν αυτό που ο Redhead²³³ έχει ονομάσει *πλεονάζουσα δομή* (surplus structure).²³⁴ Η ύπαρξη

²³⁰ Redhead, M., - Teller, P., (1992), p 202-3

²³¹ Redhead, M., - Teller, P., (1992), p209

²³² Teller, P., (1995) ch2.

²³³ Redhead, M., (1975), p88, (2003), p128-9

²³⁴ Δεν υπάρχουν ασφαλή και καθολικά κριτήρια που να καθορίζουν αν κάποιο μέρος του formalismού μιας θεωρίας αποτελεί πλεονάζουσα δομή και στον βαθμό που ο λοιπός formalismός «δουλεύει» αποτελεσματικά η

πλεονάζουσας δομής μετράει κατά τον Teller ως μειονέκτημα του κβαντομηχανικού formalισμού, διότι ο ίδιος ο formalισμός δεν την εξηγεί. Επικαλείται έναν άτυπο μεθοδολογικό κανόνα που οι φυσικοί εκφράζουν με το απόφθεγμα: «οτιδήποτε είναι δυνατό να συμβεί, συμβαίνει» για να πει ότι αν ο formalισμός μιας φυσικής θεωρίας περιγράφει μια δυνατότητα, η οποία ποτέ δεν έχει παρατηρηθεί, τότε ο ίδιος ο formalισμός θα πρέπει να παρέχει τους λόγους για τους οποίους συμβαίνει αυτό. Όμως ο formalισμός του τανυστικού γινομένου των χώρων Hilbert δεν συμμορφώνεται με αυτόν τον κανόνα, εφόσον δεν εξηγεί γιατί οι μη συμμετρικές καταστάσεις δεν έχουν ποτέ παρατηρηθεί.

Επιπλέον πάντα θα ελλοχεύει ο κίνδυνος ερμηνευτικών λαθών, διότι η εμφάνιση των δεικτών παραπλανητικά παραπέμπει σε αντικείμενα με πρωταρχική αυτότητα, στα οποία οι δείκτες αναφέρονται.²³⁵ Σε τελική ανάλυση το πρόβλημα δεν αφορά απλώς τον παλιό κβαντομηχανικό formalισμό αλλά την ικανότητα των κβαντικών σωματιδίων να γίνονται φορείς αναφορικών συμβόλων.²³⁶ Στις (αντι)συμμετρικές καταστάσεις οι δείκτες δεν λειτουργούν αναφορικά και η χρήση τους, εκτός του ότι ευθύνεται για τη δημιουργία πλεονάζουσας δομής, στέλνει λάθος μήνυμα σε ότι αφορά τη φύση των κβαντικών σωματιδίων. Όπως παρατηρεί η Auyang οι δείκτες «λένε» πολύ περισσότερα από αυτά που μπορούν να γίνουν αποδεκτά και η συμμετρικοποίηση των κβαντικών καταστάσεων στοχεύει στην αναίρεση όσων παραπλανητικά εκφράζουν. Πολλές φορές όμως το να αναιρείς κάτι, λέει η Auyang, αποδεικνύεται εξαιρετικά δύσκολο, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που αυτό εκφράζει μια εδραιωμένη αντίληψη. Έτσι η συμμετρικοποίηση απλώς διορθώνει την τεχνική διακρισιμότητα που κρύβεται στα ονόματα των σωματιδίων, χωρίς όμως να εξαλείφει εντελώς την ιδέα των εξατομικευμένων σωματιδίων εντός του συστήματος.²³⁷ Για όλους αυτούς τους λόγους η αντιμετώπιση των ερμηνευτικών προβλημάτων που δημιουργεί η χρήση των δεικτών προτείνεται²³⁸ να είναι ριζική και οι δείκτες να απορριφθούν ως αναπαραστατικά εργαλεία των κβαντικών θεωριών. Συγκεκριμένα προτείνεται η αντικατάσταση του «παλιού» formalισμού από τον formalισμό του χώρου Fock, από όπου απουσιάζουν οι δείκτες. Άλλωστε ο formalισμός του χώρου Fock αποδεικνύεται εμπειρικά ανώτερος του «παλιού» formalισμού, γεγονός που δείχνει ότι η πλεονάζουσα δομή των μη (αντι)συμμετρικών καταστάσεων είναι

πρακτική των φυσικών είναι να την αγνοούν τουλάχιστον για όσο χρόνο παραμένει ανερμήνευτη. Ωστόσο επεισόδια από την ιστορία της επιστήμης δείχνουν ότι στοιχεία του formalισμού που αρχικά παρέμεναν ανερμήνευτα αποδείχθηκε ότι έχουν φυσικό περιεχόμενο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου επεισοδίου είναι οι λύσεις της εξίσωσης του Dirac οι οποίες αντιστοιχούν σε αρνητικές τιμές ενέργειας. Οι λύσεις αυτές υπήρξαν μόνο φαινομενικά πλεονάζουσα δομή εφόσον η ανακάλυψη του ποζιτρονίου οδήγησε σε μια αναθεωρημένη ερμηνεία της θεωρίας σύμφωνα με την οποία οι αρνητικές τιμές ενέργειας αντιστοιχούν στην ενέργεια των ποζιτρονίων [Redhead, M., (2003) p129]

²³⁵ Teller, P., (1995) p27-8

²³⁶ Redhead, M. – Teller, P., (1992) p218

²³⁷ Auyang, S., (1995) p162

²³⁸ Dieks, D., (1991), Redhead, M. – Teller, P., (1992), Teller, P. (1995)

πράγματι πλεονάζουσα²³⁹ και προσφέρει ισχυρά μεθοδολογικά θεμέλια για να συμπεράνουμε ότι τα κβαντικά σωματίδια δεν διαθέτουν πρωταρχική αυτότητα ώστε να έχουν την ικανότητα να γίνονται φορείς ονομάτων.²⁴⁰

6.5 Ο χώρος Fock έναντι του τανυστικού γινομένου μονοδιάστατων χώρων Hilbert

Η γλώσσα του χώρου Fock είναι μια γλώσσα ιδιοτήτων, από την οποία εκλείπει οποιαδήποτε άμεση αναφορά σε αντικείμενα και δικαιολογημένα χαρακτηρίζεται ως «η γη της ανωνυμίας». Ωστόσο τα αντικείμενα μπορούν πάντα να θεωρούνται παρόντα ως οι φορείς αυτών των ιδιοτήτων· μόνο που οι αναπαραστάσεις του χώρου Fock προσεγγίζουν καλύτερα τον τρόπο ύπαρξής τους στα κβαντικά συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων*, διότι δεν παραπέμπουν σε κλασικές εικόνες σωματιδίων όπου τα σωματίδια μπορούν να διαταχθούν σε μια ορισμένη σειρά, να καταμετρηθούν ή να ανταλλάξουν τις θέσεις τους. Τέτοιες εικόνες δεν συνάδουν με την κυματική τους φύση και τις συνεπαγόμενες καταστάσεις υπέρθεσης. Αντίθετα στο χώρο Fock τα κβαντικά σωματίδια αναπαριστώνται ως οντότητες που μπορούν απλά να *συναθροίζονται* (be aggregated)²⁴¹ σε αριθμήσιμες ποσότητες, για τις οποίες οι διαδικασίες της διάταξης, της αναδιάταξης ή της καταμέτρησης δεν υφίστανται, όχι γιατί είναι πρακτικά αδύνατες αλλά γιατί το φαινόμενο της υπέρθεσης τις καθιστά άνευ νοήματος.

Πέραν τούτου ο χώρος Fock, χωρίς τους δείκτες και απαλλαγμένος από την πλεονάζουσα δομή, αποδεικνύεται καλύτερος, διότι είναι κατάλληλος χώρος αναπαράστασης καταστάσεων με *απροσδιόριστο αριθμό* (indefinite number) σωματιδίων. Οι καταστάσεις αυτές συμβαίνουν στη φύση και ο χώρος Fock διαθέτει τα κατάλληλα μέσα για την περιγραφή τους. Όταν δίνεται ένα σύστημα N όμοιων κβαντικών σωματιδίων και το σύνολο των ιδιοτιμών ενός παρατηρήσιμου μεγέθους A , το διάνυσμα του χώρου Fock που αναπαριστά την κατάσταση του συστήματος είναι το $|n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_m\rangle_A$, όπου n_i , $i=1, 2, \dots, m$, οι αριθμοί κατάληψης κάθε ιδιοτιμής, οι οποίοι εκφράζουν το πλήθος των σωματιδίων που βρίσκονται μετά από μία μέτρηση να έχουν την i^{th} ιδιοτιμή του A (Παράρτημα Γ). Εντούτοις η δυναμική των συστημάτων δεν επιτρέπει πάντα στους αριθμούς κατάληψης να λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές. Έστω για παράδειγμα²⁴² ένα πείραμα σκέδασης ενός πεδίου ηλεκτρονίων και ενός πεδίου ποζιτρονίων τα οποία προετοιμάζονται, ώστε να βρίσκονται σε μια ορισμένη αρχική κατάσταση, έστω $|i\rangle$, που περιλαμβάνει για κάθε είδος καθορισμένο πλήθος σωματιδίων με συγκεκριμένες τιμές ορμής και σπιν. Μετά την αλληλεπίδρασή τους τα δύο πεδία μεταβαίνουν σε μια τελική κατάσταση, έστω

²³⁹ Teller, P. (1995),

²⁴⁰ Redhead, M. – Teller, P., (1992)

²⁴¹ Teller, P. (1995), p29

²⁴² Auyang, S., (1995) p159

$|f\rangle$, όπου όμως το πλήθος των ηλεκτρονίων ή των ποζιτρονίων, τα οποία λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές ορμής και σπιν, δεν είναι πλέον καθορισμένο. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούμε πλέον να μιλάμε για ένα καθορισμένο πλήθος σωματιδίων που θα βρεθούν μετά το πείραμα να κατέχουν μια ορισμένη τιμή ορμής και σπιν. Υπό τον περιορισμό ότι $\sum_i n_i = N$, υπάρχει ένα σύνολο διανυσμάτων της μορφής $|n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_m\rangle_A$ τα οποία αναπαριστούν ιδιοκαταστάσεις των πληθικών τελεστών N_i^A και συγκροτούν μια ορθοκανονική βάση στο χώρο Fock. Η υπέρθεση αυτών των διανυσμάτων είναι επίσης διάνυσμα του χώρου Fock και αναπαριστά την κατάσταση ενός συστήματος με απροσδιόριστο το πλήθος των σωματιδίων που θα βρεθούν να κατέχουν μια ορισμένη ιδιότητα. Στις συνθήκες αυτές το ερώτημα πόσα σωματίδια αντιστοιχούν σε μια ορισμένη ιδιοτιμή του παρατηρήσιμου A επιδέχεται ένα σύνολο δυνατών απαντήσεων και κάθε απάντηση έχει μια ορισμένη πιθανότητα να προκύψει ως αποτέλεσμα κατάλληλης πειραματικής διαδικασίας.

Ο χώρος Hilbert δεν είναι κατάλληλος αναπαραστατικός χώρος για συστήματα με απροσδιόριστο το πλήθος των σωματιδίων που η μέτρηση θα τα φέρει να κατέχουν μια ορισμένη ιδιότητα. Ένα (αντι)συμμετρικό διάνυσμα του χώρου αυτού αναπαριστάνει ως επί το πλείστον καταστάσεις όπου το πλήθος των σωματιδίων που αντιστοιχούν σε μια ορισμένη ιδιοτιμή ενός παρατηρήσιμου είναι καθορισμένο και η απροσδιοριστία αφορά το *ποιο* σωματίδιο αντιστοιχεί σε *ποια* ιδιοτιμή. Αν παρόλα αυτά επιχειρήσουμε να εκφράσουμε την απροσδιοριστία του πλήθους των σωματιδίων εμμένοντας στο κβαντομηχανικό φορμαλισμό, τότε οι δείκτες δεν αναφέρονται πλέον σε σωματίδια που είναι παρόντα τη στιγμή της μέτρησης. Στην περίπτωση αυτή το διάνυσμα κατάστασης θα περιγράφει την προδιάθεση του συστήματος να εμφανίσει το ένα ή το άλλο πλήθος σωματιδίων ως φέροντα μια ορισμένη ιδιότητα μετά από μια μέτρηση με αποτέλεσμα το νόημα των δεικτών να γίνεται ακόμη πιο θολό.

Τέλος ο φορμαλισμός του χώρου Fock παρέχει το κατάλληλο πλαίσιο, εντός του οποίου η στατιστική συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων παύει να είναι ένα 'παράδοξο' του κβαντικού κόσμου και αποκτά τα χαρακτηριστικά μιας «φυσιολογικής στατιστικής», όπου όλες οι δυνατές διαμορφώσεις ενός συστήματος μοιράζονται τις ίδιες πιθανότητες να συμβούν. Ας θυμηθούμε ότι στο χώρο Hilbert η συμμετρικοποίηση των καταστάσεων είναι ένα αναγκαίο βήμα που γίνεται προκειμένου οι περιγραφές των κβαντικών συστημάτων να συμμορφώνονται με τη σωστή στατιστική. Έτσι η κβαντική μηχανική ξεκινά θεωρώντας τα κβαντικά σωματίδια ως οντότητες που μπορούν να φέρουν ένα όνομα και το αξίωμα της συμμετρικοποίησης δεν είναι παρά μια εκ των υστέρων προσθήκη που σκοπό έχει να αντισταθμίσει τις συνέπειες της χρήσης των δεικτών. Η συμμετρικοποίηση, λέει ο Teller, δεν είναι παρά ένα «προσωρινό

μέτρο», το οποίο δίνει τη σωστή απάντηση στο συνδυαστικό ερώτημα της στατιστικής μηχανικής, χωρίς όμως να παρέχει κάποιου είδους εξήγηση, ως προς το γιατί η κλασική στατιστική, που η χρήση των δεικτών την κάνει να μοιάζει «φυσιολογική», αποτυγχάνει.²⁴³ Τα ερωτήματα αυτά δεν τίθενται όταν οι κβαντικές καταστάσεις αναπαριστώνται από διανύσματα του χώρου Fock. Όταν για παράδειγμα δύο μποζόνια κατανέμονται σε δύο καταστάσεις οι δυνατές κατανομές που δίνει ο χώρος Fock αναπαριστώνται από τα διανύσματα $|2,0\rangle_A$, $|0,2\rangle_A$ και $|1,1\rangle_A$, είναι εξ αρχής τρεις και καμία πρόσθετη ενέργεια δεν απαιτείται για να πάρουμε τη στατιστική BE, η οποία προκύπτει φυσιολογικά, εφόσον οι τρεις δυνατές κατανομές είναι στατιστικά ισοδύναμες. Αντίστοιχα όταν δύο φερμιόνια κατανέμονται σε δύο καταστάσεις, τότε λόγω της Απαγορευτικής Αρχής το διάνυσμα του χώρου Fock που αντιστοιχεί στην αντισυμμετρική κατάσταση δύο φερμιονίων είναι το $|1,1\rangle_A$ και είναι ένα σε πλήρη συμφωνία με τη στατιστική FD. Βέβαια η Απαγορευτική Αρχή είναι και πάλι παρούσα. Έτσι ενώ τα μποζόνια μπορούν να συναθροίζονται χωρίς περιορισμούς δεν συμβαίνει το ίδιο με τα φερμιόνια· οι φερμιονικές καταστάσεις είτε καταλαμβάνονται από ένα μόνο σωματίδιο είτε παραμένουν κενές. Στο χώρο Fock το γεγονός αυτό εκφράζεται τεχνικά με την επιλογή των κατάλληλων μεταθετικών σχέσεων μεταξύ των τελεστών δημιουργίας και καταστροφής (Παράρτημα Γ).

Βέβαια η επιλογή των κατάλληλων μεταθετικών σχέσεων στοχεύει ξεκάθαρα στη διάκριση μεταξύ περιορισμένων και μη περιορισμένων συναθροίσεων για τις δύο αυτές μεγάλες φυσικές κατηγορίες σωματιδίων όμως είναι αλήθεια ότι δεν την εξηγεί· είναι μια επιλογή που όπως λένε οι φυσικοί «μπαίνει με το χέρι» στη λογική του «σώζειν τα φαινόμενα».²⁴⁴ Παρόλα αυτά η προσθήκη των μεταθετικών σχέσεων στο χώρο Fock δεν θα πρέπει να εξομοιώνεται με τη συμμετριοποίηση των καταστάσεων στο τανυστικό γινόμενο των χώρων Hilbert. Η διαδικασία συμμετριοποίησης έχει σκοπό να εξαλείψει τις ανεπιθύμητες συνέπειες εντός ενός συγκεκριμένου φορμαλιστικού πλαισίου, οι οποίες προκύπτουν από τη χρήση των δεικτών. Όμως οι μεταθετικές σχέσεις μεταξύ των τελεστών καταστροφής και δημιουργίας του χώρου Fock εισάγονται για να συλλάβουν τη φυσική διάκριση των κβαντικών σωματιδίων σε μποζόνια και φερμιόνια, η οποία ξεπερνάει το φορμαλιστικό πλαίσιο της οποιασδήποτε κβαντικής θεωρίας. Η δικαιολόγηση της Απαγορευτικής Αρχής παρέχεται στη βάση της εξηγητικής της ικανότητας και δεν ανάγεται σε κάτι πιο θεμελιώδες. Όπως παρατηρεί ο Fleming, ο οποίος ως φυσικός δεν συμμερίζεται την αγωνία των φιλοσόφων, αν τα φερμιόνια δεν περιορίζονταν στις αντισυμμετρικές καταστάσεις όπως ορίζει η Απαγορευτική Αρχή, τότε η ύλη δεν θα είχε τη

²⁴³ Teller, P., (1995), p34

²⁴⁴ Teller (1995) p34

δομή που γνωρίζουμε, δεν θα υπήρχαν μόρια και άτομα, κρυσταλλικές δομές και πιθανόν να μην υπήρχαν καν μακροσκοπικά στερεά αντικείμενα.²⁴⁵

6.6. Οι αμοιβαίες μεταθέσεις σωματιδίων ως φυσική διαδικασία

Ως πλεονέκτημα του χώρου Fock μετράει επίσης και το γεγονός ότι οι αναπαράστασεις του εκφράζουν αβίαστα και με μεγαλύτερη σαφήνεια την έλλειψη διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων, που ο φορμαλισμός του χώρου Hilbert επιχειρεί να συλλάβει με τη συμμετρικοποίηση των καταστάσεων, η οποία επιβάλλει οι αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων κβαντικών σωματιδίων να αφήνουν το σύστημα κυριολεκτικά στην ίδια κατάσταση. Πώς όμως πρέπει να κατανοούμε τη διαδικασία των αμοιβαίων μεταθέσεων; Στη κλασική φυσική οι αμοιβαίες μεταθέσεις νοούνται ως το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας μετακίνησης, κατά την οποία τα σωματίδια, καθώς κινούνται σε καθορισμένες τροχιές, συμβαίνει να ανταλλάσσουν τις θέσεις τους. Συνεπώς οι αμοιβαίες μεταθέσεις των κλασικών σωματιδίων είναι το αποτέλεσμα μιας πραγματικής φυσικής διαδικασίας και δεν εισάγονται ως μια υπόθεση εργασίας που γίνεται με σκοπό τη δημιουργία δεδομένων, τα οποία θα φανούν χρήσιμα κατά τη θεωρητική στατιστική επεξεργασία. Με άλλα λόγια η κλασική φυσική παρέχει τον *φυσικό μηχανισμό*, μέσω του οποίου είναι δυνατόν να συντελούνται αμοιβαίες μεταθέσεις σωματιδίων.

Στη κβαντική μηχανική ωστόσο, δεν υπάρχει αντίστοιχος φυσικός μηχανισμός, μέσω του οποίου να συμβαίνουν αμοιβαίες μεταθέσεις κβαντικών σωματιδίων. Αμοιβαία μετάθεση σημαίνει ανταλλαγή καταστάσεων, όμως στα συστήματα πολλών όμοιων σωματιδίων τα κβαντικά σωματίδια δεν βρίσκονται τις περισσότερες φορές σε καθορισμένες καταστάσεις, για να τις ανταλλάσσουν. Οι ισότητες:

$$|\psi(x_1, \dots, x_n)|^2 = |P\psi(x_1, \dots, x_n)|^2 \quad (6.1) \quad \text{και} \quad \langle f(x_1, \dots, x_n) \rangle = \langle f(P(x_1, \dots, x_n)) \rangle \quad (6.2)$$

που συνήθως επικαλούμαστε για να μιλήσουμε για τις αμοιβαίες μεταθέσεις όμοιων κβαντικών σωματιδίων και το αναλλοίωτο των καταστάσεων που αυτές συνεπάγονται εκφράζουν η μεν πρώτη το αίτημα η διαμόρφωση των πυκνοτήτων πιθανότητας να είναι αναλλοίωτη στις μεταθέσεις των δεικτών για κάθε αποδεκτή κυματοσυνάρτηση ψ και για κάθε τελεστή μετάθεσης P , η δε δεύτερη το αναλλοίωτο των αναμενόμενων τιμών των παρατηρήσιμων για κάθε αποδεκτό παρατηρήσιμο f και για κάθε τελεστή μετάθεσης P . Με άλλα λόγια οι ισότητες αυτές δεν εκφράζουν το αποτέλεσμα μιας φυσικής διαδικασίας αμοιβαίων μεταθέσεων, η οποία ελέγχεται πειραματικά· είναι μόνο μαθηματικές περιγραφές, οι οποίες αφορούν ειδικά την περίπτωση των όμοιων κβαντικών σωματιδίων και εκφράζουν τη συμμετρική μορφή των

²⁴⁵ Fleming, G., (2002) p139

κυματοσυναρτήσεων (ή των παρατηρήσιμων αντίστοιχα) στις αμοιβαίες μεταθέσεις δεικτών και όχι σωματιδίων. Στην πραγματικότητα αμοιβαίες μεταθέσεις σωματιδίων δεν συμβαίνουν στα κβαντικά συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* και από φυσική σκοπιά στερούνται νοήματος.

Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγει R. Mirman. Λέει ότι μια αξιόπιστη ερμηνεία της συμμετρίας των κβαντικών καταστάσεων δεν πρέπει να αρκείται στα εμπειρικά δεδομένα της στατιστικής μηχανικής. Κάτι τέτοιο αποτελεί μια μονόπλευρη προσέγγιση του ζητήματος με παράδοξες συναγωγές, εφόσον μας καλεί να υποθέσουμε την αμοιβαία μετάθεση δύο όμοιων σωματιδίων για να πούμε στη συνέχεια ότι η μετάθεση αυτή είναι σαν να μη έγινε ποτέ. Οι ερμηνευτικές προσεγγίσεις απαιτούν περαιτέρω ανάλυση, οι έννοιες που συνδέονται με τη μη διακρισιμότητα των όμοιων κβαντικών σωματιδίων και τις φορμαλιστικές επιπτώσεις που αυτή έχει, είναι και «κακώς διατυπωμένες» και «κακώς συσχετισμένες με τα πειραματικά δεδομένα, τα οποία παρέχουν το κίνητρο για αυτές».²⁴⁶ Γι αυτό θα πρέπει η ερμηνεία της συμμετρίας των κυματοσυναρτήσεων να λάβει υπόψη της το νόημα που έχει η έννοια της κβαντικής κατάστασης και σύμφωνα με αυτό η συμμετρία των κυματοσυναρτήσεων σημαίνει ότι όλα τα σωματίδια του συστήματος που περιγράφει έχουν την ίδια πιθανότητα να ανιχνευθούν σε μια ορισμένη χωροχρονική περιοχή ή ότι η αναμενόμενη τιμή κάθε αποδεκτού παρατηρήσιμου είναι ίδια για όλα τα σωματίδια. Είναι λοιπόν φανερό ότι η συμμετρική μορφή των κυματοσυναρτήσεων δεν συνδέεται με κάποια διαδικασία αμοιβαίων μεταθέσεων. Το γεγονός ότι κάθε σωματίδιο του συστήματος έχει την ίδια πιθανότητα να βρεθεί σε μια ορισμένη κατάσταση μπορεί να σημαίνει κάτι για τη φυσική ισοδυναμία των σωματιδίων, δεν υπονοεί όμως σε καμία περίπτωση αμοιβαίες μεταθέσεις σωματιδίων ενόσω αυτά βρίσκονται σε (αντι)συμμετρικές καταστάσεις.²⁴⁷ Στις καταστάσεις αυτές οι αμοιβαίες μεταθέσεις αντιφάσκουν με την έννοια της κβαντικής κατάστασης και θα πρέπει να απορριφθούν. Θα ήταν συνεπώς φιλοσοφικό ατόπημα να επικαλούμαστε ανεφάρμοστες φυσικές διαδικασίες για να εξηγήσουμε τη συμμετρική μορφή των κυματοσυναρτήσεων και κατ' επέκταση τη μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων.

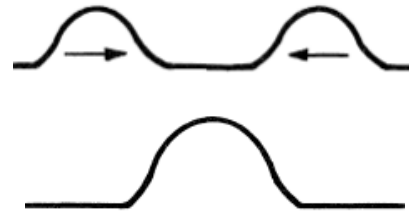
Την παραπλανητική εικόνα των αμοιβαίων μεταθέσεων, τις οποίες στη συνέχεια πρέπει να αγνοούμε, τη δημιουργεί η χρήση των δεικτών και η επιβεβλημένη συμμετρικοποίηση των καταστάσεων που συνεπάγεται. Κανένα όμως από αυτά τα προβλήματα δεν προκύπτει όταν αναπαραστατικός χώρος των κβαντικών καταστάσεων γίνει ο χώρος Fock. Στο χώρο αυτό οι αναπαραστάσεις γίνονται με όρους αριθμών κατάληψης και προσεγγίζουν με μεγαλύτερη σαφήνεια το νόημα της κβαντικής κατάστασης: τα σωματίδια εκλαμβάνονται εξ αρχής ως μη διακρίσιμα και μπορούν μόνο να συναθροίζονται σε αριθμήσιμα σύνολα, όπου το καθένα έχει την ίδια τάση να αποκριθεί με ένα συγκεκριμένο τρόπο σε μια πειραματική διαδικασία.

²⁴⁶ Mirman, R., (1973), p110

²⁴⁷ De Muynck, M., W.- van Liempd, P. G., (1986) p481

Θεμελιώδη στοιχεία του φορμαλισμού του χώρου Fock είναι οι διαθέσιμες μονοσωματιδιακές κβαντικές καταστάσεις όπου το ερώτημα που τίθεται με νόημα είναι: «ποια είναι η πιθανότητα n_i από τα N σωματίδια του συστήματος να βρεθούν μετά από μια μέτρηση στην $|i\rangle$ ιδιοκατάσταση ενός συγκεκριμένου παρατηρήσιμου;».

Κατόπιν τούτων το κατάλληλο ερώτημα που πρέπει να τεθεί γύρω από τη φύση της μη διακρισιμότητας των κβαντικών σωματιδίων δεν είναι γιατί οι αμοιβαίες μεταθέσεις αφήνουν το σύστημα στην ίδια κατάσταση, αλλά *γιατί* δεν συμβαίνουν! Την απάντηση στο ερώτημα αυτό φαίνεται να τη δίνει η ίδια η φυσική! Οι αμοιβαίες μεταθέσεις δεν συμβαίνουν εξ αιτίας του φαινομένου της υπέρθεσης, για το οποίο ευθύνεται η κυματική φύση των σωματιδίων. Οι (αντι)συμμετρικές καταστάσεις των συστημάτων με *πολλά-όμοια-σωματίδια* είναι καταστάσεις υπέρθεσης όπου οι κυματοσυναρτήσεις των σωματιδίων αλληλεπικαλύπτονται σε τέτοιο βαθμό που η πιθανότητα να ανιχνευθεί ένα σωματίδιο σε μια ορισμένη θέση είναι ίδια για όλα τα σωματίδια του συστήματος. Εύλογα στις συνθήκες αυτές δεν συμβαίνουν αμοιβαίες μεταθέσεις. Τα σωματίδια περιγράφονται ως κύματα πιθανότητας να ανιχνευθούν σε μια ορισμένη χωροχρονική περιοχή και η αλληλοεπικάλυψη των κυματοσυναρτήσεων σημαίνει την αλληλοεπικάλυψη των πιθανοτήτων ανίχνευσης των σωματιδίων στην περιοχή αυτή. Η αλληλοεπικάλυψη των κυματοσυναρτήσεων μοιάζει με την περίπτωση δύο κυματικών παλμών που καθώς διαδίδονται σε ένα ελαστικό μέσο σε αντίθετες κατευθύνσεις συμβάλλουν σε μια περιοχή του μέσου και συνθέτουν ένα νέο κυματικό παλμό. Είναι προφανές ότι στην περίπτωση αυτή δεν έχει κανένα απολύτως νόημα να εικάζουμε ότι στην περιοχή συμβολής γίνονται αμοιβαίες μεταθέσεις των επιμέρους κυματικών παλμών (Σχ.6.1).



Σχ.6.1 Δύο κυματικοί παλμοί συμβάλλουν σε μια περιοχή ενός γραμμικού ελαστικού μέσου για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα και συνθέτουν ένα νέο κυματικό παλμό

6.7. «κβαντικά σωματίδια» ή «κβάντα»; Η ΚΘΠ ως θεωρία σωματιδίων

Ίσως όμως το κύριο πλεονέκτημα του χώρου Fock έναντι του χώρου Hilbert βρίσκεται στην ερμηνευτική του απλότητα. Χωρίς τους δείκτες ο χώρος Fock είναι ένας χώρος ανωνυμίας όπου οι αναπαραστάσεις των φυσικών καταστάσεων μας πληροφορούν για τις πιθανότητες μια ιδιότητα να ανιχνευθεί από την κατάλληλη πειραματική διάταξη καθώς επίσης και για το πόσες φορές αυτό θα συμβεί. Στο χώρο Fock δεν γίνεται άμεσα αναφορά στα σωματίδια καθ' αυτά και για τον λόγο αυτό θεωρείται κατάλληλος αναπαραστατικός χώρος της Κβαντικής Θεωρίας Πεδίων (ΚΘΠ) στη μη σχετικιστική της εκδοχή όπου τα φυσικά συστήματα αντιμετωπίζονται

ως πεδία, ας πούμε πεδία ηλεκτρονίων. Ωστόσο η ΚΘΠ δεν μας απομακρύνει οριστικά από τη σωματιδιακή εικόνα του υποατομικού κόσμου. Στο χώρο Fock το διάνυσμα που αναπαριστά την κατάσταση ενός συστήματος αναπτύσσεται με βάση τους αριθμούς κατάληψης που αντιστοιχούν στις m ιδιοτιμές ενός παρατηρήσιμου A , έχει δηλαδή τη μορφή $|n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_m\rangle_A$. Μια ανάγνωση αυτού του διανύσματος λέει ότι το πεδίο έχει m διακριτούς *τρόπους* (modes) διέγερσης και ότι ο αριθμός κατάληψης n_i εκφράζει τον βαθμό διέγερσης του αντίστοιχου τρόπου a_i . Ωστόσο η ανάγνωση αυτή δεν είναι ούτε μοναδική ούτε και η συνήθης. Συνήθως λέμε ότι ο αριθμός κατάληψης n_i εκφράζει το πλήθος των *κβάντων/κβαντικών σωματιδίων*, τα οποία θα βρεθούν μετά από τη μέτρηση του παρατηρήσιμου N_i^A να κατέχουν την ιδιοτιμή a_i .²⁴⁸

Τα κβάντα προσμετρούνται ως διακριτές προσανυξήσεις στους τρόπους διέγερσης του πεδίου και ως όρος της ΚΘΠ υποκαθιστούν τον όρο «σωματίδια». Πολλοί φιλόσοφοι της κβαντικής θεωρίας, μεταξύ των οποίων η Auyang και ο Teller, προτιμούν τον όρο «κβάντα», διότι όπως ισχυρίζονται η συνήθης χρήση του όρου «σωματίδια» παραπέμπει σε οντότητες που ο τρόπος ύπαρξής τους *ουσιωδώς* διαφέρει από αυτόν των κβαντικών σωματιδίων. Κατά τον Teller μια ουσιώδης διαφορά είναι το γεγονός ότι τα κβαντικά σωματίδια²⁴⁹ μπορούν μόνο να συναθροίζονται σε αριθμήσιμες ποσότητες, δηλαδή σε ποσότητες, οι οποίες αποτελούνται από ένα πλήθος σωματιδίων, το οποίο μπορούμε με κάποιο τρόπο να γνωρίσουμε, χωρίς απαραίτητα να προβούμε σε μια διαδικασία καταμέτρησης. Η καταμέτρηση ως διαδικασία προϋποθέτει μια ‘ένα-προς-ένα’ αντιστοιχία μεταξύ των αντικειμένων ενός συνόλου και των φυσικών αριθμών. Για να συμβεί όμως αυτό θα πρέπει το κάθε αντικείμενο να μπορεί να γίνει αντικείμενο αναφοράς ενός φυσικού αριθμού ώστε να μπορούμε για παράδειγμα να μιλάμε για το 1^ο, 2^ο, 3^ο ...κ.λ.π. αντικείμενο. Όμως η διαδικασία αυτή δεν είναι εφικτή σε μια συλλογή κβαντικών σωματιδίων· τα κβαντικά συστήματα όμοιων σωματιδίων περιλαμβάνουν μεν ένα ορισμένο πλήθος σωματιδίων, όμως οποιαδήποτε αναφορά σε ένα συγκεκριμένο σωματίδιο, είναι αδύνατη. Η ιδιαιτερότητα αυτή των κβαντικών σωματιδίων παραπέμπει στη διάκριση μεταξύ του *πληθικού* (cardinality) και του *διατακτικού* (ordinality) αριθμού μιας συλλογής αντικειμένων και στο πλαίσιο αυτής της διάκρισης τα κβαντικά συστήματα διαθέτουν πληθικό αριθμό, εφόσον το πλήθος τους είναι μετρήσιμο μέγεθος, όχι όμως και διατακτικό, ο οποίος προϋποθέτει μια

²⁴⁸ Dieks, D., (1990) p132, Auyang, S., (1995) p158

²⁴⁹ Θα εξακολουθήσουμε να κάνουμε χρήση του όρου «σωματίδια» προσθέτοντας όταν κρίνεται απαραίτητο το επίθετο «κβαντικών» ή «κλασικών». Θα επιμένουμε στον όρο αυτό μαζί με τους φυσικούς οι οποίοι εξακολουθούν ευρέως να μιλούν για «σωματίδια» ενώ χρησιμοποιούν τον όρο «κβάντα» όταν αναφέρονται στην ελάχιστη μονάδα αλλαγής ή συνάθροισης των κατηγοριών που προβλέπονται από τη θεωρία. Τα κβαντικά σωματίδια είναι μόνο ένα συγκεκριμένο είδος κβάντων και ότι η χρήση του όρου «κβάντα» αντί του όρου «σωματίδια» υψώνει πολλές φορές ένα τοίχος στην επικοινωνία μεταξύ φυσικών και φιλοσόφων. [Feliming, G. (2002) p137] Επιπλέον θεωρούμε ότι η κοινή χρήση του όρου «σωματίδια» τόσο για τα αντικείμενα της κλασικής όσο και της κβαντικής φυσικής επιτρέπει οι διαφορές που εντοπίζονται να γίνονται αντιληπτές ως διαφορές μεταξύ οντοτήτων που μπορούμε από κοινού να τα σκεφτώμαστε ως αντικείμενα.

διαδικασία καταμέτρησης.²⁵⁰

Από την πλευρά της η Auyang τονίζει ότι ο όρος «σωματίδιο» μας παραπέμπει στον τρόπο ύπαρξης των συνηθισμένων πραγμάτων, δηλαδή σε εντοπισμένες οντότητες στις οποίες μπορούμε να αναφερόμαστε και να τις ξεχωρίζουμε μεταξύ άλλων. Αυτά όμως δεν είναι χαρακτηριστικά των κβαντικών σωματιδίων. Τα κβαντικά σωματίδια είναι μη διακρίσιμα και δεν θεωρούνται εντοπισμένες οντότητες, όχι υπό την έννοια ότι δεν εντοπίζονται ποτέ, αλλά υπό την έννοια ότι δεν βρίσκονται σε μια ορισμένη θέση κάθε χρονική στιγμή ή ισοδύναμα ότι δεν επιδεικνύουν πάντα εξατομικευμένη συμπεριφορά. Η έλλειψη ατομικότητας είναι για την Auyang σημαντικός λόγος αντικατάστασης του όρου «σωματίδια» από τον όρο «κβάντα». Επιπλέον όμως επισημαίνει ως πρόσθετο λόγο και το γεγονός ότι, όταν ένα κβαντικό σύστημα δεν είναι μονωμένο, τότε το πλήθος παύει να είναι μια σταθερή παράμετρος του συστήματος και γίνεται μια δυναμική μεταβλητή, η τιμή της οποίας προκύπτει ως αποτέλεσμα μέτρησης.²⁵¹

Παρόλα αυτά όμως τα κβαντικά σωματίδια φέρουν δύο βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία παραπέμπουν στον όρο «σωματίδια» και τα οποία φαίνεται να μοιράζονται με τα κλασικά ομόλογά τους. Καταρχήν συναθροίζονται μόνο σε διακεκριμένες μονάδες και συγκροτούν αριθμήσιμα συστήματα που το πλήθος τους είτε είναι καλά καθορισμένο, είτε είναι κάθε χρονική στιγμή μετρήσιμο. Κατά δεύτερον τα κβαντικά σωματίδια εντοπίζονται και μάλιστα ως σωματίδια ορισμένου είδους, σε καθορισμένες περιοχές του χώρου, αρκεί στις περιοχές αυτές να λειτουργεί ο κατάλληλος ανιχνευτής. Συνεπώς τον εντοπισμό κλασικών και κβαντικών σωματιδίων, επιχειρησιακά τουλάχιστον τον κατανοούμε με τον ίδιο τρόπο: είναι το αποτέλεσμα μιας μέτρησης του παρατηρήσιμου της θέσης και ως προς αυτό κλασικά και κβαντικά σωματίδια δεν διαφέρουν. Οι διαφορές τους σχετίζονται με την έννοια της τροχιάς. Τα κλασικά σωματίδια θεωρούμε ότι διαγράφουν καθορισμένες τροχιές πράγμα που σημαίνει ότι βρίσκονται κάθε χρονική στιγμή σε μια ορισμένη θέση. Η περιγραφή δεν αλλάζει είτε πρόκειται για μεμονωμένα σωματίδια, είτε για συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* και ο ρόλος της μέτρησης είναι να αποκαλύψει στον παρατηρητή ποια είναι η θέση του σωματιδίου μια ορισμένη χρονική στιγμή. Για τα κβαντικά σωματίδια όμως η έννοια της τροχιάς δεν έχει πάντα νόημα. Μόνο όταν η περιγραφή αφορά μεμονωμένα σωματίδια, των οποίων οι κυματοσυναρτήσεις δεν αλληλεπικαλύπτονται με τις κυματοσυναρτήσεις άλλων σωματιδίων, θα μπορούσαμε να

²⁵⁰ Κατά τους French και Krause η κλασική συνολοθεωρία των Zermelo-Fraenkel, η οποία θεμελιώνεται πάνω στην έννοια του καντοριανού συνόλου, δεν μπορεί να συλλάβει την έννοια της μη διακρισιμότητας και την έλλειψη ατομικότητας από τα κβαντικά σωματίδια (τουλάχιστον όταν αυτά συγκροτούν συστήματα όμοιων σωματιδίων). Οι French και Krause προτείνουν την επέκτασή της κλασικής συνολοθεωρίας όπου εκτός από το σύμβολο της ταυτότητας θα περιλαμβάνεται και το σύμβολο της μη διακρισιμότητας. Στο πλαίσιο αυτό κρίνεται απαραίτητη η διάκριση μεταξύ πληθικού και διατακτικού αριθμού. Έτσι μια συλλογή μη διακρίμων αντικειμένων έχει πληθικό όχι όμως και διατακτικό αριθμό. [French, S., - Krause, D., (2006) ch7]

²⁵¹ Auyang, S., (1995) p128-9, p158-60

εφαρμόσουμε μια έννοια τροχιάς που να εναρμονίζεται με την κβαντική περιγραφή.²⁵² Όμως η ίδια έννοια δεν εφαρμόζεται στα συστήματα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων*. Στις συνθήκες αυτές αν δεν υπάρχει αναφορά σε κάποια πειραματική διαδικασία δεν έχει καν νόημα να μιλάμε για τη θέση ενός σωματιδίου. Επιπλέον όταν το πείραμα εμφανίζει ένα σωματίδιο σε μια ορισμένη θέση η πληροφορία αυτή είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του σωματιδίου με την πειραματική διάταξη και δεν αφορά την κατάσταση προετοιμασίας. Η τελευταία είναι μια κατάσταση υπέρθεσης, όμως το φαινόμενο της υπέρθεσης είναι ένα καθαρά κυματικό φαινόμενο, το οποίο εκδηλώνεται σε εκτεταμένες χωρικές περιοχές, τα σημεία των οποίων χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο παλλόμενων ιδιοτήτων και είναι αυτό που φέρνει τα κβαντικά σωματίδια κοντά στις έννοιες του πεδίου και του κύματος.

Φυσικά τα κβαντικά σωματίδια δεν μπορούν να είναι την ίδια στιγμή «σωματίδια» και «κύματα» και ίσως ο μόνος τρόπος να κατανοήσει κάποιος τη διττή φύση τους είναι να διακρίνει τα σωματιδιακά από τα κυματικά χαρακτηριστικά και να μελετήσει τις συνθήκες υπό τις οποίες ο κυματικός υποχωρεί έναντι του σωματιδιακού χαρακτήρα και αντιστρόφως. Ας πάρουμε για παράδειγμα τις ιδιοτιμές του σπιν s_z^+ και s_z^- στην z -διεύθυνση. Αφ' ης στιγμής οι τιμές s_z^+ και s_z^- είναι δυνατές ιδιότητες ενός σωματιδίου η υπέρθεσή τους, δηλαδή κάθε σταθμισμένο άθροισμα $w_1 s_z^+ + w_2 s_z^-$, όπου $w_1 + w_2 = 1$, θα είναι επίσης μια δυνατή ιδιότητά του. Εκτός όμως από το να είναι οι υπερθέσεις ιδιοτήτων ιδιότητες και οι ίδιες, ο Teller προτείνει να τις κατανοούμε και ως *τάσεις* (propensities) των φυσικών συστημάτων. Έτσι για ένα μονωμένο σύστημα, αν η ιδιότητα Q είναι υπέρθεση των ιδιοτήτων P_1 και P_2 , τότε η Q πέρα του ότι είναι και η ίδια ιδιότητα, εκφράζει επίσης και την τάση του συστήματος να φέρει μετά από μια μέτρηση είτε την ιδιότητα P_1 είτε την P_2 . Αν πάλι το σύστημα δεν είναι μονωμένο και το πλήθος των σωματιδίων που το συγκροτούν δεν είναι σταθερό, τότε οι τάσεις αφορούν όχι μόνο την εμφάνιση μιας συγκεκριμένης ιδιότητας αλλά και ενός ορισμένου πλήθους σωματιδίων, τα οποία μετά από μια μέτρηση θα φέρουν την ιδιότητα αυτή.

Η κατανόηση του φαινομένου της υπέρθεσης των κβαντικών καταστάσεων ως *τάσεις* του συστήματος να εμφανίσει, μετά από μια μέτρηση σε μια ορισμένη χωροχρονική περιοχή, ένα πλήθος σωματιδίων που φέρουν μια συγκεκριμένη ιδιότητα, φαίνεται πράγματι να συμφιλιώνει έννοιες, οι οποίες φαίνονται αρχικά ασύμβατες μεταξύ τους. Το κβαντικό πεδίο γίνεται ο κοινός τόπος όπου λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της υπέρθεσης των ιδιοτήτων και όπου υπάρχει η φυσική δυνατότητα να παρατηρηθούν σωματίδια που φέρουν ιδιότητες. Συνεπώς αυτό που λείπει από την περιγραφή των κβαντικών συστημάτων στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας πεδίου δεν είναι τα σωματίδια, αλλά οι δείκτες ως σύμβολα αναφοράς των σωματιδίων. Η

²⁵² Dieks, D., - Lubberdink, A., (2011), p1056

απουσία των δεικτών κατά τον Teller συνδέεται με την απουσία της πρωταρχικής αυτότητας. Όμως αυτό δεν έχει ιδιαίτερη σημασία! Σημασία έχει αυτό που σηματοδοτεί η απουσία της πρωταρχικής αυτότητας και που είναι η απώλεια της ατομικότητας των κβαντικών σωματιδίων όταν εισέρχονται σε καταστάσεις υπέρθεσης. Τέτοιες καταστάσεις εκφράζουν την *τάση* που έχει το *όλο* σύστημα να αποκριθεί σε συγκεκριμένες ερωτήσεις που τίθενται στο πλαίσιο μιας πειραματικής διαδικασίας όπως είναι για παράδειγμα η ερώτηση «ποια είναι η πιθανότητα ένα ηλεκτρόνιο να ανιχνευθεί σε μια ορισμένη χωροχρονική περιοχή;» ή η ερώτηση «ποια είναι η πιθανότητα *δύο* ηλεκτρόνια με σπιν s_z^+ να ανιχνευθούν σε μια ορισμένη χωροχρονική περιοχή;». Οι συνθήκες ενεργοποίησης των τάσεων του συστήματος ώστε αυτές να εκδηλωθούν ως ενεργεία ιδιότητες δημιουργούνται πάντα στο πλαίσιο μιας πειραματικής διαδικασίας και γι αυτό καμία κβαντική περιγραφή δεν έχει νόημα αν δεν συνδεθεί με την προοπτική υλοποίησης μιας στοχευμένης μέτρησης. Συνεπώς ο σκοπός της μέτρησης είναι η ανίχνευση ιδιοτήτων, οι οποίες φέρονται από σωματίδια· όμως κατά τη διαδικασία αυτή παρόλο που δημιουργούνται συνθήκες ταυτότητας για το σωματίδιο που ανιχνεύεται η σύνδεσή του με κάποιο από τα σωματίδια του συστήματος πριν τη μέτρηση είναι εξ ορισμού αδύνατη.

6.8. Σωματιδιακές έναντι κυματικών ιδιοτήτων στον υποατομικό κόσμο

Οι κυματικές ιδιότητες, οι οποίες ευθύνονται για τη μη διακρισιμότητα των κβαντικών σωματιδίων, δεν εκδηλώνονται με την ίδια ένταση σε όλες τις συνθήκες. Οι φυσικοί έχουν αναπτύξει ένα κριτήριο, με βάση το οποίο οριοθετούν τα πεδία εφαρμογής της κλασικής και κβαντικής στατιστικής. Το κριτήριο αυτό ουσιαστικά προσδιορίζει τις συνθήκες, κάτω από τις οποίες ο βαθμός αλληλοεπικάλυψης των κυματοσυναρτήσεων είναι τόσο μικρός, ώστε τα φαινόμενα συμβολής να αγνοούνται και σωστή στατιστική να είναι η στατιστική Maxwell-Boltzmann. Σύμφωνα λοιπόν με το κριτήριο αυτό η στατιστική MB ισχύει όταν η μέση απόσταση d μεταξύ των σωματιδίων είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με το μήκος κύματος de Broglie λ , όταν δηλαδή ισχύει $\lambda \ll d$. Αν επιπλέον λάβουμε υπόψη μας ότι το μήκος κύματος de Broglie υπολογίζεται από τον τύπο $\lambda = \frac{h}{\sqrt{3mkT}}$ όπου m η μάζα των σωματιδίων, T η θερμοκρασία και h, k οι σταθερές Planck και Boltzmann αντίστοιχα, τότε η στατιστική MB εφαρμόζεται όταν γενικά ισχύει $\frac{h}{\sqrt{3mkT}} \ll d$. Η τελευταία αυτή σχέση μας βοηθάει να βγάλουμε ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα. Να επισημάνουμε καταρχήν ότι η συνθήκη ισχύος της κλασικής στατιστικής είναι καθολική υπό την έννοια ότι εφαρμόζεται για κάθε τύπο σωματιδίου, ανεξάρτητα από την τάξη μεγέθους του. Διακρίνει όμως τις κλασικές από τις κβαντικές

συμπεριφορές και για τη διάκριση αυτή συνυπολογίζονται μια σειρά παραγόντων. Έτσι για παράδειγμα σε ένα μπαλάκι του πινγκ-πονγκ, μάζας μερικών γραμμαρίων, στις συνηθισμένες θερμοκρασίες αντιστοιχεί μήκος κύματος de Broglie κατά πολύ μικρότερο από τις διαστάσεις του, και ως εκ τούτου τα μπαλάκια του πινγκ-πονγκ υπακούν (ούτε λόγος να γίνεται περί του αντιθέτου) στη στατιστική MB. Το ίδιο μπορούμε να πούμε για το κατά πολύ μικρότερης μάζας αέριο ήλιο όταν βρίσκεται στις συνηθισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Στις συνθήκες αυτές η μέση απόσταση των ατόμων του ηλίου προκύπτει και πάλι αρκετά μεγαλύτερη από το μήκος κύματος de Broglie ώστε να αποκλείονται και πάλι φαινόμενα συμβολής και κατάλληλη στατιστική να είναι η MB. Ωστόσο, όταν το στοιχείο ήλιο βρεθεί σε θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν, τα κυματικά φαινόμενα²⁵³ γίνονται έντονα, διότι η μέση απόσταση των σωματιδίων και το μήκος κύματος de Broglie αποκτούν τιμές συγκρίσιμες μεταξύ τους καθώς η δραματική μείωση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη μείωση της μέσης απόστασης και αντίστοιχη μεγάλη αύξηση του μήκους κύματος de Broglie. Στις συνθήκες αυτές κατάλληλη στατιστική είναι πλέον η στατιστική BE, εφόσον οι πυρήνες του ηλίου ή τα σωματίδια α όπως συνήθως αποκαλούνται, είναι σωματίδια με ακέραιο σπιν και ανήκουν στην κατηγορία των μποζονίων.

Για σωματίδια ακόμη μικρότερης μάζας το μήκος κύματος de Broglie μεταβάλλεται πολύ πιο εύκολα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας ήτοι με τις μεταβολές της μέσης θερμικής ενέργειας των σωματιδίων. Έτσι για παράδειγμα τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας των μετάλλων εμφανίζουν έντονα φαινόμενα συμβολής και η συμπεριφορά τους περιγράφεται από τη στατιστική Fermi-Dirac. Όταν όμως τα ηλεκτρόνια ταξιδεύουν μέσα σε ένα σωλήνα καθοδικών ακτίνων, τότε η σχετικά υψηλή τους ενέργεια, ή ισοδύναμα η υψηλή θερμοκρασία, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μήκους κύματος de Broglie ώστε τα ηλεκτρόνια να θεωρούνται αρκετά μακριά το ένα από το άλλο και οι αλληλεπικαλύψεις των κυματοσυναρτήσεών τους να θεωρούνται αμελητέες. Το κάθε ηλεκτρόνιο αφήνει τότε το δικό του ξεχωριστό ίχνος πάνω σε μια οθόνη και είναι διακρίσιμο από όλα τα άλλα. Αντίστοιχη αλλαγή συμπεριφοράς παρατηρούμε και στην περίπτωση των νετρονίων. Τα νετρόνια είναι επίσης φερμιόνια και τα θερμικά νετρόνια δηλαδή νετρόνια σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας δίνουν φαινόμενα περίθλασης και υπακούν στη στατιστική FD. Αντίθετα τα νετρόνια που παράγονται σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα είναι πολύ υψηλής ενέργειας και το μήκος κύματος αρκετά μικρό σε σχέση με τις μεταξύ τους αποστάσεις. Στις συνθήκες αυτές τα νετρόνια εκδηλώνουν τη σωματιδιακή τους φύση και η σωστή στατιστική είναι η στατιστική MB. Τέλος σε ότι αφορά τα

²⁵³ Φαινόμενα περίθλασης ατόμων ηλίου παρατηρήθηκαν σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν από τους Estermann, I. και Stern, O. στη Γερμανία το 1930. Αντίστοιχα πειράματα που έγιναν από τον Thomas Johnson το 1931 στις ΗΠΑ ανέδειξαν τις συνθήκες υπό τις οποίες το υδρογόνο επιδεικνύει κβαντική συμπεριφορά.

φωτόνια και κάθε άλλο σωματίδιο με μηδενική μάζα ηρεμίας (υποψήφια για το είδος αυτό είναι τα νετρίνα), το μήκος κύματος εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από το μέσο διάδοσης και ως εκ τούτου τα κυματικά φαινόμενα αποφεύγονται μόνο όταν τα φωτόνια βρίσκονται αρκετά μακριά το ένα από το άλλο. Τα φωτόνια όμως σε μια κοιλότητα μέλανος σώματος όπου οι μέσες αποστάσεις είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος εκδηλώνονται φαινόμενα συμβολής και τα φωτόνια υπακούν στη στατιστική BE.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα διαπιστώνουμε ότι τα όμοια κβαντικά σωματίδια δεν είναι πάντα μη διακρίσιμα. Η μη διακρισιμότητά τους εκδηλώνεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (γενικά θα λέγαμε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων και σχετικά χαμηλές τιμές ενέργειας) και στις συνθήκες αυτές τα σωματίδια υπακούν στις κβαντικές στατιστικές. Υπάρχουν όμως συνθήκες υπό τις οποίες οι κυματικές υποχωρούν έναντι των σωματιδιακών ιδιοτήτων και τότε τα κβαντικά σωματίδια μιμούνται τη συμπεριφορά των κλασικών σωματιδίων· επιδεικνύουν, λένε οι Dalla Chiara και Toraldo di Francia, ένα είδος *ψευδο-ατομικότητας* (mock individuality)²⁵⁴, χάριν της οποίας γίνονται φορείς ονομάτων έστω και για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα. Τα ονόματα βέβαια, δεν λειτουργούν ως άκαμπτοι αναφορείς, διότι όπως εξηγούν οι Dalla Chiara και Toraldo di Francia, αργά η γρήγορα τα σωματίδια παύουν να είναι διακρίσιμα και τα ονόματα χάνουν τον αναφορικό τους ρόλο.

Έστω ότι $\psi_a(x_1)$ και $\psi_b(x_2)$ είναι οι κυματοσυναρτήσεις δύο όμοιων σωματιδίων, των οποίων οι συντεταγμένες αναπαριστούνται από τις μεταβλητές x_1 και x_2 . Η κυματοσυνάρτηση που θα αναπαριστά το σύστημα των δύο σωματιδίων θα έχει τη μορφή $\psi(x_1, x_2) = \psi_a(x_1) \psi_b(x_2) \pm \psi_a(x_2) \psi_b(x_1)$, (όπου το πρόσημο ‘συν’ ισχύει για μποζόνια και το ‘μείον’ για φερμιόνια, ενώ έχει παραληφθεί για λόγους απλότητας ο συντελεστής κανονικοποίησης) και η συσχετισμένη πυκνότητα πιθανότητας για το σύστημα των δύο σωματιδίων θα είναι:

$$|\psi(x_1, x_2)|^2 = |\psi_a(x_1)|^2 |\psi_b(x_2)|^2 + |\psi_a(x_2)|^2 |\psi_b(x_1)|^2 \pm 2\Re[\psi_a(x_1) \psi_b(x_2) \psi_a(x_2) \psi_b(x_1)] \quad (6.3)$$

όπου ο τρίτος όρος του δεύτερου μέρους της σχέσης (6.3) είναι ο παράγοντας συμβολής των κυματοσυναρτήσεων. Όταν όμως οι αρχικές κυματοσυναρτήσεις ψ_a και ψ_b περιορίζονται σε δύο μικρές περιοχές A και B γύρω από δύο σημεία x_A και x_B αντίστοιχα, τα οποία βρίσκονται αρκετά μακριά το ένα από το άλλο, ώστε η μεταξύ τους απόσταση να είναι πολύ μεγαλύτερη από το μήκος κύματος de Broglie, τότε ο παράγοντας συμβολής της σχέσης (6.3) μηδενίζεται και η συσχετισμένη πιθανότητα θα δίνεται από τη σχέση:

$$|\psi(x_1, x_2)|^2 = |\psi_a(x_1)|^2 |\psi_b(x_2)|^2 + |\psi_a(x_2)|^2 |\psi_b(x_1)|^2 \quad (6.4)$$

²⁵⁴ M.L. Dalla Chiara - G Toraldo di Francia (1993), p266

Η πιθανότητα αυτή δεν μηδενίζεται σε δύο περιπτώσεις, είτε όταν $x_1 \approx x_A$ και $x_2 \approx x_B$ είτε όταν $x_2 \approx x_A$ και $x_1 \approx x_B$. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι ένα σωματίδιο βρίσκεται στην περιοχή A και ένα στην περιοχή B και να αναφερόμαστε σε αυτά κάνοντας χρήση των συμβόλων A και B . Μπορούμε επίσης να πούμε ότι για όσο χρονικό διάστημα οι περιοχές A και B εξελίσσονται χωρίς να αλληλεπικαλύπτονται, τα σωματίδια παραμένουν διακρίσιμα. Βέβαια οι Dalla Chiara και Toraldo di Francia αναγνωρίζουν ότι αυτό μπορεί να ισχύει μόνο κατά προσέγγιση, εφόσον η θεωρία δεν προβλέπει περιοχές όπου η πιθανότητα ανίχνευσης ενός σωματιδίου να μηδενίζεται. Στις κατάλληλες όμως συνθήκες συμβαίνει η διασπορά των κυματοσυναρτήσεων να είναι τόσο μικρή, ώστε το εύρος της περιοχής, εντός της οποίας η πιθανότητα ανίχνευσης ενός σωματιδίου λαμβάνει αξιοσημείωτες τιμές, να είναι μικρό και πρακτικά να μηδενίζεται έξω από αυτή. Στις συνθήκες αυτές ο περιορισμός μιας κυματοσυνάρτησης σε μια μικρή περιοχή θεωρείται μια πολύ καλή προσέγγιση.²⁵⁵

Ωστόσο το χρονικό διάστημα που τα σωματίδια παραμένουν διακρίσιμα δεν είναι μεγάλο. Όταν η απόσταση μεταξύ τους γίνει συγκρίσιμη με το μήκος κύματος de Broglie, τότε η διακρισιμότητα χάνεται και τα σωματίδια επιστρέφουν στο καθεστώς της ανωνυμίας. Όμως οι Dalla Chiara και Toraldo di Francia σπεύδουν να διευκρινίσουν ότι η διάρρηξη του δεσμού μεταξύ ονόματος και αναφοράς δεν σημαίνει ότι τα σωματίδια παύουν να υφίστανται: «...ένα ηλεκτρόνιο κάλλιστα επιβιώνει κατόπιν μιας στενής επαφής του με ένα άλλο ηλεκτρόνιο...»²⁵⁶. Το πρόβλημα, λένε, είναι ότι τα ονόματα στην περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων δεν λειτουργούν ως άκαμπτοι αναφορές: δεν αναφέρονται στο ίδιο σωματίδιο σε κάθε δυνατό κόσμο, στον οποίο το σωματίδιο υπάρχει. Φέρνουν ως παράδειγμα την περίπτωση ενός ηλεκτρονίου, το οποίο παρακολουθούμε συνεχώς να διαγράφει μια τροχιά από ένα σημείο P σε ένα σημείο Q . Σε έναν άλλο δυνατό κόσμο όμως μπορεί να συμβεί το ίδιο ηλεκτρόνιο, που ίσως αποκαλούμε *Peter*, να συναντά στην πορεία του ένα άλλο ηλεκτρόνιο και τελικά να σκεδάζεται και πάλι στο σημείο Q . Σε αυτό τον δυνατό κόσμο όμως δεν είμαστε σε θέση να πούμε ότι το ηλεκτρόνιο που φτάνει στο σημείο Q είναι ο *Peter*! Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι ότι κατά τη συνάντηση των δύο σωματιδίων οι περιοχές που οι κυματοσυναρτήσεις καθορίζουν ως περιοχές ανίχνευσής τους, αλληλεπικαλύπτονται για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, κατά το οποίο η έννοια της τροχιάς δεν εφαρμόζεται. Στο χρονικό αυτό διάστημα η επαφή μας με τον *Peter* χάνεται και έτσι δεν γνωρίζουμε αν το ηλεκτρόνιο που φτάνει τελικά στο σημείο Q είναι ο *Peter*. Μπορούμε να βαφτίσουμε *Πέτρο* το ηλεκτρόνιο που φτάνει στο σημείο Q , όμως η

²⁵⁵ Όλοι οι ισχυρισμοί της φυσικής, λένε οι Dalla Chiara και Toraldo di Francia, εμπεριέχουν τέτοιου είδους προσεγγίσεις: όταν για παράδειγμα ισχυριζόμαστε ότι η θερμότητα διαδίδεται αυθόρμητα από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα εννοούμε στην πραγματικότητα ότι το αντίθετο είναι εξαιρετικά απίθανο να συμβεί [M.L. Dalla Chiara – G. Toraldo di Francia (1993), p267]

²⁵⁶ M.L. Dalla Chiara – G. Toraldo di Francia (1993), p267

κβαντική μηχανική δεν μας λέει αν ο *Peter* και ο *Πέτρος* είναι το ίδιο ηλεκτρόνιο. Βέβαια τα κβαντικά σωματίδια εκτός από διακοσμική δεν έχουν ούτε διαχρονική ταυτότητα: αν στον ενεργειακό κόσμο ένα σχετικά απομονωμένο ηλεκτρόνιο αλληλεπιδράσει κάποια χρονική στιγμή με ένα άλλο ηλεκτρόνιο, τότε και πάλι δεν μπορούμε να πούμε μετά την αλληλεπίδραση ποιο ηλεκτρόνιο είναι ποιο.²⁵⁷ Η επισήμανση αυτή θέτει το πρόβλημα στη σωστή του διάσταση, διότι αυτό που ενδιαφέρει δεν είναι η επαναταυτοποίηση του ηλεκτρονίου δια μέσου δυνατών κόσμων, αλλά η επαναταυτοποίησή του μετά από την είσοδο του σε μια κατάσταση υπέρθεσης.

6.9 Κβαντικά σωματίδια σε συνθήκες ταυτότητας

Εν κατακλείδι στον κβαντικό κόσμο η ονοματοδότηση και η αναφορά στα σωματίδια του δεν γίνονται ανεξάρτητα από τις επικρατούσες συνθήκες. Το μήκος κύματος de Broglie είναι το όριο που θέτει η κβαντική μηχανική, πέραν του οποίου τα κβαντικά σωματίδια χάνουν την ικανότητα να γίνονται φορείς ονομάτων. Η απώλεια αυτής της ικανότητας σηματοδοτεί την αλλαγή της συμπεριφοράς τους: τα κβαντικά σωματίδια δεν συμπεριφέρονται πλέον ως άτομα. Θα ήταν ως εκ τούτου λάθος να θεωρούμε ότι η εφαρμογή της συγχρονικής ή της διαχρονικής ταυτότητας των κβαντικών σωματιδίων είναι αδύνατη στον υποατομικό κόσμο. Εντούτοις τα κριτήρια εφαρμογής των εν λόγω εννοιών δεν είναι καθολικά· εξαρτώνται από το είδος των σωματιδίων και τις συνθήκες υπό τις οποίες επιχειρούμε την εφαρμογή τους και πάντα εμπλέκουν το στοιχείο του χωροχρονικού προσδιορισμού.

Ας πάρουμε για παράδειγμα τον ιονισμό ενός ατόμου φθορίου, του οποίου το πεδίο ηλεκτρονίων αναπαριστάται από το σχήμα $[1s^2, 2s^2, 2p^5]$. Η συγκεκριμένη αναπαράσταση μας πληροφορεί για τις μονοσωματιδιακές ηλεκτρονιακές καταστάσεις, τις οποίες θεωρούμε συμπληρωμένες όταν ένα άτομο του φθορίου βρίσκεται στην θεμελιώδη κατάσταση. Στην κατάσταση αυτή αριθμούμε συνολικά εννέα ηλεκτρόνια χωρίς όμως να μπορούμε να αντιστοιχίσουμε το καθένα από αυτά με κάποια συγκεκριμένη κατάσταση. Για να είμαστε ακριβείς το κάθε ηλεκτρόνιο έχει τις ίδιες πιθανότητες να βρεθεί σε κάποια από τις διαθέσιμες καταστάσεις του συστήματος. Υπό την έννοια αυτή ο Jonathan Lowe υποστηρίζει ότι η ταυτότητα του κάθε ηλεκτρονίου είναι *απροσδιόριστη* (indeterminate) και θεωρεί ότι τα κβαντικά σωματίδια είναι ένα παράδειγμα αντικειμένων με απροσδιόριστη ή *ασαφή* (vague) ταυτότητα, η οποία δεν εδρεύει στις γλωσσικές μας αναπαραστάσεις, αλλά αποτελεί μέρος της φυσικής πραγματικότητας.²⁵⁸ Συμβαίνει όμως ένα ουδέτερο άτομο φθορίου να δεσμεύσει ένα

²⁵⁷ French, S., and Krause, D., (2006) p225

²⁵⁸ Ο Lowe (1994) στρέφεται ενάντια στο επιχείρημα του Gareth Evans σύμφωνα με το οποίο στον κόσμο δεν υπάρχουν *ασαφή* αντικείμενα, δηλαδή αντικείμενα με ασαφείς ή απροσδιόριστες συνθήκες ταυτότητας [Evans, G., (1978)]. Παρόλο που ο Evans διατυπώνει το επιχείρημα του έχοντας κατά νου μακροσκοπικά αντικείμενα με ασαφή

ελεύθερο ηλεκτρόνιο, ας πούμε το e_1 , και να μετατραπεί σε αρνητικό ιόν, για να επανέλθει σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και πάλι σε ουδέτερη κατάσταση εκπέμποντας ένα ηλεκτρόνιο, ας πούμε το e_2 . Σύμφωνα με τις αρχές της κβαντομηχανικής δεν υπάρχει ένα αντικειμενικό γεγονός που να μας λέει αν το e_1 ταυτίζεται ή όχι με το e_2 . Από τη στιγμή που το e_1 δεσμεύεται από το άτομο του φθορίου γίνεται μέρος ενός συζευγμένου συστήματος δέκα ηλεκτρονίων και κανένα από αυτά τα ηλεκτρόνια δεν μπορούμε να πούμε ότι είναι το e_1 που απορροφάται κατά τον ιονισμό του ατόμου, ή το e_2 , που εκπέμπεται κατά την επαναφορά του σε ουδέτερη κατάσταση.²⁵⁹ Το γεγονός αυτό όμως δεν σημαίνει ότι τα ηλεκτρόνια, που διαδοχικά απορροφώνται και εκπέμπονται από το άτομο του φθορίου, δεν είναι αναγνωρίσιμες οντότητες, στις οποίες μπορούμε να αναφερόμαστε κάνοντας χρήση των αναφορικών συμβόλων e_1 και e_2 . Η δέσμευση ή η αποδέσμευση ενός ηλεκτρονίου από το άτομο ενός στοιχείου είναι καλά προσδιορισμένα συμβάντα, η ταυτότητα των οποίων εύλογα παραπέμπει στην ταυτότητα των οντοτήτων, που συμμετέχουν στην πραγμάτωση του.

Βέβαια δεν συμφωνούν όλοι ως προς το ποια είναι τα κριτήρια ταυτότητας ενός συμβάντος. Ο Peter Strawson ισχυρίζεται ότι, αφ' ης στιγμής τα συμβάντα αντιμετωπίζονται ως *καθέκαστα* (particulars), τα κριτήρια εξατομίκευσής τους είναι χωροχρονικά, διότι η ίδια η έννοια του καθέκαστου είναι εγγενώς συνδεδεμένη με τις έννοιες του χώρου και του χρόνου: «δεν είναι απλώς λογικό να ισχυρισθεί κάποιος, αλλά είναι αναγκαίο να δεχθεί ότι υπάρχει ένα σύστημα χωρικών και χρονικών σχέσεων μέσω των οποίων το κάθε καθέκαστο είναι μοναδικά συσχετισμένο με κάθε άλλο»²⁶⁰. Για τον Donald Davidson όμως η ταυτότητα ενός συμβάντος δεν είναι πάντα δυνατόν να καθορισθεί με βάση χωροχρονικούς προσδιορισμούς, διότι είναι δυνατόν στον ίδιο τόπο και στον ίδιο χρόνο να λάβουν χώρα δύο διαφορετικά συμβάντα και τότε ο χωροχρονικός περιορισμός δεν αρκεί για την ταυτοποίηση του καθενός.²⁶¹ Αντ' αυτού ο Davidson θεωρεί ότι κάθε συμβάν έχει μία και μοναδική θέση στο δίκτυο των αιτιακών σχέσεων μεταξύ συμβάντων και γι αυτό αντί του χωροχρονικού προτείνει ένα αιτιακό κριτήριο ταυτότητας, σύμφωνα με το οποίο «τα συμβάντα ταυτίζονται αν και μόνο αν έχουν τις ίδιες αιτίες και τα ίδια αποτελέσματα»²⁶².

όρια (οροσειρές, νέφη κλ.π.), ο Lowe θεωρεί ότι η περίπτωση των κβαντικών σωματιδίων σε συζευγμένες καταστάσεις αποτελεί ένα ισχυρό αντιπαράδειγμα που θέτει ερωτηματικά τόσο για την ορθότητα όσο και για την εγκυρότητα του επιχειρήματος του. [Lowe, E. J. (1994) pp110-4]

²⁵⁹ Lowe, J., (1994) p 111

²⁶⁰ Strawson, P. (1956)/(2006), p22

²⁶¹ Ο Davidson φέρει ως παράδειγμα μια μεταλλική μπάλα η οποία θερμαίνεται και ταυτόχρονα περιστρέφεται μέσα στο ίδιο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή δεν έχουμε να κάνουμε με το ίδιο συμβάν! Η θέρμανση και η περιστροφή είναι δύο διαφορετικά συμβάντα παρόλο που συμβαίνουν τον ίδιο χρόνο, στον ίδιο τόπο. [Davidson, D., (1980) p178]

²⁶² Ο Davidson αναγνωρίζει ότι το κριτήριο ταυτότητας που προτείνει φαίνεται ότι «έχει ένα αέρα κυκλικότητας» συμπληρώνει όμως ότι η όποια κυκλικότητα δεν είναι *τυπική* (formal) εφόσον το σύμβολο της ταυτότητας δεν εμπλέκεται στο δεξιό μέρος της διπλής συνεπαγωγής που περιγράφει το εν λόγω κριτήριο: Αν x, y, z είναι συμβάντα τότε: ($x=y$ if and only if ($(z) (z \text{ caused } x \leftrightarrow z \text{ caused } y)$ and ($(z) (x \text{ caused } z \leftrightarrow y \text{ caused } z)$)). [Davidson, D., (1969/2001), p179]

Στο κριτήριο του Davidson καταφεύγει ο Bartels για να υποστηρίξει ότι οι οντότητες που στο πλαίσιο της Κβαντικής Θεωρίας Πεδίων χαίρουν εξατομίκευσης δεν είναι κάποια στοιχειώδη σωματίδια που φέρουν ιδιότητες, αλλά τα συμβάντα, τα οποία ο ίδιος, υιοθετώντας εν μέρει την άποψη του Jaegwon Kim²⁶³, προσδιορίζει ως πραγματώσεις ιδιοτήτων.²⁶⁴ Ως παράδειγμα φέρνει τη διάσπαση ενός σωματιδίου σε ένα πείραμα υψηλής ενέργειας. Η ταυτότητα των προϊόντων της διάσπασης επιτρέπει στον πειραματιστή να πιστοποιήσει την ταυτότητα της αρχικής κατάστασης του σωματιδίου ως πραγμάτωση μιας κατάστασης ορισμένου τύπου, η οποία λαμβάνει χώρα σε μια συγκεκριμένη χωροχρονική περιοχή.²⁶⁵ Εντούτοις το παράδειγμα του Bartels δείχνει ότι η ταυτοποίηση ενός συμβάντος δεν είναι αμιγώς αιτιακή διαδικασία. Την ταυτότητα των προϊόντων της διάσπασης την πληροφορούμαστε μόνο μέσω της παρατήρησης, η οποία εξ ορισμού είναι χωροχρονική διαδικασία. Η παρατήρηση των προϊόντων της διάσπασης μας επιτρέπει να αναφερόμαστε στην αρχική κατάσταση ως το συμβάν που την προκάλεσε. Με ανάλογο τρόπο ο ιονισμός ενός ατόμου είναι ένα συμβάν που παρατηρείται μέσω της αλληλεπίδρασής του με άλλα φορτισμένα αντικείμενα. Μόνο παρατηρήσιμες συνέπειες εξατομικεύουν το συμβάν του ιονισμού και μέσω αυτών μπορούμε να αναφερόμαστε τόσο στο ίδιο το συμβάν όσο και στο ηλεκτρόνιο που το προκάλεσε. Όταν ο Robert Millikan δήλωνε «βλέπω ένα ηλεκτρόνιο να πηδάει πάνω σε ένα ιόν»²⁶⁶ στην πραγματικότητα παρατηρούσε την ξαφνική αναπήδηση μια ηλεκτρικά φορτισμένης σταγόνας λαδιού, η οποία αρχικά ισορροπούσε κάτω από την επίδραση ενός ηλεκτρικού και του βαρυτικού πεδίου. Σε τελική ανάλυση η παρατήρηση του μικρόκοσμου συνίσταται στην παρατήρηση συγκεκριμένων συμβάντων, η ταυτότητα των οποίων πιστοποιεί και την ταυτότητα της αιτίας που τα προκάλεσε. Κατά τη διαδικασία αυτή το κριτήριο του Davidson ναί μεν είναι απαραίτητο, διότι επιτρέπει την ταυτοποίηση του τύπου ενός συμβάντος, όμως αυτό δεν ισοδυναμεί με εξατομίκευσή του. Η εξατομίκευση ενός συμβάντος απαιτεί επίσης το δίκτυο των αιτιακών σχέσεων, εντός του οποίου εντοπίζεται, να καταλήγει σε παρατηρήσιμα συμβάντα και

²⁶³ Σύμφωνα με τον Jaegwon Kim κάθε συμβάν συνίσταται σε ένα σύμπλεγμα τριών συστατικών: του αντικειμένου που πραγματώνει μια ιδιότητα, της ιδιότητας που πραγματώνεται και του χώρου και χρόνου όπου λαμβάνει χώρα η πραγμάτωση. Υποστηρίζει δε ότι η πραγμάτωση μιας ιδιότητας από ένα αντικείμενο/φυσικό σύστημα σηματοδοτεί είτε την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο είτε μια μεταβολή της κατάστασής του. Με τον τρόπο αυτό υποβαθμίζει τις διαφορές και αναδεικνύει τις ομοιότητες μεταξύ συμβάντων και καταστάσεων λέγοντας ότι αν ο σκοπός της επιστήμης είναι να εξηγήει και να προβλέπει συμβάντα και καταστάσεις το κάνει καταφεύγοντας στις ίδιες μεθόδους και χρησιμοποιώντας τα ίδια εργαλεία. [Kim, J., (1976), p311]

²⁶⁴ Ο Bartels θεωρεί ότι στο πλαίσιο μιας φυσικής θεωρίας θεμελιώδεις οντότητες είναι αυτές για τις οποίες η θεωρία ικανοποιεί κριτήρια ταυτότητας με τα οποία μας αφοδιάζει η αναλυτική φιλοσοφία. Το δилημμα που θέτει με τον τίτλο της εργασίας του είναι «Αντικείμενα ή Συμβάντα;» (“Objects or Events?”) αφορά την κβαντική θεωρία πεδίου και απέναντι στο δилημμα αυτό ο ίδιος τάσσεται υπέρ μιας οντολογίας συμβάντων υποστηρίζοντας ότι η εν λόγω θεωρία διασφαλίζει την εφαρμογή του κατά Davidson κριτηρίου ταυτότητας των συμβάντων. [Bartels, A. (1999) p171]

²⁶⁵ Bartels, A. (1999), p182

²⁶⁶ Η φράση αυτή αποδίδεται από τον Holton, G. στον Robert Millikan όταν ο τελευταίος πραγματοποιούσε πειράματα με σκοπό να μετρήσει το φορτίο ενός ηλεκτρονίου. [Holton, G., (1978)]

δεν θα μπορούσε να είναι αλλιώς, διότι, όπως λέει η Auyang, είμαστε εγγενώς χωρικές και χρονικές υπάρξεις και ως εκ τούτου η εμπειρία μας συνίσταται σε καθέκαστες οντότητες που υπάρχουν στο χώρο και στο χρόνο.²⁶⁷

Η Auyang επίσης υπενθυμίζει ότι η σύνδεση της κβαντικής θεωρίας με το πείραμα δείχνει ότι το μόνο που μπορούμε να παρατηρούμε είναι ιδιοκαταστάσεις και ότι η πραγμάτωση της μιας ή της άλλης ιδιοκατάστασης είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ενός συστήματος με μια πειραματική διάταξη. Επισημαίνει δε ότι είναι η παρατήρηση/μέτρηση και όχι η κβαντική περιγραφή ενός συστήματος που δημιουργεί συνθήκες ταυτότητας γι αυτό.²⁶⁸ Πρόκειται για μια σημαντική επισήμανση που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν εφαρμόζονται κριτήρια ταυτότητας στον υποατομικό κόσμο: *Δεδομένου ότι τα κριτήρια ταυτότητας δεν εφαρμόζονται άμεσα στους φορείς των ιδιοτήτων αλλά στις ίδιες τις ιδιότητες, η εξατομίκευση των κβαντικών σωματιδίων είναι δυνατή μόνο όταν αυτά γίνονται φορείς εξατομικευμένων ιδιοτήτων, δηλαδή μόνο όταν βρίσκονται σε μια ιδιοκατάσταση ενός παρατηρήσιμου.*

Θα πρέπει ωστόσο να διακρίνουμε την ύπαρξη ενός αντικειμένου από τη δυνατότητα εξατομίκευσής του. Ο Lowe υποστηρίζει αυτή τη διάκριση καταφεύγοντας στη μεταφυσική ιδιότητα της *αυτο-ταύτισης* (self-identity). Συγκεκριμένα υποστηρίζει ότι η αυτο-ταύτιση, ήτοι η ταύτιση μιας οντότητας με τον εαυτό της, είναι το σήμα κατατεθέν κάθε στοιχείου της πραγματικότητας, αποτελεί δηλαδή την πρώτη και αναγκαία συνθήκη που πρέπει να πληρείται ώστε αυτό να ταξινομείται ως *αντικείμενο* κάποιου είδους.²⁶⁹ Ο Lowe θέτει ως μεταφυσική αναγκαιότητα την ιδιότητα της αυτο-ταύτισης, την οποία διακρίνει από την επιστημική έννοια της ταυτότητας, είτε της συγχρονικής, είτε της διαχρονικής. Έτσι, αν ένα ηλεκτρόνιο, το οποίο βρίσκεται αρχικά σε μια ιδιοκατάσταση του σπιν και το αποκαλούμε e_1 , απορροφηθεί από ένα άτομο και περάσει σε καθεστώς ανωνυμίας, η απροσδιοριστία της ταυτότητάς του δεν σημαίνει ότι αυτό παύει να ταυτίζεται με τον εαυτό του αλλά ότι η συμπεριφορά του δεν μας επιτρέπει πλέον να διατυπώνουμε προτάσεις για το συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο και να ελέγχουμε την αληθοτιμή τους. Δεν μπορούμε για παράδειγμα να πούμε ότι το e_1 είναι το ηλεκτρόνιο της κατάστασης που περιγράφεται από την τετράδα $(2, 0, 0, +1/2)$ των κβαντικών αριθμών, διότι κάθε ηλεκτρόνιο του συστήματος είναι *εν δυνάμει* ηλεκτρόνιο της ίδιας κατάστασης και ως εκ τούτου όλα είναι μη διακρίσιμα μεταξύ τους. Ωστόσο, παρά τη μη διακρισιμότητά τους τα όμοια κβαντικά σωματίδια παραμένουν σε κάθε περίπτωση αριθμήσιμες οντότητες, εξακολουθούν δηλαδή να μετρούν ως ξεχωριστές *μονάδες* ορισμένου είδους. Απαραίτητη προϋπόθεση για να ισχύει αυτό είναι το κάθε σωματίδιο να ταυτίζεται με τον εαυτό του όχι γιατί υφίσταται μια

²⁶⁷ Auyang, S. (1995) p165

²⁶⁸ Auyang, S. (1995) p164

²⁶⁹ Lowe, E.J., (1994) p113, (1998) pp69-70

ιδιαίτερη σχέση ανάμεσα στις έννοιες της μονάδας και της αυτό-ταύτισης, αλλά διότι η τελευταία εκφράζει μια τετριμμένη αλλά λογικά αναγκαία συνθήκη που πρέπει να πληροί οποιαδήποτε οντότητα ώστε να μπορούμε να μιλάμε και να σκεφτόμαστε γύρω από αυτή ακόμα κι όταν οι συνθήκες δεν μας επιτρέπουν μια εξατομικευμένη αναφορά. Γι αυτό τον λόγο, κατά τον Lowe η ιδιότητα της αυτο-ταύτισης είναι μια ιδιότητα, την οποία μπορούν χωρίς πρόβλημα να φέρουν αντικείμενα όπως τα ηλεκτρόνια· εκείνο όμως που είναι προβληματικό για τέτοιου τύπου αντικείμενα είναι η κατοχή ιδιοτήτων, οι οποίες εμπλέκουν την έννοια της ταυτότητας, όπως είναι για παράδειγμα η ιδιότητα ενός ηλεκτρονίου σε ένα ιόν να ταυτίζεται με το ηλεκτρόνιο e_1 , δηλαδή με το ηλεκτρόνιο που μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή προκάλεσε το φαινόμενο του ιονισμού.²⁷⁰

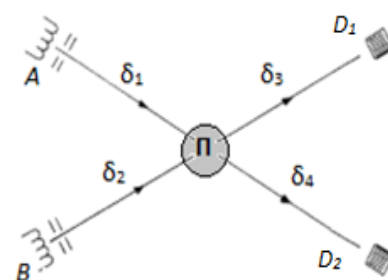
6.10 Η χρήση και η χρησιμότητα των δεικτών

Ωστόσο ο αποκλεισμός των δεικτών από τις περιγραφές του μικρόκοσμου δεν ενδείκνυται σε κάθε περίπτωση. Σε συνθήκες ταυτότητας οι δείκτες ανακτούν τον αναφορικό τους ρόλο και είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη μας ότι η χρήση τους στις περιγραφές των (αντι)συμμετρικών καταστάσεων γίνεται μέσα από την προοπτική δημιουργίας (ή επικράτησης) αυτών των συνθηκών. Στις συνθήκες αυτές τα κβαντικά σωματίδια είναι διακρίσιμα και αν η περιγραφή τους γίνεται χωρίς τη χρήση των δεικτών τότε δεν είναι πλήρης. Βέβαια στη πράξη οι επιστήμονες δεν ενδιαφέρονται αν, για παράδειγμα, τα ηλεκτρόνια που φαίνονται να διαγράφουν το καθένα μια συγκεκριμένη τροχιά μέσα σε ένα θάλαμο νέφους ονομάζονται «Άννα» και «Μαρία». Το ενδιαφέρον τους επικεντρώνεται στη διερεύνηση των συνθηκών υπό τις οποίες γίνεται δυνατή η παρατήρηση του φαινομένου. Έχει όμως φιλοσοφικό ενδιαφέρον το εάν και υπό ποιες συνθήκες τα ηλεκτρόνια έχουν την ικανότητα να γίνονται φορείς ονομάτων και αν στην περίπτωση αυτή είναι οι δείκτες του κβαντομηχανικού φορμαλισμού που εξυπηρετούν το σκοπό της αναφοράς. Από τη σκοπιά αυτή είναι φανερό ότι οι αναπαραστάσεις κβαντικών καταστάσεων είτε από (αντι)συμμετρικά διανύσματα του χώρου Hilbert, είτε από διανύσματα του χώρου Fock δεν προσφέρονται για την περιγραφή συστημάτων που τα σωματίδια τους μπορούν με κάποιο τρόπο να διακριθούν. Υπάρχει ωστόσο μια διαφορά! Ενώ οι δείκτες δεν είναι καν στοιχεία του φορμαλισμού του χώρου Fock, παραμένουν στοιχεία του φορμαλισμού του χώρου Hilbert, των οποίων όμως ο αναφορικός ρόλος αναστέλλεται μετά τη διαδικασία συμμετρικοποίησης. Για τον λόγο αυτό οι de Muynck και van Liempd²⁷¹ υποστηρίζουν ότι τα διανύσματα του χώρου Fock κρίνονται ακατάλληλα για την περιγραφή διακρίσιμων κβαντικών

²⁷⁰ Lowe, E.J., (1998) p71

²⁷¹ Muynck, M., W.- Liempd, P., G., (1986), p484

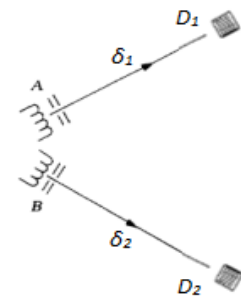
σωματιδίων και ότι στις περιπτώσεις αυτές η περιγραφή είναι πιο ακριβής όταν το σύστημα αναπαριστάνεται από ένα μη συμμετρικό διάνυσμα στο χώρο Hilbert. Αναφέρουν επίσης ότι η συμμετρικοποίηση δεν αποτελεί τη μόνη φυσική δυνατότητα για κβαντικά συστήματα όμοιων σωματιδίων. Η ισότητα $|\Psi(P(x_1, \dots, x_n))|^2 = |\Psi(x_1, \dots, x_n)|^2$ εκφράζει τη φυσική ισοδυναμία των σωματιδίων, η οποία θα πρέπει όμως να εκληφθεί ως συνέπεια του τρόπου με τον οποίο έχει προετοιμασθεί η κατάσταση $\Psi(x_1, \dots, x_n)$ και όχι ως συνέπεια μιας εγγενούς μη διακρισιμότητας των σωματιδίων της. Έτσι η συμμετρικοποίηση των καταστάσεων κρίνεται αναγκαία όταν η προετοιμασία του συστήματος καθιστά μη διακρίσιμα τα σωματίδια του, ώστε η μη διακρισιμότητα να είναι προϋπόθεση και όχι συνέπεια της συμμετρικοποίησης. Με ανάλογο τρόπο ο Mirman περιγράφει τη συμμετρικοποίηση ως αποτέλεσμα της δημιουργίας συσχετίσεων μεταξύ σωματιδίων και επισημαίνει ότι οι (αντι)συμμετρικές καταστάσεις δεν είναι ο μόνος τρόπος αναπαράστασης των κβαντικών καταστάσεων. Όταν ένα πiónιο διασπάται και παράγει ένα ηλεκτρόνιο, η άποψη ότι το συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο, επειδή και μόνο είναι ηλεκτρόνιο *συσχετίζεται* άμεσα με κάθε άλλο ηλεκτρόνιο οπουδήποτε στο σύμπαν, ώστε τα δύο μαζί να αποτελούν εξ αρχής μη διαχωρίσιμο σύστημα σε αντισυμμετρική κατάσταση, ακούγεται τουλάχιστον παράδοξη εφόσον, τα δύο ηλεκτρόνια δεν έχουν λόγω της απόστασης τους τη δυνατότητα μιας ακαριαίας αλληλεπίδρασης. Ο Mirman ισχυρίζεται ότι η περίπτωση δύο όμοιων ηλεκτρονίων που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους θα πρέπει



Σχ.6.2 Ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας εκπέμπονται από τις θερμαινόμενες καθόδους A και B και σκεδάζονται στην περιοχή Π.

να αντιμετωπίζεται όπως και η περίπτωση δύο επίσης απόλυτα όμοιων σφαιριδίων! Η συμμετρικοποίηση της κατάστασης των δύο ηλεκτρονίων θα είχε το ίδιο νόημα με τη συμμετρικοποίηση της κατάστασης των δύο όμοιων σφαιριδίων στον βαθμό που τα ηλεκτρόνια μπορούν να θεωρούνται διακρίσιμα μεταξύ τους. Παραδείγματα διακρίσιμων κβαντικών σωματιδίων συναντάμε στα πειράματα σκέδασης όπου τα σωματίδια εκπέμπονται από διαφορετικές πηγές και ταξιδεύουν προς την περιοχή σκέδασης ακολουθώντας διαφορετικές διαδρομές. Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι δύο ηλεκτρόνια εκπέμπονται από τις θερμαινόμενες καθόδους, A και B, και κινούνται μέσω των διαδρομών δ_1 και δ_2 προς την περιοχή σκέδασης Π όπως φαίνεται στο Σχ.6.2. Τα δύο ηλεκτρόνια βρίσκονται αρχικά μακριά το ένα από το άλλο και η ενέργεια τους είναι αρκούντως υψηλή. Στις συνθήκες αυτές το μήκος κύματος de Broglie που αντιστοιχεί σε κάθε ηλεκτρόνιο είναι πολύ μικρότερο από τη μεταξύ τους απόσταση και έτσι τα ηλεκτρόνια είναι διακρίσιμα ως προς την ιδιότητα της θέσης. Η

διακρισιμότητά τους μας επιτρέπει να αναφερόμαστε στο καθένα ξεχωριστά και να ονομάσουμε e_1 το ηλεκτρόνιο που εκπέμπει η κάθοδος A και e_2 το ηλεκτρόνιο που εκπέμπει η κάθοδος B. Αν $\psi_{e_1}(x_1)$ και $\psi_{e_2}(x_2)$ είναι οι κυματοσυναρτήσεις των ηλεκτρονίων e_1 και e_2 αντίστοιχα, όπου x_1 και x_2 αναπαριστούν τις συντεταγμένες των διαδρομών δ_1 και δ_2 αντίστοιχα, τότε αυτές, έστω και για ένα μικρό χρονικό διάστημα, δεν αλληλεπικαλύπτονται και η κατάσταση του συστήματος των δύο ηλεκτρονίων είναι προτιμότερο να αναπαριστάνεται από το μη συμμετριοποιημένο διάνυσμα $\psi_{e_1}(x_1)\psi_{e_2}(x_2)$ διότι μας πληροφορεί από *ποια* κάθοδο εκπέμπεται το κάθε ηλεκτρόνιο και *ποιο* ηλεκτρόνιο ακολουθεί *ποια* διαδρομή. Η συμμετριοποίηση της κατάστασης του συστήματος πριν τη σκέδαση αποκρύπτει αυτή την πληροφορία! Αν θεωρήσουμε ότι το σύστημα πριν τη σκέδαση βρίσκεται στη αντισυμμετρική κατάσταση $\psi_{e_1}(x_1)\psi_{e_2}(x_2) - \psi_{e_1}(x_2)\psi_{e_2}(x_1)$, τότε πληροφορούμαστε απλώς ότι δύο ηλεκτρόνια εκπέμπονται το ένα από την κάθοδο A και το άλλο από τη B και ακολουθούν τις διαδρομές δ_1 και δ_2 αντίστοιχα· όμως αυτή είναι ελλιπής περιγραφή, όπου το βάρος δίνεται στις καταστάσεις, οι οποίες πραγματώνονται από τα όμοια σωματίδια του συστήματος. Η περιγραφή είναι το ίδιο ελλιπής, όπως θα ήταν και στην περίπτωση που δύο απολύτως όμοια σφαιρίδια θα εκτοξεύονταν από δύο διαφορετικές περιοχές προς ένα συγκεκριμένο στόχο, αν παραλείπαμε την πληροφορία που μας λέει *ποιο* σφαιρίδιο εκτοξεύεται από *ποια* περιοχή. Βέβαια η περιγραφή δεν είναι λανθασμένη, όμως η παράλειψη της πληροφορίας θεωρείται αδικαιολόγητη και αυθαίρετη.²⁷² Συνεπώς η ομοιότητα των



Σχ.6.3 Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται οι κάθοδοι A και B απομακρύνονται το ένα από το άλλο.

κβαντικών σωματιδίων δεν σημαίνει ότι η κατάστασή τους οφείλει να συμμορφώνεται με μια μορφή συμμετρίας. Αντίστροφα οι (αντι)συμμετρικές καταστάσεις δεν συνεπάγονται κατ' ανάγκη την έλλειψη διακρισιμότητας, εφόσον η αρχική κατάσταση των δύο ηλεκτρονίων πριν προσεγγίσουν την περιοχή σκέδασης, αν και διακρίσιμα, θα μπορούσε κάλλιστα να περιγράφεται από μια αντισυμμετρική κυματοσυνάρτηση. Επίσης ως αντισυμμετρική θα μπορούσε να περιγράφεται και η κατάσταση δύο ηλεκτρονίων, των οποίων η κατάσταση προετοιμασίας αποκλείει οποιαδήποτε συσχέτιση μεταξύ τους, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του απεικονίζεται στο Σχ.6.3, όπου τα δύο ηλεκτρόνια εκπέμπονται με τέτοιο τρόπο ώστε να οδεύουν απομακρυνόμενα το ένα από το άλλο. Στην περίπτωση αυτή μια αντισυμμετρική αναπαράσταση της κατάστασης του συστήματος θα μας πληροφορούσε ότι δύο ηλεκτρόνια

²⁷² Mermin, R. (1973) p115

ανιχνεύονται από τις συσκευές D_1 και D_2 , χωρίς όμως να μας πληροφορεί από ποια κάθοδο εκπέμπεται το ηλεκτρόνιο που ανιχνεύει η συσκευή D_1 και από ποια το ηλεκτρόνιο που ανιχνεύει η συσκευή D_2 .²⁷³

Ωστόσο η συμμετρικοποίηση αποκτά νόημα και κρίνεται επιβεβλημένη μετά το φαινόμενο της σκέδασης. Όταν τα ηλεκτρόνια εισέρχονται στην περιοχή σκέδασης, τότε οι κυματοσυναρτήσεις τους αλληλεπικαλύπτονται και τα ηλεκτρόνια παύουν πλέον να θεωρούνται διακρίσιμα. Στην περιοχή σκέδασης, πέραν των δυναμικών αλληλεπιδράσεων, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να εκτρέπονται από την αρχική τους πορεία, αναπτύσσονται συσχετίσεις, οι οποίες οφείλονται στις κυματικές ιδιότητες των ηλεκτρονίων και έχουν ως αποτέλεσμα η κατάσταση του συστήματος να λαμβάνει αντισυμμετρική μορφή. Έτσι αν μετά τη σκέδαση ένα ηλεκτρόνιο φτάσει στον ανιχνευτή D_1 (Σχ.6.2) δεν υπάρχει ένα αντικειμενικό γεγονός που να μας λέει αν το ηλεκτρόνιο που ανιχνεύεται είναι το e_1 ή το e_2 . Στην περιοχή σκέδασης, ως εκ τούτου, η διακρισιμότητα μέσω της οποίας καθιερώθηκε η χρήση των ονομάτων e_1 και e_2 , καταστρέφεται και τα δύο ηλεκτρόνια περνούν σε καθεστώς ανωνυμίας. Από μια φορμαλιστική σκοπιά η καταστροφή της διακρισιμότητας και το πέρασμα σε (αντι)συμμετρικές καταστάσεις σηματοδοτείται από την τιμή του παράγοντα συμβολής, ο οποίος εμφανίζεται στον υπολογισμό της συσχετισμένης πιθανότητας το e_1 ή το e_2 να ανιχνευθεί από τη συσκευή D_1 . Όπως αποδεικνύεται ο παράγοντας αυτός λαμβάνει στην περιοχή σκέδασης μη μηδενική τιμή (αρνητική, λόγω της απαγορευτικής αρχής του Pauli όταν πρόκειται για φερμιόνια και θετική όταν πρόκειται για μποζόνια) μόνο στην περίπτωση όμοιων σωματιδίων και μηδενίζεται όταν τα σωματίδια ανήκουν σε διαφορετικά είδη.²⁷⁴ Όπως επισημαίνει ο Mirman ο παράγοντας συμβολής δεν είναι μια ad hoc προσθήκη, αλλά προκύπτει από γενικές αρχές της κβαντικής μηχανικής, προς τις οποίες οφείλει να συμμορφώνεται ο κβαντομηχανικός φορμαλισμός. Ειδικότερα ο παράγοντας συμβολής είναι ένας κυματικός παράγοντας, ο οποίος οφείλει την εμφάνισή του στις κυματικές ιδιότητες των κβαντικών σωματιδίων όποτε αυτές εκδηλώνονται. Αντίστροφα η εμφάνιση του παράγοντα συμβολής υποδηλώνει κυματική συμπεριφορά ενώ οι συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνει μη μηδενικές τιμές θα είναι και συνθήκες υπό τις οποίες τα κβαντικά σωματίδια εκδηλώνουν την κυματική τους φύση.

²⁷³ Muynck, M., W.- Liempd, P., G., (1986) pp 485-6

²⁷⁴ Ο Mirman επικαλείται την εργασία των Lyuboshitz, L., V. και Podgoretskii, I., M. (1969) στην οποία αποδεικνύουν ότι ο παράγοντας συμβολής εξαρτάται από την παράμετρο $\exp[i(E_B - E_A)t]$ όπου E_A και E_B είναι οι ενέργειες και t η χρονική καθυστέρηση κατά την ανίχνευση των δύο σωματιδίων. Όταν τα σωματίδια είναι όμοια η εκθετική αυτή παράμετρος λαμβάνει την τιμή 1 και ως εκ τούτου δεν επηρεάζει την τιμή του παράγοντα συμβολής ο οποίος λαμβάνει μη μηδενικές τιμές. [Mirman, R. (1973) pp118-21]

7

Μεταφυσική και Επιστημική Σημασία της Ατομικότητας

Μεταφυσικές Θεωρίες περί Αντικειμένων

Κατά τον Jonathan Lowe ο όρος «εξατομίκευση» έχει δύο διακριτές σημασίες, μια επιστημική και μια μεταφυσική. Με την επιστημική της σημασία η εξατομίκευση είναι «μια γνωσιακή δραστηριότητα – κάτι που εμείς, ή νοήμονα όντα γενικά, μπορούμε να κάνουμε. Υπό αυτή την έννοια το να εξατομικεύει κάποιος ένα αντικείμενο σημαίνει να απομονώνει αυτό το αντικείμενο ως ένα ξεχωριστό αντικείμενο αντίληψης, σκέψης και γλωσσικής αναφοράς». Ως μεταφυσική όμως έννοια η εξατομίκευση είναι μια σχέση μεταξύ οντοτήτων, από τη μια μεριά του ίδιου του αντικειμένου και από την άλλη της οντότητας, όποια κι αν είναι αυτή, που εξατομικεύει το αντικείμενο, δηλαδή της οντότητας «...που το κάνει το μοναδικό αντικείμενο που είναι – που το κάνει ένα αντικείμενο, ξεχωριστό από άλλα, και αυτό το ίδιο αντικείμενο ως αντίθετο από κάθε άλλο αντικείμενο»²⁷⁵. Την οντότητα, χάριν της οποίας ένα αντικείμενο εξατομικεύεται, την αποκαλούμε συνήθως *αρχή ατομικότητας* (individuality principle) και ο προσδιορισμός της αποτελεί διαχρονικό φιλοσοφικό ερώτημα. Η επιστημική και η μεταφυσική σημασία της εξατομίκευσης είναι στενά συνδεδεμένες: η μεταφυσική σχέση της εξατομίκευσης καθιστά δυνατή την εξατομίκευση με την επιστημική της σημασία και υπό μία έννοια την αιτιολογεί. Έτσι αν η εξατομίκευση με την επιστημική της σημασία προϋποθέτει την ικανότητα του γνωρίζοντος υποκειμένου να καθιστά ένα αντικείμενο ξεχωριστό αντικείμενο αντίληψης, σκέψης και γλωσσικής αναφοράς, η εξατομίκευση με τη μεταφυσική της σημασία υπονοεί την ικανότητα του αντικειμένου να εξατομικεύεται, ήτοι να διαμορφώνει τη σχέση εξατομίκευσης με μια αρχή ατομικότητας. Ωστόσο θα δούμε ότι στο πλαίσιο της κβαντικής φυσικής η εξήγηση της διττής συμπεριφοράς των κβαντικών σωματιδίων συναντά ανυπέρβλητες δυσκολίες και η εξατομίκευση με τη μεταφυσική της σημασία δείχνει να χάνει το σχεσιακό της χαρακτήρα. Έναντι αυτών των δυσκολιών η ιδέα μιας αρχής ατομικότητας που εξατομικεύει γενικά αντικείμενα αποδεικνύεται προβληματική. Αντ' αυτής θα εξετάσουμε αν μια μεταφυσική εξήγηση της εξατομίκευσης είναι δυνατή μέσα από μια έννοια αντικειμένου, η οποία να εμπεριέχει στο νόημα της την έννοια της εξατομίκευσης, ως ικανότητα του ίδιου του αντικειμένου να υπάρχει ως άτομο στις κατάλληλες συνθήκες.

7.1 Η εξατομίκευση των κβαντικών σωματιδίων ως μέρος της επιστημονικής δραστηριότητας

Από επιστημική σκοπιά η εξατομίκευση αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο κάθε

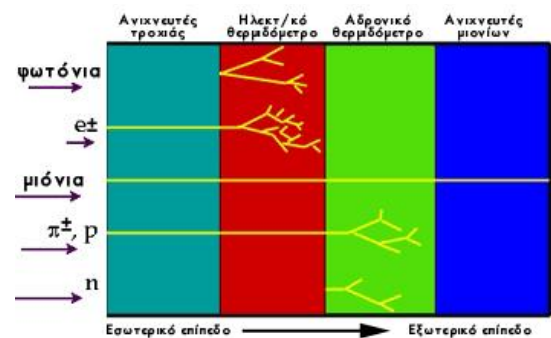
²⁷⁵ Lowe, E., J., (2003), p75

φυσικής θεωρίας, διότι μόνο μέσω αυτής είμαστε σε θέση να αντιλαμβανόμαστε ένα μέρος του κόσμου ως ένα ξεχωριστό σύστημα, το οποίο επιδέχεται μια εξατομικευμένη περιγραφή και πάνω στο οποίο εφαρμόζονται τα αξιώματα και οι νόμοι της θεωρίας. Για τους φυσικούς η εξατομίκευση είναι εκ των πραγμάτων αναγκαία συνθήκη για τη μελέτη της συμπεριφοράς και των αλληλεπιδράσεων ενός φυσικού συστήματος με άλλα φυσικά συστήματα και για τον λόγο αυτό η αναζήτηση τρόπων εξατομίκευσης αποτελεί σημαντικό μέρος της επιστημονικής πρακτικής. Το στοιχείο αυτό αναδεικνύεται και στο πεδίο άσκησης της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων. Μέρος της πρακτικής των επιστημόνων, που εργάζονται σε αυτό το πεδίο, είναι να «εξαναγκάσουν» τις οντότητες του υποατομικού κόσμου να εκδηλώσουν την ύπαρξή τους αλληλεπιδρώντας με τον μακρόκοσμο και προκαλώντας συγκεκριμένα συμβάντα, των οποίων η ταυτότητα παραπέμπει ευθέως στην ταυτότητα του αιτίου που τα προκαλεί. Οι ανιχνευτές των μεγάλων επιταχυντών σχεδιάζονται με τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η ανασυγκρότηση και μάλιστα με μεγάλη ακρίβεια,

του συνόλου των συμβάντων που προκαλούνται καθώς ένα σωματίδιο αλληλεπιδρά με το υλικό του ανιχνευτή (Εικ 7.1). Ο χωροχρονικός προσδιορισμός των συμβάντων αλληλεπίδρασης και η επεξεργασία των δεδομένων που καταγράφονται οδηγούν στον προσδιορισμό της τροχιάς του σωματιδίου και την ταυτοποίηση του είδους, στο οποίο ανήκει. Η γνωσιακή αυτή δραστηριότητα είναι μια πράξη εξατομίκευσης, κατά την οποία ένα συγκεκριμένο σωματίδιο

συνδέεται με μια σειρά καλά προσδιορισμένων συμβάντων. Αυτά τα συμβάντα είναι τα ίχνη που αφήνει το εν λόγω σωματίδιο και η αναφορά μας σε αυτά παραπέμπει ευθέως στο ίδιο αυτό σωματίδιο. Υπάρχουν ως εκ τούτου συνθήκες υπό τις οποίες μπορούμε να λέμε με νόημα «αυτό το ηλεκτρόνιο» ή «αυτό το μιονίο» και να το ξεχωρίζουμε από άλλα σωματίδια.

Συνεπώς μια πράξη εξατομίκευσης στο κβαντικό κόσμο είναι μια στοχευμένη δραστηριότητα που σκοπό έχει να αποσπάσει ένα ορισμένο σωματίδιο από το περιβάλλον του μέσω μιας καλά σχεδιασμένης μετρικής διαδικασίας. Η μέτρηση δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες υπό τις οποίες αίρεται η μη διαχωρισσιμότητα των καταστάσεων, η οποία «εμποδίζει» τα σωματίδια να επιδείξουν εξατομικευμένη συμπεριφορά. Στις συνθήκες αυτές τα σωματίδια απεμπλέκονται από τις συζευγμένες καταστάσεις σύνθετων συστημάτων, των οποίων αποτελούσαν υποσυστήματα και περιέρχονται στις δικές τους χωριστές καταστάσεις. Ωστόσο



Εικ. 7.1. Τα επίπεδα ενός τυπικού ανιχνευτή: οι ιδιότητες του υλικού του σε κάθε επίπεδο καθορίζουν το είδος των αλληλεπιδράσεων και εξ αυτών το είδος των σωματιδίων που τις προκαλούν.

έχει σημασία να επισημάνουμε ότι οι καταστάσεις αυτές καθορίζονται από το είδος της μέτρησης. Στη κβαντική μηχανική δεν είναι συνεπές να αποδίδουμε μια ορισμένη κατάσταση σε ένα κβαντικό σωματίδιο χωρίς να γίνεται αναφορά στην πειραματική διαδικασία που οδήγησε στην παρατήρηση του εν λόγω σωματιδίου. Επιπλέον το παρατηρούμενο αντικείμενο να μην περιέρχεται στη δική του χωριστή κατάσταση, όμως στην κατάσταση αυτή μόνο ένα μέρος των μετρήσιμων φυσικών μεγεθών, αυτά που χαρακτηρίζονται *σύμμετρα* (commensurable) μεταξύ τους, αποκτούν καλά καθορισμένες τιμές. Το ποια είναι αυτά τα φυσικά μεγέθη εξαρτάται από το είδος της μέτρησης και μετρήσεις που στοχεύουν η κάθε μια στον προσδιορισμό της τιμής *ασύμμετρων* (incommensurable) μεταξύ τους φυσικών μεγεθών οδηγούν σε *ασύμμετρες* καταστάσεις όπου το ίδιο σωματίδιο εμφανίζει διαφορετικές όψεις της πραγματικότητάς του και κάθε απόπειρα οι δύο αυτές όψεις να συνδυασθούν σε μια μοναδική εικόνα οδηγεί σε αντιφάσεις.²⁷⁶

Επιπλέον το θεώρημα Kochen-Specker²⁷⁷ αποδεικνύει ότι η τιμή που αποκτά ένα και το αυτό παρατηρήσιμο μέγεθος εξαρτάται από τη σειρά των μετρήσεων, στις οποίες υποβάλλεται το σύστημα, εφόσον οι ίδιες μετρήσεις αν πραγματοποιηθούν με διαφορετική σειρά είναι δυνατόν να οδηγήσουν ένα σωματίδιο σε καταστάσεις όπου ένα και το αυτό φυσικό μέγεθος λαμβάνει διαφορετική τιμή. Συνεπώς ο τρόπος με τον οποίο ένα κβαντικό σωματίδιο γίνεται εμπειρικό αντικείμενο εξαρτάται απολύτως από το πλαίσιο που δημιουργεί η πειραματική διαδικασία. Υπό την έννοια αυτή ο Karakostas θεωρεί ότι τα κβαντικά σωματίδια είναι *εξαρτώμενα-του-πλαισίου* (context-dependent) παρατήρησής τους, για να συμπεράνει στη συνέχεια ότι αυτό το είδος της εξάρτησης δεν ταιριάζει σε αντικείμενα που «...χαίρουν μιας εγγενούς ατομικότητας»²⁷⁸. Πράγματι η ατομικότητα για να χαρακτηρίζεται εγγενής θα πρέπει

²⁷⁶ Αυτό είναι το νόημα της *αρχής της συμπληρωματικότητας* (complementarity principle) η οποία διατυπώθηκε από τον Niels Bohr. Σε ένα απόσπασμα μιας εργασίας του ίδιου διαβάζουμε: «Στην κβαντική μηχανική, εντούτοις, αποδεικτικά στοιχεία σχετικά με ατομικά αντικείμενα που λαμβάνονται μέσω διαφορετικών πειραματικών διατάξεων, εκδηλώνουν ένα καινοτόμο είδος συμπληρωματικής σχέσης. Πράγματι, πρέπει να αναγνωρισθεί ότι τέτοια αποδεικτικά στοιχεία, τα οποία εμφανίζουν αντίφαση όταν επιχειρείται ο συνδυασμός τους σε μια μοναδική εικόνα, εξαντλούν όλη τη δυνατή γνώση σχετικά με το αντικείμενο. Μακριά από το να θεωρείται περιορισμός στις προσπάθειες μας να θέτουμε ερωτήματα στη φύση με τη μορφή πειραμάτων, η έννοια της συμπληρωματικότητας απλά χαρακτηρίζει τις απαντήσεις που μπορούμε να λαμβάνουμε μέσω μια τέτοιας έρευνας, κάθε φορά που η αλληλεπίδραση μεταξύ της μετρικής συσκευής και των αντικειμένων συγκροτεί ένα ακέραιο μέρος των φαινομένων. [Bohr, N., (1962), p.4]

²⁷⁷ Το θεώρημα των Kochen-Specker (1967) αποδεικνύει ότι η αληθοτιμή μιας πειραματικά επαληθεύσιμης «να/όχι» πρότασης εξαρτάται από το πειραματικό πλαίσιο εντός του οποίου αυτή ελέγχεται. Έστω ότι A, B και C είναι παρατηρήσιμα μεγέθη ενός κβαντικού συστήματος που το καθένα αντιπροσωπεύει μια «να/όχι» πειραματικά επαληθεύσιμη πρόταση. Αν ο προβολικός τελεστής του A, έστω P_A , μετατίθεται με τους προβολικούς τελεστές των μεγεθών B και C, έστω P_B και P_C , αν δηλαδή ισχύει $[P_A, P_B]=0$ και $[P_A, P_C]=0$ χωρίς όμως το ίδιο να ισχύει για τους τελεστές των μεγεθών B και C, δηλαδή $[P_B, P_C] \neq 0$ τότε το αποτέλεσμα της μέτρησης του A εξαρτάται από το εάν προηγουμένως το σύστημα είχε υποβληθεί σε μια μέτρηση του μεγέθους B ή του C. Ενδέχεται, για παράδειγμα, η αληθοτιμή του A να είναι «αληθής» αν της μέτρησης του A είχε προηγηθεί η μέτρηση του B και «ψευδής» αν της μέτρησης του A είχε προηγηθεί η μέτρηση του C.

²⁷⁸ Karakostas (2012) pp54-5

να είναι μέρος της φύσης του αντικειμένου και να αποδίδεται σε αυτό ανεξάρτητα από οποιαδήποτε συνθήκη. Αυτό όμως σημαίνει ότι αντικείμενα με εγγενή ατομικότητα δεν μπορούν παρά μόνο να υπάρχουν ως *άτομα* (individuals) και ότι η εξατομίκευσή τους δεν πρέπει να εξαρτάται από τις καταστάσεις, στις οποίες είτε βρίσκονται, είτε μετέχουν. Αντίθετα θα πρέπει να είναι δυνατή σε κάθε περίπτωση και τυχόν αποτυχία της να αποδίδεται στον παρατηρητή και όχι στο αντικείμενο. Όμως τα κβαντικά σωματίδια δεν ανήκουν σε αυτή την κατηγορία των αντικειμένων. Στις συζευγμένες καταστάσεις τα κβαντικά σωματίδια δεν βρίσκονται αυτά τα ίδια σε κάποια κατάσταση και γι αυτό η εξατομίκευσή τους προϋποθέτει τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών, οι οποίες να προκαλέσουν την απεμπλοκή τους από αυτές. Τότε όμως είναι φανερό ότι οι συνθήκες και όχι κάποια μορφή εγγενούς ατομικότητας καθιστούν δυνατή την εξατομίκευσή τους.

Ωστόσο η έλλειψη εγγενούς ατομικότητας θέτει ερωτηματικά γύρω από την εξατομίκευση με τη μεταφυσική της σημασία. Αν δεχθούμε ότι από τη σκοπιά της μεταφυσικής η εξατομίκευση είναι μια σχέση μεταξύ του αντικειμένου και μιας αρχής ατομικότητας και αν η πραγμάτωση της εν λόγω σχέσης θεωρείται προαπαιτούμενο της εξατομίκευσης με την επιστημική της σημασία, τότε χρειάζεται καταρχήν να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι ως προς το ποια είναι αυτή η αρχή και χάριν ποιων παραγόντων η σχέση της με το αντικείμενο το εξατομικεύει. Πέραν τούτου όμως η κβαντική φυσική θέτει το πρόβλημα σε μια εντελώς καινούργια βάση: αν η εξατομίκευση των κβαντικών σωματιδίων είναι από μεταφυσική σκοπιά μια σχέση μεταξύ οντοτήτων, τότε η σχέση αυτή θα πρέπει να διαμορφώνεται υπό ορισμένες συνθήκες και να παύει να υφίσταται έξω από τις συνθήκες αυτές. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι καλούμαστε να αναζητήσουμε μια μεταφυσική εξήγηση της εξατομίκευσης κομμένης και ραμμένης στα μέτρα των κβαντικών σωματιδίων. Η μεταφυσική εξήγηση της εξατομίκευσης για να είναι πράγματι *μεταφυσική* οφείλει να είναι μια *καθολική* και *γενική* εξήγηση που αφορά κάθε αντικείμενο και όχι μόνο τα κβαντικά σωματίδια. Σε όσους ασχολούνται με τη μεταφυσική είναι γνωστό ότι το αίτημα για καθολικότητα και γενικότητα αφορά κάθε δήλωση/πρόταση, η οποία αξιώνει να εκφράσει μια μεταφυσική αλήθεια. Οι μεταφυσικές προτάσεις, λέει για παράδειγμα ο Peter van Inwagen, δεν διατυπώνονται ούτε υπό συνθήκες: «...κανένας περιορισμός της στοχευόμενης αναφοράς δεν είναι σε ισχύ...», ούτε κατά περίπτωση: «όλες οι έννοιες ή οι κατηγορίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται στη διατύπωση της πρότασης είναι επαρκώς γενικές»²⁷⁹. Συνεπώς, όποια κι αν είναι η μεταφυσική εξήγηση της εξατομίκευσης θα πρέπει να αφορά κάθε αντικείμενο, ανεξαρτήτως μεγέθους, και να συμμορφώνεται με τα κβαντικά φαινόμενα χωρίς να δημιουργεί προβλήματα περισσότερα από ό,τι φέρεται να λύνει. Είναι ένας δύσκολος γρίφος, αν

²⁷⁹ van Inwagen, P., (1998) pp 12-3

σκεφτούμε ότι επιχειρούμε να προσαρμόσουμε μεταφυσικές απαντήσεις διαμορφωμένες στη βάση κλασικά καλλιεργημένων διαισθήσεων στα καινοτόμα δεδομένα που δημιουργεί η κβαντική μηχανική.

7.2 Η μεταφυσική σημασία της εξατομίκευσης, η αρχή ατομικότητας και οι προκλήσεις

Η όλη συζήτηση γύρω από την αναζήτηση μιας αρχής ατομικότητας, χάριν της οποίας ένα αντικείμενο συμπεριφέρεται ως άτομο, διεξαγόταν μέχρι και πριν την έλευση της κβαντικής μηχανικής πάντα σε σχέση με τις κρατούσες ιδέες περί αντικειμένων, οι οποίες όμως δεν είχαν δοκιμασθεί από τα καινοτόμα κβαντικά φαινόμενα. Κοινή αφετηρία κάθε μεταφυσικού εξηγητικού σχήματος ήταν η εικόνα των μακροσκοπικών αντικειμένων, των οποίων η εξατομίκευση ως επιστημική δραστηριότητα συντελείται στη βάση απλών αισθητηριακών δεδομένων, σύμφωνα με τα οποία τα αντικείμενα δεν μπορούν παρά να υπάρχουν ως άτομα (individuals). Η συμπεριφορά όμως των κβαντικών σωματιδίων ανατρέπει αυτά τα δεδομένα. Από επιστημική σκοπιά η εξατομίκευσή τους γίνεται στις κατάλληλες μόνο συνθήκες γεγονός που καθιστά τη μεταφυσική της εξήγηση αρκετά πολύπλοκη.

Απέναντι σε αυτές τις δυσκολίες η συνήθης αντίδραση των φιλοσόφων είναι ότι τα κβαντικά σωματίδια δεν είναι άτομα παρά την υπό συνθήκες εξατομίκευσή τους. Εντούτοις ο ελιγμός αυτός δημιουργεί περισσότερα μεταφυσικά προβλήματα από αυτά που φαίνεται ότι λύνει. Από τη στιγμή που κάποιος δέχεται την ύπαρξη μη εξατομικευμένων οντοτήτων τα μεταφυσικά ερωτήματα περί ατομικότητας δεν είναι τετριμμένα. Η μεταφυσική εξήγηση της ατομικότητας αποκτά βαρύνουσα σημασία, διότι μέσω αυτής τα αντικείμενα διακρίνονται σε αυτά που είναι και σε αυτά που αποτυγχάνουν να είναι άτομα. Έτσι, αν η εξατομίκευση ενός αντικειμένου είναι πράγματι μια σχέση του αντικειμένου με μια αρχή ατομικότητας, τότε εύλογα συμπεραίνει κανείς ότι η αποτυχία ενός αντικειμένου να υπάρξει ως άτομο οφείλεται στο γεγονός ότι μια τέτοια σχέση δεν διαμορφώνεται. Ωστόσο κάτι πρέπει να ειπωθεί για την αποτυχία ορισμένων αντικειμένων να διαμορφώνουν μια σχέση εξατομίκευσης με την εκάστοτε προτεινόμενη αρχή ατομικότητας. Συγκεκριμένα αν κάποιος επικαλείται μια ορισμένη αρχή ατομικότητας για να εξηγήσει την εξατομικευμένη συμπεριφορά των αντικειμένων, θα πρέπει επίσης να εξηγήσει γιατί κάποια άλλα αντικείμενα, στην περίπτωση μας τα κβαντικά σωματίδια, δεν διαμορφώνουν την ίδια σχέση με την ίδια αρχή. Όμως αυτό δεν είναι αρκετό! Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα η εξατομίκευση των κβαντικών σωματιδίων συμβαίνει και είναι σημαντικό μέρος της επιστημονικής έρευνας και πρακτικής. Αν όμως τα κβαντικά σωματίδια δεν θεωρούνται άτομα, τότε πώς εξηγείται η εξατομίκευσή τους έστω και υπό ειδικές συνθήκες; Θα μπορούσαμε βέβαια να παρακάμψουμε αυτή τη δυσκολία και να χαρακτηρίσουμε την

εξατομικευμένη συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων ως *ψευτοατομικότητα* λέγοντας ότι αυτή η συμπεριφορά οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στις ειδικές συνθήκες που δημιουργούνται γι αυτόν ακριβώς το σκοπό και ότι δεν χρειάζεται να επιστρατεύσουμε μια αρχή ατομικότητας για να την εξηγήσουμε και σε μεταφυσικό επίπεδο. Να πούμε με άλλα λόγια ότι η υπό συνθήκες εξατομικευμένη συμπεριφορά δεν δηλώνει μια μορφή γνήσιας ατομικότητας και ως εκ τούτου δεν χρήζει μεταφυσικής εξήγησης. Αυτό βέβαια σημαίνει ότι άτομα θα πρέπει να θεωρούμε μόνο τα αντικείμενα που σε όλες τις δυνατές συνθήκες υπάρξής τους συμπεριφέρονται ως άτομα και σίγουρα τα κβαντικά σωματίδια δεν ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία.

Ωστόσο η ιδέα της ψευτοατομικότητας δεν είναι παρά μια υπεκφυγή. Όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν η εξατομίκευση των κβαντικών σωματιδίων γίνεται με τα ίδια εννοιολογικά εργαλεία, με τα οποία εξατομικεύεται κάθε άλλο αντικείμενο· κι αν η εξατομίκευση με την επιστημική της σημασία προϋποθέτει την εξατομίκευση με τη μεταφυσική της σημασία, γιατί πρέπει τα κβαντικά σωματίδια να εξαιρούνται από αυτόν τον κανόνα; Ίσως επειδή είναι διαφορετικά από τα αντικείμενα της κλασικής φυσικής και από ό,τι έχουμε συνηθίσει να χαρακτηρίζουμε αντικείμενα στην καθημερινή μας ζωή. Όμως η διαφορετικότητά τους δεν συνίσταται στην αδυναμία εξατομικεύσής τους αλλά στο γεγονός ότι αυτή γίνεται δυνατή μόνο στις κατάλληλες για το είδος τους συνθήκες. Έτσι αν υπάρχει κάτι που χρήζει μεταφυσικής εξήγησης αυτό είναι η διττή συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων δηλαδή η υπό συνθήκες σύνδεσή τους με κάποια αρχή ατομικότητας.

Αν παρόλα αυτά επιμείνουμε στην ιδέα της ψευτοατομικότητας και στην άποψη ότι τα κβαντικά σωματίδια δεν είναι άτομα, παραμένει το ερώτημα γιατί αυτού του είδους τα σωματίδια αποτυγχάνουν να είναι άτομα, ή ισοδύναμα γιατί αποτυγχάνουν να διαμορφώσουν μια σχέση εξατομίκευσης με κάποια αρχή ατομικότητας. Ως προς αυτό είναι προφανές ότι η αποτυχία δεν πρέπει να χρεώνεται στην αρχή ατομικότητας. Προορισμός κάθε προτεινόμενης αρχής ατομικότητας είναι να εξατομικεύει αντικείμενα και θα ήταν αντίθετο με τη φύση της να ανταποκρίνεται σε αυτό τον ρόλο κατά περίπτωση. Τον λόγο της αποτυχίας θα πρέπει συνεπώς να τον αναζητήσουμε όχι στην οντότητα που εξατομικεύει αλλά σε αυτήν που εξατομικεύεται δηλαδή στα ίδια τα κβαντικά σωματίδια και στην ιδιαίτερη φύση τους, εξ αιτίας της οποίας η σχέση εξατομικεύσής τους με κάποια αρχή ατομικότητας δεν καθίσταται δυνατή. Κατόπιν τούτου και για λόγους συνέπειας θα πρέπει να δεχθούμε αντίστοιχα ότι είναι στη φύση κάθε αντικείμενου που εξατομικεύεται να είναι εξατομικεύσιμο. Συνεπώς αυτό που κάνει τελικά ένα αντικείμενο να είναι ή να μην είναι άτομο, είναι η δική του ικανότητα/φύση να διαμορφώνει ή να μη διαμορφώνει αντίστοιχα μια σχέση εξατομίκευσης με μια κάποια αρχή ατομικότητας.

Τότε όμως εύλογα αναρωτιέται κανείς γιατί χρειαζόμαστε επιπλέον μια αρχή ατομικότητας, τουτέστιν μια οντότητα, χάριν της οποίας ένα αντικείμενο συμπεριφέρεται ως άτομο! Προφανώς διότι το να είναι (ή να μην είναι) ένα αντικείμενο εξατομικεύσιμο δεν αρκεί για την εξατομίκευσή του (ή τη μη εξατομίκευσή του), θα πρέπει επιπλέον να συνδεθεί (ή να μην συνδεθεί) με μια αρχή ατομικότητας. Αλλά και πάλι γιατί; Ως προς αυτό θεωρούμε ότι η ιδέα για την ύπαρξη μιας αρχής ατομικότητας είναι συνυφασμένη με γενικότερες θεωρίες περί αντικειμένων που θέλουν τα αντικείμενα να είναι συμπλέγματα απλούστερων οντοτήτων. Ο αναγωγισμός είναι το κοινό χαρακτηριστικό κάθε τέτοιας θεωρίας, εφόσον ένα αντικείμενο δεν είναι τίποτα περισσότερο από ένα σύμπλεγμα απλούστερων οντοτήτων, με βάση τις οποίες εξηγούμε κάθε συμπεριφορά του. Όμως οι αναγωγιστικές δεν είναι οι μόνες διαθέσιμες μεταφυσικές θεωρίες περί αντικειμένων. Σύμφωνα με μια παλιά παράδοση που μας πάει πίσω στον Αριστοτέλη, τα αντικείμενα εμφανίζουν πράγματι μια μορφή πολυπλοκότητας χωρίς αυτό να συνεπάγεται κατ' ανάγκη ότι πρόκειται για συμπλεγματικές οντότητες που δομούνται από άλλες απλούστερες. Αναγωγιστικές και μη θεωρίες περί αντικειμένων θέτουν η κάθε μια τους δικούς της περιορισμούς στην αναζήτηση μιας μεταφυσικής εξήγησης της εξατομίκευσης. Πριν όμως εμπλακούμε σε αυτήν τη συζήτηση θα θέσουμε έναν γενικό περιορισμό στην έρευνα γύρω από την αρχή ατομικότητας: η ατομικότητα δεν μπορεί να οφείλεται σε μια αρχή, η οποία βρίσκεται έξω από το αντικείμενο. Η σχέση της εξατομίκευσης με μια αρχή ατομικότητας είναι λογικά και μεταφυσικά προγενέστερη των σχέσεων που διαμορφώνονται με εξωτερικούς παράγοντες, τις οποίες η ζητούμενη αρχή ατομικότητας θέλουμε μάλλον να εξηγή. ²⁸⁰

7.3 Αναγωγιστικές μεταφυσικές θεωρίες περί αντικειμένων

Από μεταφυσική σκοπιά γενικά δεχόμαστε ότι τα αντικείμενα διαθέτουν εσωτερική δομή και πολλοί είναι οι φιλόσοφοι που τα αντιμετωπίζουν ως *συμπλέγματα* (complexes) άλλων απλούστερων οντοτήτων. ²⁸¹ Υπό αυτό το πρίσμα σκοπός κάθε μεταφυσικής θεωρίας περί αντικειμένων είναι να πει ποια είναι τα συστατικά των αντικειμένων και να υποδείξει τον τρόπο

²⁸⁰ Δύο υπονήφιες εξωτερικές του αντικειμένου αρχές ατομικότητας οι οποίες έχουν εκτεταμένα συζητηθεί είναι η χωρική (ή χωροχρονική) θέση των αντικειμένων από τη μια και η καταγωγή τους από την άλλη. Ωστόσο τόσο η μοναδικότητα της θέσης, όσο και η μοναδικότητα της καταγωγής των αντικειμένων θα πρέπει να θεωρούνται ως συνέπεια και όχι ως το αίτιο της ατομικότητάς τους. [Gracia, J., E. (1988), p151, 162]

²⁸¹ Εξαίρεση αποτελούν εκείνοι οι νομιναλιστές φιλόσοφοι που αρνούνται εξ ολοκλήρου την ύπαρξη ιδιοτήτων, όχι μόνο ως *καθόλου* (universals) αλλά και ως *καθέκαστα* (particulars). Πρόκειται για μια ισχυρή εκδοχή νομιναλισμού σύμφωνα με την οποία τα αντικείμενα είναι μη αναλύσιμες οντότητες, δηλαδή οντότητες που στερούνται οποιασδήποτε οντολογικής δομής. Την εκδοχή αυτή έχει υποστηρίξει ο Quine ο οποίος στο άρθρο του «On what there is» γράφει: «Η λέξη «κόκκινο» ή «κόκκινο αντικείμενο είναι αληθής για κάθε μια από τις διάφορες οντότητες που είναι κόκκινα σπίτια, κόκκινα τριαντάφυλλα και κόκκινα ηλιοβασίλεμα: όμως δεν υπάρχει επιπρόσθετα κάποια οντότητα, όποια κι αν είναι αυτή, που να ονομάζεται από τη λέξη «κοκκινότητα» ... Το ότι σπίτια, τριαντάφυλλα και ηλιοβασίλεμα είναι όλα τους κόκκινα μπορεί να ληφθεί ως τελικό και μη αναγώγιμο...» [Quine, W., V., (1954), p10]

με τον οποίο τα συστατικά αυτά δομούν ένα ενιαίο και αριθμήσιμο όλο. Μιλώντας ωστόσο για τα συστατικά των αντικειμένων και δεδομένου ότι τα αντικείμενα είναι φορείς ιδιοτήτων, το ερώτημα που κυρίως απασχολεί είναι το εάν υπάρχει κάτι πέραν των ιδιοτήτων, είτε αυτές τις εκλαμβάνουμε ως *πραγματώσεις* (instantiations) κάποιων *καθόλων* (universals) είτε ως *τρόπους* (tropes), δηλαδή ως *καθέκαστες ιδιότητες* (particular properties)²⁸², που να συμπεριλαμβάνεται στα μεταφυσικά συστατικά των αντικειμένων. Στο ερώτημα αυτό έχουν δοθεί θετικές και αρνητικές απαντήσεις, γύρω από τις οποίες διαμορφώθηκαν δύο μεταφυσικές θεωρίες περί αντικειμένων. Η πρώτη, γνωστή ως *θεωρία υποστρώματος* (substratum theory), υιοθετεί και επεξεργάζεται τις θετικές απαντήσεις στο παραπάνω ερώτημα, δέχεται δηλαδή ότι μεταξύ των συστατικών των αντικειμένων υπάρχει κάτι, το οποίο δεν είναι το ίδιο ιδιότητα, αλλά λειτουργεί ως ο φορέας των ιδιοτήτων. Η δεύτερη, γνωστή ως *θεωρία δέσμης* (bundle theory), υιοθετεί και επεξεργάζεται τις αρνητικές απαντήσεις, δέχεται δηλαδή ότι τα αντικείμενα δεν είναι τίποτα περισσότερο από ένα σύμπλεγμα ιδιοτήτων. Παρά τη σημαντική διαφορά τους οι δύο θεωρίες εδραιώνονται πάνω σε μια κοινή αντίληψη περί αντικειμένων. Συγκεκριμένα από κοινού δέχονται ότι ορισμένες *λεπτεπίλεπτες* (fine-grained) οντότητες πάνε μαζί για να κάνουν μια *χονδροειδή* (coarse-grained) οντότητα που είναι το αντικείμενο.²⁸³ Στη βάση αυτής της κοινής παραδοχής οι υποστηρικτές και των δύο θεωριών καλούνται να απαντήσουν σε μια σειρά κοινών ερωτημάτων και να αντιμετωπίσουν τις δυσκολίες που τα ερωτήματα αναδεικνύουν: *τι* προσδίδει εσωτερική ενότητα σε ένα αντικείμενο; *ποια* είναι η αναφορά ενός ονόματος που στις προτάσεις κατηγορήσης επέχει τη θέση του υποκειμένου; *πώς* η αλλαγή της σύστασης ενός συμπλέγματος οντοτήτων νοείται ως αλλαγή ενός και του αυτού αντικειμένου; Απέναντι στα ερωτήματα αυτά οι θεωρίες υποστρώματος και δέσμης αντιμετωπίζουν εκατέρωθεν δυσκολίες και κατά την αντιπαράθεση των υποστηρικτών τους η κάθε πλευρά μετράει «νίκες» και «ήττες», χωρίς η ζυγαριά να γέρνει υπέρ κάποιας εκ των δύο. Ωστόσο αναφορικά με το πρόβλημα της ατομικότητας οι δύο θεωρίες δεν φαίνεται να διαθέτουν μια ικανοποιητική λύση. Πέραν του ότι κάθε προτεινόμενη αρχή ατομικότητας έρχεται αντιμέτωπη με μια σειρά από ενστάσεις, οι οποίες κυρίως συνδέονται με την ιδέα της συμπλεγματικής μορφής των αντικειμένων, που πρεσβεύουν οι θεωρίες δέσμης και υποστρώματος, αποδεικνύεται ότι στο πλαίσιο αυτών των θεωριών η εξήγηση της διττής συμπεριφοράς των κβαντικών σωματιδίων γίνεται αδύνατη.

²⁸² Η *θεωρία τρόπων* είναι μια νομιναλιστική κατά βάση θεωρία περί αντικειμένων οι υποστηρικτές της οποίας, αν και δέχονται όπως και οι ρεαλιστές την ύπαρξη των ιδιοτήτων, αρνούνται ότι αυτές είναι επαναλαμβανόμενες πραγματώσεις άλλων οντοτήτων. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία η ομοιότητα μεταξύ των πραγμάτων ανάγεται στην ομοιότητα των ιδιοτήτων τους οι οποίες πλέον εκλαμβάνονται ως καθέκαστα. Ο όρος «τρόπος» είναι αυτός που συνήθως επιλέγεται για την αναφορά στις καθέκαστες ιδιότητες και οφείλεται στον Williams έναν από τους υποστηρικτές της εν λόγω θεωρίας. [Williams, D.C. (1953)]

²⁸³ Loux, M., -Crisp, T., (2017), p84

7.3.1 Θεωρία υποστρώματος εναντίον θεωρίας δέσμης

Η κεντρική ιδέα της θεωρίας υποστρώματος λέει ότι τα αντικείμενα για να είναι από μεταφυσική σκοπιά άρτια συμπλέγματα οντοτήτων θα πρέπει να συγκροτούνται από δύο διαφορετικά είδη οντοτήτων: τις διάφορες ιδιότητές τους και *κάτι* που λειτουργεί ως φορέας των ιδιοτήτων. Για τους υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος η διάκριση μεταξύ των ιδιοτήτων και του φορέα τους είναι θεμελιώδης και εδράζεται σε μια πιο γενική θεώρηση που θέλει οι ιδιότητες να εκδηλώνονται πάντα ως ιδιότητες κάποιας άλλης οντότητας, την οποία κάθε μεταφυσική θεωρία οφείλει να προσδιορίζει. Οι προτάσεις κατηγορήσης είναι ενδεικτικές της εν λόγω διάκρισης. Από τη στιγμή που δεχόμαστε ότι οι προτάσεις κατηγορήσης περιγράφουν καταστάσεις που συμβαίνουν στον κόσμο, είναι εύλογο να θεωρούμε ότι η γλωσσική διάκριση υποκείμενο/κατηγορημα στις εν λόγω προτάσεις θα συλλαμβάνει μια γνήσια οντολογική διάκριση. Τούτου δεδομένου όταν λέμε «το α είναι P », η ιδιότητα, στην οποία αναφέρεται το κατηγορημα P , δεν μπορεί να υπάρχει παρά μόνο ως ιδιότητα κάποιας άλλης οντότητας, στην οποία αναφερόμαστε με το όνομα α και ανήκει σε διαφορετική οντολογική κατηγορία. Για παράδειγμα η πρόταση «το μήλο πάνω στο τραπέζι είναι κόκκινο» και η πρόταση «το τριαντάφυλλο στο βάζο είναι κόκκινο» δεν μας λένε ότι πάνω στο τραπέζι ή μέσα στο βάζο υπάρχει γενικά *το κόκκινο*· μας λένε ότι υπάρχει *κάτι* - «το μήλο πάνω στο τραπέζι» ή «το τριαντάφυλλο στο βάζο» - *που είναι κόκκινο*. Συνεπώς, αν η διάκριση μεταξύ υποκειμένου και κατηγορήματος στις προτάσεις κατηγορήσης αντιστοιχεί σε μια γνήσια οντολογική διάκριση, οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος λένε ότι ένα αντικείμενο δεν μπορεί να είναι αποκλειστικά και μόνο οι ιδιότητές του, χρειαζόμαστε κάτι πέρα από αυτές.

Υπάρχει ωστόσο ένα σοβαρό πρόβλημα που θέτει σε δοκιμασία την ίδια την έννοια του αντικειμένου ως φορέα ιδιοτήτων! Η διάκριση μεταξύ των ιδιοτήτων και του φορέα τους όταν συνδυάζεται με την ιδέα που θέλει τα αντικείμενα να είναι συμπλέγματα απλούστερων οντοτήτων οδηγεί στο συμπέρασμα που λέει ότι φορέας των ιδιοτήτων δεν είναι το αντικείμενο αλλά εκείνο το συστατικό του που δεν είναι ιδιότητα. Συμπεραίνουμε με άλλα λόγια ότι η έκφραση «το μήλο πάνω στο τραπέζι» που στην πρόταση «το μήλο πάνω στο τραπέζι είναι κόκκινο» επέχει θέση υποκειμένου δεν μπορεί να αναφέρεται στο αντικείμενο που βρίσκεται πάνω στο τραπέζι και είναι κόκκινο. Τούτο διότι σύμφωνα με τη θεωρία υποστρώματος το συγκεκριμένο αντικείμενο συγκροτείται *και* από ιδιότητες και δεν μπορεί η ιδιότητα του να είναι κόκκινο να φέρεται από μια συμπλεγματική ολότητα που περιλαμβάνει κι άλλες ιδιότητες. Εντούτοις απέναντι σε αυτή τη δυσκολία θα μπορούσε κάποιος να ισχυρισθεί ότι η συνήθης ερμηνεία των προτάσεων «το α είναι P » που θέλει το α να αναφέρεται σε ένα αντικείμενο, εδράζεται σε κάποιες προ-φιλοσοφικές διαισθήσεις που όμως η φιλοσοφική ανάλυση οφείλει να

«διορθώσει» ώστε να είναι και μεταφυσικά άρτιες. Για τους υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος μεταφυσική αρτιότητα σημαίνει ότι η οντότητα που κυριολεκτικά φέρει τις ιδιότητες δεν μπορεί να είναι το αντικείμενο ως όλο· χρειαζόμαστε ένα επιπλέον μεταφυσικό συστατικό, το οποίο θα αναλάβει αυτό τον ρόλο. Για μεν τους ρεαλιστές είναι η οντότητα που *πραγματώνει* (instantiates) τις ιδιότητες (ως καθόλου όντα)²⁸⁴, για δε τους νομιναλιστές είναι αυτή που *κατέχει* (possesses) τις ιδιότητες (ως καθέκαστα ή τρόπους)²⁸⁵. Το επιπλέον αυτό συστατικό ανήκει στην κατηγορία των *καθέκαστων* (particulars) και το κύριο γνώρισμά του είναι ο *μη ποιοτικός* του χαρακτήρας. Συγκεκριμένα η ταυτότητά του *δεν εξαρτάται* ούτε από τις ιδιότητες που το αντικείμενο φέρει κάποια χρονική στιγμή, ούτε από τις ιδιότητες που έφερε στο παρελθόν, ούτε από αυτές που θα μπορούσε να φέρει στο μέλλον.²⁸⁶ Ούτε όμως και κάποια άλλη ιδιότητα θα μπορούσε να σχετίζεται με την οντότητα, που θα θέλαμε να αναλάβει τον ρόλο του φορέα ιδιοτήτων, διότι αν σχετιζόταν, τότε θα βρισκόμασταν μπροστά σε ένα φαύλο κύκλο²⁸⁷, τον οποίο αποφεύγουμε, μόνο αν δεχθούμε ότι καμία ιδιότητα δεν εμπλέκεται στον προσδιορισμό της ταυτότητας ενός φορέα ιδιοτήτων, ή ότι δεν υπάρχει ιδιότητα που να ανήκει στη φύση του φορέα των ιδιοτήτων, ότι καμία ιδιότητα δεν τον χαρακτηρίζει ουσιαστικά.²⁸⁸ Το γεγονός αυτό βέβαια έχει ως αποτέλεσμα ο φορέας ιδιοτήτων να είναι μια εμπειρικά απροσπέλαστη οντότητα, ένα *άγνωστο κάτι* όπως αναφέρει ο John Locke²⁸⁹, αυτό που απομένει όταν αφαιρέσουμε από ένα αντικείμενο όλες τις ιδιότητές του. Λόγω του μη ποιοτικού της χαρακτήρα η αναφορά στην εν λόγω οντότητα γίνεται συχνά με τον όρο *γυμνό καθέκαστο* (bare particular).²⁹⁰ Συχνά επίσης χρησιμοποιείται και ο όρος *υπόστρωμα* (substratum), ο οποίος

²⁸⁴ Allaire, B., E., (1963)

²⁸⁵ Martin, B., C., (1980)

²⁸⁶ Αν φ είναι ο φορέας των ιδιοτήτων ενός αντικειμένου και P μια ιδιότητα που το αντικείμενο θα μπορούσε να έχει, τότε το φ θα πρέπει να είναι «οντολογικά έτοιμο» να φέρει την ιδιότητα P όμως αυτό προϋποθέτει την ανεξαρτησία του από την ιδιότητα P . [Loux, J., M., - Crisp, M., T., (2017), p86]

²⁸⁷ Η ταυτότητα του φορέα ιδιοτήτων θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη όχι μόνο από τις ιδιότητες που φέρει, αλλά και από κάθε άλλη ιδιότητα είτε αυτή είναι εν δυνάμει ιδιότητα του αντικειμένου είτε όχι. Αν η ταυτότητα του φορέα, έστω φ , εξαρτάται από μια ιδιότητα, έστω P , τότε η σχέση της ιδιότητας P με τον φορέα φ θα έπρεπε να είναι όμοια με τη σχέση που έχει το αντικείμενο με τις ιδιότητές του, να είναι δηλαδή η ιδιότητα P συστατικό του φορέα φ . Αυτό όμως απαιτεί την ύπαρξη ενός άλλου φορέα, έστω φ' , ο οποίος θα φέρει την ιδιότητα P με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε μια επ' άπειρον αναδρομή την οποία θα αποφύγουμε μόνο αν δεχθούμε ότι καμία ιδιότητα δεν εμπλέκεται στον προσδιορισμό της ταυτότητας του φορέα φ . [Loux, M., - Crisp, T., (2017), p86]

²⁸⁸ Bergmann, G., (1967), p26

²⁸⁹ Locke, J., (1690/1975), ch xxiii, p295

²⁹⁰ Η ιδέα ότι στη φύση υπάρχουν οντότητες οι οποίες συμβάλλουν στη συγκρότησή της πραγματικότητας με ένα συγκεκριμένο τρόπο χωρίς αυτές οι ίδιες να διαθέτουν κάποιο ουσιαστικό χαρακτηριστικό κατηγορείται από έλλειψη συνοχής. Τα γυμνά καθέκαστα εισάγονται στην οντολογία με σκοπό να αναλάβουν τον ρόλο του φορέα ιδιοτήτων του κάθε αντικειμένου και γι αυτό δεν μπορούν παρά να είναι «συστατικά των αντικειμένων», να είναι «γυμνά» και να είναι «φορείς ιδιοτήτων». Συνεπώς τα γυμνά καθέκαστα διαθέτουν τρία τουλάχιστον κατηγορικά χαρακτηριστικά τα οποία ως κατηγορικά θα είναι και ουσιαστικά: κάθε γυμνό καθέκαστο δεν μπορεί παρά να υπάρχει ως συστατικό ενός αντικειμένου, να είναι γυμνό και να είναι φορέας ιδιοτήτων. [Loux, J., M., (1978), p147]. Εντούτοις τα εν λόγω χαρακτηριστικά δεν συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των αισθητών ποιοτήτων και άρα δεν εμπίπτουν στο πεδίο της εμπειρικής γνώσης. Ο Locke αναφέρεται στα γυμνά καθέκαστα (ο ίδιος τα ονομάζει *υποστρώματα* (substrata)) λέγοντας ότι συμπεραίνουμε την ύπαρξή τους, διότι συμβαίνει ένα πλήθος απλών ιδεών

υποδηλώνει τη λειτουργία της ως φορέα ιδιοτήτων, όρος που χρησιμοποιείται στον τίτλο της αντίστοιχης θεωρίας. Και παρά τα πυρά που δέχεται η θεωρία υποστρώματος από εμπειριστές κυρίως φιλοσόφους, οι υποστηρικτές της επιμένουν στην ύπαρξη του γυμνού καθέκαστου ως αναγκαία για τη συγκρότηση του αντικειμένου, διότι πέραν των άλλων θεωρούν ότι λόγω της ικανότητάς του να φέρει ιδιότητες, χωρίς αυτό το ίδιο να είναι ιδιότητα, η ύπαρξή του εγγυάται την εσωτερική ενότητα του αντικειμένου: οι ιδιότητες που φέρει ένα και το αυτό γυμνό καθέκαστο γίνονται την ίδια στιγμή ιδιότητες ενός και του αυτού αντικειμένου.

Όμως η προσθήκη μιας οντότητας όπως το γυμνό καθέκαστο (ή υπόστρωμα) στη βασική οντολογία δεν μπορεί να γίνει για λόγους αρχής αποδεκτή από τους εμπειριστές φιλοσόφους. Από τη σκοπιά του εμπειρισμού οι θεμελιώδεις οντότητες κάθε μεταφυσικής θεωρίας θα πρέπει να περιορίζονται σε αυτές που είναι εμπειρικά προσπελάσιμες και τα γυμνά καθέκαστα εξ ορισμού δεν ικανοποιούν αυτόν τον περιορισμό. Για τους εμπειριστές τα γυμνά καθέκαστα δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια μεταφυσική χίμαιρα, μια αυθαίρετη προσθήκη. Και παρά τις προσπάθειες που έγιναν ώστε ναδειχθεί ότι η υπόθεση του γυμνού καθέκαστου δεν συγκρούεται με το δόγμα του εμπειρισμού²⁹¹, οι επικριτές της επιμένουν ότι δεν υπάρχει εμπειρικά αποδεκτός τρόπος να εξετάσουμε ένα αντικείμενο και να ανακαλύψουμε μεταξύ των συστατικών του αυτό που θεωρείται φορέας των ιδιοτήτων²⁹². Ωστόσο οι εμπειριστές δεν αντιστρατεύονται απαραίτητα τη συμπλεγματική μορφή των αντικειμένων. Κάποιοι εξ αυτών θεωρούν ότι τα αντικείμενα συγκροτούνται από άλλες απλές οντότητες, ισχυρίζονται όμως ότι οι οντότητες, οι οποίες μπορούν να είναι συστατικά των αντικειμένων, είναι αυτές των οποίων την ύπαρξη γνωρίζουμε μέσω της εμπειρίας. Όμως οι μόνες οντότητες που μπορούμε να γνωρίσουμε εμπειρικά δεν είναι παρά οι συνήθεις ιδιότητες των αντικειμένων και άρα ένα αντικείμενο δεν είναι τίποτα παραπάνω από μια *δέσμη* (bundle) ιδιοτήτων και αυτή η άποψη βρίσκεται στον πυρήνα της *θεωρίας δέσμης* (bundle theory).²⁹³

Θα ήταν ωστόσο μια εντελώς ακατέργαστη εκδοχή της εν λόγω θεωρίας ένα αντικείμενο να θεωρείται ως ένα *σύνολο* ιδιοτήτων. Η σχέση του *ανήκειν* (belonging), που τα μέλη ενός

τις οποίες αποκτούμε μέσω των αισθήσεων, να πηγαινούν σταθερά μαζί και μη μπορώντας να εξηγήσουμε πώς αυτές οι απλές ιδέες μπορούν να υπάρχουν από μόνες τους, υποθέτουμε την ύπαρξη ενός υποστρώματος. Συνεπώς η ιδέα του υποστρώματος δεν αποκτάται μέσω της εμπειρίας και υπό την έννοια αυτή λέει ο Locke ότι *είναι κάτι* που στηρίζει ιδιότητες όμως δεν ξέρουμε τι!

²⁹¹ Ο Edwin Allaire απαντά στην κριτική των εμπειριστών λέγοντας ότι υπάρχουν δύο διακριτές χρήσεις του «γνωρίζω». Γνωρίζω κάτι μπορεί να σημαίνει ότι το αναγνωρίζω, μπορεί όμως να σημαίνει ότι είμαι εξοικειωμένος (acquainted with) μ' αυτό. Υπό το φως αυτής της διάκρισης ο Allaire θα πει ότι τα γυμνά καθέκαστα (ο ίδιος αναφέρεται σε αυτά με τον όρο *individuals*) είναι άγνωστα σύμφωνα με την πρώτη σημασία του «γνωρίζω», όχι όμως και σύμφωνα με τη δεύτερη. Ειδικότερα ένα γυμνό καθέκαστο δεν είναι αναγνωρίσιμο υπό την έννοια ότι η επαναταυτοποίησή του είναι αδύνατη, είμαστε όμως εξοικειωμένοι με την ύπαρξή του εφόσον μέσω αυτής αντιλαμβανόμαστε την παρουσία δύο αριθμητικά διαφορετικών αντικειμένων τα οποία είναι όμοια από κάθε άποψη. [Allaire, B., E., (1963), p6]

²⁹² Loux, M., (1978a) p145

²⁹³ Hume, Berkley, later Russell, Williams (1953), Ayer (1954), Hochberg (1964)

σύνολου έχουν με το σύνολο, ούτε είναι, ούτε και μοιάζει με τη σχέση, που οι ιδιότητες έχουν με το αντικείμενο στο οποίο αποδίδονται. Ακόμα κι αν υπήρχε τρόπος να συμπεριλάβουμε σε ένα σύνολο όλες τις ιδιότητες που φέρει «το μήλο πάνω στο τραπέζι», θα ήταν κατηγορικό λάθος η πρόταση «το μήλο πάνω στο τραπέζι είναι κόκκινο» να μεταφρασθεί με την πρόταση «το σύνολο {κόκκινο, στρογγυλό, γλυκό, ...} είναι κόκκινο».²⁹⁴ Ανάλογα ένα αντικείμενο δεν μπορεί να θεωρείται ως ένα *όλο* που τα μέρη του είναι ιδιότητες. Τα μέρη ενός αντικειμένου μπορούν αυτά τα ίδια να θεωρούνται αντικείμενα, εφόσον η ύπαρξή τους δεν εξαρτάται από την ύπαρξη του όλου. Τα κουκούτσια ενός μήλου είναι αυτά τα ίδια αντικείμενα όμως κάθε συγκεκριμένη ιδιότητα για να υπάρχει πρέπει να είναι ιδιότητα κάποιου αντικειμένου.²⁹⁵

Γενικά και ανεξάρτητα από επιμέρους θεωρίες περί αντικειμένων, δεχόμαστε ότι η σχέση που ένα αντικείμενο έχει με τις ιδιότητές του και που μας επιτρέπει να λέμε ότι «το *a* είναι *P*», δεν μπορεί να είναι ούτε λογική, ούτε χωρική, ούτε βέβαια σχέση φυσικής αλληλεπίδρασης. Είναι μια μεταφυσική σχέση, η οποία, στο πλαίσιο τόσο της θεωρίας υποστρώματος όσο και της θεωρίας δέσμης, διαμορφώνεται μεταξύ των συστατικών τους, ώστε αυτά να γίνονται συστατικά ενός και του αυτού αντικειμένου. Είναι με άλλα λόγια, η σχέση χάριν της οποίας τα αντικείμενα εμφανίζονται ως ενιαίες οντότητες που φέρουν ιδιότητες. Για τους υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος η σχέση αυτή διαμορφώνεται μεταξύ των ιδιοτήτων και του γυμνού καθέκαστου που είναι ο φορέας τους, είναι δηλαδή σχέση μεταξύ οντοτήτων που ανήκουν σε διαφορετικές οντολογικές κατηγορίες. Όμως για τους υποστηρικτές της θεωρίας δέσμης τα μόνα συστατικά των αντικειμένων είναι οι ιδιότητές τους και γι αυτό η σχέση που προσδίδει εσωτερική ενότητα στα αντικείμενα διαμορφώνεται μεταξύ των ιδιοτήτων του, δηλαδή οντοτήτων που ανήκουν στην ίδια οντολογική κατηγορία. Πρόκειται για μια ειδική μεταφυσική σχέση που άτυπα περιγράφεται ως η σχέση του «να συμβαίνουν μαζί», ή του «να είναι μαζί παρούσες» ή του «να είναι μαζί τοποθετημένες» κ.λ.π. και στην οποία αναφερόμαστε με μια σειρά από όρους όπως: *συμπαρουσία* (compresence), *συνπραγμάτωση* (coinstantiation), *συνεγκατάσταση* (collocation), *συνδυασμός* (combination). Όπως όμως και να αποκαλούμε την εν λόγω σχέση οι υποστηρικτές της θεωρίας δέσμης την εκλαμβάνουν από κοινού ως μια *μη αναλύσιμη* (unanalysable), *πρωταρχική* (primitive) σχέση, δηλαδή μια σχέση που δεν ανάγεται σε κάτι μεταφυσικά απλούστερο.²⁹⁶ Εισάγεται με σκοπό να εξηγήσει την εσωτερική ενότητα των αντικειμένων και στον ρόλο αυτό η σχέση, ας πούμε της συμπαρουσίας, υποκαθιστά το γυμνό καθέκαστο της θεωρίας υποστρώματος: είναι μια σχέση, η οποία συνδέει ένα σύνολο αισθητών ποιοτήτων και τις καθιστά ποιότητες ενός αντικειμένου, χωρίς φυσικά η ίδια να είναι μια ποιοτική σχέση.

²⁹⁴ van Cleve, J., (1985), pp 95-6

²⁹⁵ Martin, B., C., (1980), pp 7-8

²⁹⁶ Loux, M., - Crisp, T., (2017), p88

Πέραν των προβλημάτων που έχει έτσι κι αλλιώς να αντιμετωπίσει η σχέση της συμπαρουσίας²⁹⁷, διαπιστώνουμε ότι οι υποστηρικτές της θεωρίας δέσμης αναγκάζονται να ακολουθήσουν την πρακτική για την οποία μέμφονται τους αντιπάλους τους: εισάγουν μια οντότητα εμπειρικά απροσπέλαστη, της οποίας την ύπαρξη στηρίζουν στην εξηγητική της και μόνο ισχύ. Πέραν τούτου όμως οι υποστηρικτές της θεωρίας δέσμης έχουν να αντιμετωπίσουν και μια σειρά άλλων ενστάσεων, οι οποίες συνδέονται με την ερμηνεία των προτάσεων κατηγορήσης. Από τη στιγμή που δεχόμαστε ότι η γλωσσική διάκριση υποκείμενο/κατηγορήμα στις εν λόγω προτάσεις εκφράζει μια γνήσια οντολογική διάκριση οι υποστηρικτές της θεωρίας δέσμης οφείλουν να την προσδιορίσουν. Οφείλουν δηλαδή να πουν *πού* αναφέρεται το όνομα *α* που επέχει τη θέση του υποκειμένου στην πρόταση «το *α* είναι *P*». Μια πιθανή απάντηση θα ήταν ότι στις εν λόγω προτάσεις υποκείμενο είναι η ίδια η δέσμη των ιδιοτήτων και ότι η πρόταση «το μήλο πάνω στο τραπέζι είναι κόκκινο» είναι δηλωτική του γεγονότος ότι η ιδιότητα «κόκκινο» είναι ένα από τα συστατικά της δέσμης, στην οποία αναφερόμαστε με τη φράση «το μήλο πάνω στο τραπέζι». Κάνοντας χρήση του λεξιλογίου των θεωρητικών της δέσμης, θα λέγαμε ότι αν μεταξύ της ιδιότητας «κόκκινο» και των λοιπών ιδιοτήτων της δέσμης που είναι «το μήλο πάνω στο τραπέζι» διαμορφώνεται η σχέση της συμπαρουσίας, τότε η πρόταση «το μήλο πάνω στο τραπέζι είναι κόκκινο» θα είναι αληθής. Η απάντηση αυτή βέβαια σημαίνει ότι σε τελική ανάλυση στις προτάσεις κατηγορήσης τόσο το υποκείμενο όσο και το κατηγορήμα αφορούν ιδιότητες, οι οποίες μπορούν να εναλλάσσονται σε αυτούς τους ρόλους: μια ιδιότητα μπορεί να συμπεριλαμβάνεται στην έννοια του υποκειμένου ή μπορεί να κατηγορείται στο υποκείμενο. Όμως για τους υποστηρικτές της θεωρίας δέσμης αυτή είναι μια αναπόφευκτη συνέπεια, εφόσον δεσμεύονται ότι τα μόνα συστατικά των αντικειμένων είναι ιδιότητες και ως εκ τούτου αν κάτι πρέπει να αναλάβει τον ρόλο του φορέα ιδιοτήτων αυτό υποχρεωτικά θα είναι μια δέσμη από ιδιότητες.

Παρόλα αυτά η ιδέα ότι οι ιδιότητες ενός αντικειμένου «φέρονται» από τη δέσμη των ιδιοτήτων που το συγκροτούν δεν είναι από μόνη της αποφασιστικής σημασίας ένσταση ενάντια στη θεωρία δέσμης. Στο κάτω-κάτω τίποτα, πέραν ίσως κάποιων προφίλοσοφικών διαισθήσεων, δεν μας δεσμεύει να θεωρούμε ότι η οντολογική ερμηνεία των προτάσεων κατηγορήσης δεν

²⁹⁷ Ένα από τα προβλήματα τα οποία ο Βασίλης Λιβάνιος εντοπίζει διερευνώντας τη συγκρότηση αντικειμένων από καθέκαστες ιδιότητες ή τρόπους [Λιβάνιος, Β. (2007), p122], αφορά το πλήθος των όρων και τη φύση της σχέσης συμπαρουσίας. Αν η σχέση της συμπαρουσίας μπορεί να διαμορφώνεται μόνο μεταξύ δυο τρόπων τότε η εσωτερική ενότητα του αντικειμένου θα απαιτούσε τη διαμόρφωση ενός πλήθους σχέσεων συμπαρουσίας οι οποίες θα έπρεπε να είναι επίσης συμπαρούσες με αποτέλεσμα το αίτημα της θεμελίωσης της εσωτερικής ενότητας των αντικειμένων να μετατοπίζεται απλώς σε ένα διαφορετικό επίπεδο. Ίσως μια διέξοδος θα ήταν να θεωρούμε ότι η σχέση της συμπαρουσίας δεν αφορά καθορισμένο πλήθος τρόπων και ότι μία και η αυτή σχέση μπορεί να συνδέει το σύνολο των τρόπων του εκάστοτε αντικειμένου. Ωστόσο μια τέτοια λύση δεν θα μπορούσε να γίνει αποδεκτή, διότι εξ ορισμού δεν μπορεί να στηρίζει τη διάκριση ουσιαστών και ενδεχομενικών ιδιοτήτων ώστε να ερμηνεύσει το γεγονός ότι σε κάθε μεταβολή ένα μέρος των ιδιοτήτων παραμένει μόνιμα σταθερό. Αν και η ανάλυση αφορά τη νομιναιστική εκδοχή της θεωρίας δέσμης, εύκολα διαπιστώνουμε ότι ισχύει και για τη ρεαλιστική εκδοχή της.

μπορεί παρά να εμπλέκει οντότητες που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες.²⁹⁸ Το πρόβλημα είναι ότι η εν λόγω ιδέα έχει παραπέρα συνέπειες, μεταφυσικές και επιστημικές, οι οποίες δεν συνάδουν με ορισμένες άλλες ιδέες, θεμελιώδεις για την έννοια του αντικειμένου. Από τη σκοπιά της μεταφυσικής είναι κοινός τόπος ότι τα αντικείμενα είναι οντότητες που αλλάζουν με το χρόνο υπό την έννοια ότι οι ιδιότητες που έχουν κάποια χρονική στιγμή δεν είναι απαραίτητα ίδιες με τις ιδιότητές τους κάθε χρονική στιγμή. Η θεωρία δέσμης όμως αξιώνει η ταυτότητα κάθε αντικειμένου να καθορίζεται, αν και όχι πλήρως, από την ταυτότητα της κάθε ιδιότητάς του, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι κάθε φορά που μια ιδιότητα είτε γίνεται, είτε παύει να είναι ιδιότητα μιας δέσμης, δημιουργείται μια νέα δέσμη και ως εκ τούτου δεν μπορεί η προσθήκη ή η αφαίρεση μιας ιδιότητας από μια δέσμη να νοείται ως αλλαγή ενός και του αυτού αντικειμένου. Σημαίνει όμως και κάτι ακόμα! Τα συστατικά μιας δέσμης είναι για το αντικείμενο ουσιώδεις ιδιότητες υπό την έννοια ότι ναι μεν είναι αληθές ότι αυτό το ίδιο αντικείμενο μπορεί και να μην είχε υπάρξει, αν οι ιδιότητες που το συγκροτούν δεν είχαν υπάρξει ποτέ συμπαρούσες, δεν είναι όμως αληθές ότι ένα αντικείμενο θα μπορούσε να υπάρξει με ιδιότητες άλλες από αυτές που πράγματι έχει. Ο Καίσαρας θα μπορούσε να μην είχε υπάρξει από τη στιγμή όμως που υπήρξε δεν μπορεί παρά να είχε διαβεί τον Ρουβίκωνα.²⁹⁹ Από επιστημική σκοπιά η αξίωση η ταυτότητα ενός αντικειμένου να καθορίζεται από την ταυτότητα των ιδιοτήτων του απογυμνώνει τις προτάσεις κατηγορήσεως από το πληροφοριακό τους περιεχόμενο. Πράγματι, αν στις προτάσεις του τύπου «το a είναι P », όπου η αναφορά του ονόματος a είναι μια δέσμη ιδιοτήτων και η αναφορά του κατηγορήματος P είναι μια από τις ιδιότητες της ίδιας δέσμης, τότε κάθε ιδιότητα που αποδίδεται στο αντικείμενο γίνεται εν μέρει φορέας του εαυτού της με αποτέλεσμα οι αληθείς προτάσεις κατηγορήσεως να εκφυλίζονται σε ταυτολογίες.³⁰⁰

Από τη μεριά τους οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος ισχυρίζονται ότι χάριν της ιδέας του γυμνού καθέκαστου δεν αντιμετωπίζουν τις ίδιες δυσκολίες. Η θεωρία υποστρώματος φαίνεται καταρχήν να συνάδει με την ιδέα που θέλει τα αντικείμενα να διατηρούν την ταυτότητά τους μέσω αλλαγών, διότι ανεξάρτητα από το πλήθος και την ένταση των αλλαγών που υφίσταται ένα αντικείμενο, μπορούμε να μιλάμε για το ίδιο αντικείμενο, εφόσον όλες οι αλλαγές

²⁹⁸ Για παράδειγμα μια εκδοχή της θεωρίας δέσμης που συζητάει ο James van Cleve καθοδηγείται από το δόγμα του *φαινομεναλισμού* (phenomenalism). Οι υποστηρικτές του εν λόγω δόγματος στην πιο σύγχρονη εκδοχή του θεωρούν ότι τα υλικά αντικείμενα είναι λογικές κατασκευές αισθητηριακών δεδομένων και δεν συγκροτούνται από αυτά. Συγκεκριμένα η ύπαρξη υλικών αντικειμένων οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν αισθητηριακά δεδομένα (ως τα έσχατα δομικά συστατικά του κόσμου) τα οποία συμβαίνουν σύμφωνα με ένα μοντέλο καθοριστικό για την ύπαρξη των υλικών αντικειμένων. Σύμφωνα με αυτή την εκδοχή η περιγραφή «το μίλο πάνω στο τραπέζι» δεν αναφέρεται σε κάτι, ούτε καν σε ένα σύμπλεγμα ιδιοτήτων και από οντολογική σκοπιά θα ήταν προτιμότερο η πρόταση «το μίλο πάνω στο τραπέζι είναι κόκκινο και γλυκό» η οποία παραπλανητικά υπονοεί την ύπαρξη ενός *κάτι* που φέρει τις ιδιότητες «κόκκινο» και «γλυκό», να μεταφρασθεί στην πρόταση «η κοκκινότητα και η γλυκύτητα είναι συμπαρούσες πάνω στο τραπέζι». [van Cleve, J., (1985), pp102-4]

²⁹⁹ van Cleve, J., (1985), p99, Loux, M., - Crisp, T., (2017) p94

³⁰⁰ Loux, M., p116-7

είναι αλλαγές ιδιοτήτων, οι οποίες εμφυτεύονται στο ίδιο γυμνό καθέκαστο. Το μήλο που *τώρα* βρίσκεται πάνω στο τραπέζι και είναι *κόκκινο*, κρέμονταν *πριν* από το κλαδί ενός δένδρου και ήταν *πράσινο*. Όμως οι διαφορετικές θέσεις στο χώρο και το διαφορετικό χρώμα φέρονται από το ίδιο γυμνό καθέκαστο, το οποίο δεν χαρακτηρίζεται ούτε από τη θέση του στο χώρο, ούτε από το χρώμα του, ούτε από οποιαδήποτε άλλη ιδιότητα. Σύμφωνα λοιπόν με τη θεωρία υποστρώματος οι αλλαγές που υφίσταται ένα αντικείμενο νοούνται ως αλλαγές ιδιοτήτων, όχι όμως και του φορέα τους, ο οποίος και είναι το μοναδικό μόνιμο και αμετάβλητο συστατικό των αντικειμένων, αυτό χάριν του οποίου *κάθε* αλλαγή μπορεί να νοείται ως αλλαγή ενός και του αυτού αντικειμένου. Θα μπορούσε δηλαδή κάποιος να ισχυρισθεί ότι ακόμα κι αν όλες οι ιδιότητες που κάποια στιγμή εμφυτεύονται σε ένα γυμνό καθέκαστο αντικατασταθούν από άλλες θα έχουμε να κάνουμε με το ίδιο αντικείμενο. Βέβαια για να αληθεύει ένας τέτοιος ισχυρισμός θα πρέπει να δεχθούμε ότι καμία ιδιότητα δεν είναι αναγκαία για το αντικείμενο, είναι όλες ενδεχομενικές και ότι ένα και το αυτό αντικείμενο θα μπορούσε να υπάρξει με ιδιότητες άλλες από αυτές που πράγματι έχει.³⁰¹ Ωστόσο για τους υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων ο ενδεχομενικός χαρακτήρας των ιδιοτήτων μετράει ως ένα ακόμη πλεονέκτημα έναντι της θεωρίας δέσμης, εφόσον εγγυάται ότι οι προτάσεις κατηγορήσης έχουν πληροφοριακό περιεχόμενο, είναι προτάσεις που συμβάλλουν στη γνώση μας για τον κόσμο.

Μια πιο προσεκτική ανάλυση όμως δείχνει ότι στην πραγματικότητα η ιδέα του γυμνού καθέκαστου ούτε λύνει το πρόβλημα της διαχρονικής ταυτότητας του αντικειμένου, ούτε εξασφαλίζει ότι οι προτάσεις κατηγορήσης έχουν πληροφοριακό περιεχόμενο. Οι δυσκολίες αυτές συνδέονται με τον συμπλεγματικό χαρακτήρα των αντικειμένων και είτε αφορούν εξίσου και τις δύο θεωρίες, είτε καμία από αυτές. Σύμφωνα με τον Loux η αδυναμία της θεωρίας δέσμης να δώσει μια ικανοποιητική εξήγηση της ταυτότητας των αντικειμένων μέσω αλλαγής πηγάζει από μια αδικαιολόγητα ισχυρή ερμηνεία της σχέσης μεταξύ ενός όλου και των συστατικών του, η οποία λέει ότι η ταυτότητα ενός όλου καθορίζεται από την ταυτότητα των συστατικών του. Μια τέτοια ερμηνεία όμως όταν υιοθετείται, έχει ως συνέπεια η ταυτότητα μέσω αλλαγής να είναι αδύνατη και για τις δύο θεωρίες. Αλλαγή και στις δύο περιπτώσεις σημαίνει την αλλαγή της σύστασης του όλου, μετά την οποία δεν μπορούμε πλέον να μιλάμε για το ίδιο αντικείμενο.³⁰² Ο Loux αντιδρά επίσης και στο συμπέρασμα που λέει ότι οι προτάσεις κατηγορήσης στο πλαίσιο της θεωρίας δέσμης δεν έχουν πληροφοριακό περιεχόμενο. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει όταν δεχόμαστε ότι η αναφορική δύναμη των ονομάτων είναι

³⁰¹ Εδώ, λένε οι Loux και Crisp, ίσως να βρίσκεται η κεντρική διαφορά μεταξύ των θεωριών υποστρώματος και δέσμης. Ενώ από τη μια μεριά η θεωρία δέσμης πρέπει να ερμηνεύει όλες τις αληθείς περιγραφές ως αναγκαία αληθείς, η θεωρία υποστρώματος από την άλλη επιμένει ότι καμία αληθής περιγραφή δεν είναι αναγκαία, όλες είναι ενδεχομενικές [Loux, M., - Crisp, T., (2017) p94]

³⁰² Loux, M., (1978a), pp124-30

τέτοια ώστε να απαιτεί από τους χρήστες τους να γνωρίζουν εκ των προτέρων όλες τις ιδιότητες που αποδίδονται στην αναφορά τους, δηλαδή την ταυτότητα του κάθε συστατικού της. Αν όμως η χρήση ενός ονόματος προϋποθέτει την πλήρη γνώση των συστατικών της αναφοράς του, τότε γιατί οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος πιστεύουν ότι μπορούν να αποφύγουν το ίδιο συμπέρασμα; Μήπως επειδή στα συστατικά του κάθε αντικειμένου συμπεριλαμβάνεται ως φορέας ιδιοτήτων ένα γυμνό καθέκαστο; Και λοιπόν; Γιατί η αναφορική δύναμη του ονόματος να μην απαιτεί και στην περίπτωση αυτή την εκ των προτέρων γνώση του κάθε συστατικού της αναφοράς τους; Αν στο ερώτημα αυτό δεν δοθεί μια ικανοποιητική απάντηση, οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος οφείλουν να αποδεχθούν το ίδιο συμπέρασμα που χρεώνουν ως ελάττωμα στη θεωρία δέσμης, ότι δηλαδή κάθε πρόταση της μορφής «το a είναι P » είναι ταυτολογία.

7.3.2 Οι ιδιότητες σε ρόλο αρχής ατομικότητας

Δεδομένου ότι η θεωρία δέσμης και η θεωρία υποστρώματος περιγράφουν από κοινού τα αντικείμενα ως συμπλέγματα άλλων απλών οντοτήτων και εφόσον δεχόμαστε ότι η αρχή ατομικότητας είναι μια οντότητα που δεν μπορεί να βρίσκεται έξω από το αντικείμενο συμπεραίνουμε ότι αυτή θα πρέπει να ανήκει στα συστατικά του αντικειμένου. Έτσι το αντικείμενο a είναι *άτομο* (individual) όταν και μόνο όταν για κάθε άλλο αντικείμενο b υπάρχει ένα τουλάχιστον συστατικό, το οποίο να ανήκει στο a όχι όμως και στο b , όταν δηλαδή ισχύει: $\forall b(-b = a) \rightarrow \exists x(Cxa \wedge \neg Cxb)$ (7.1) όπου C σημαίνει «είναι συστατικό του». Συμβαίνει όμως στο πλαίσιο της θεωρίας δέσμης τα μόνα συστατικά των αντικειμένων να είναι οι ιδιότητές τους και ως εκ τούτου οι ιδιότητες είναι οι μόνες διαθέσιμες οντότητες για τον ρόλο της αρχής ατομικότητας. Αυτό σημαίνει ότι κάθε αντικείμενο που είναι άτομο φέρει τουλάχιστον μία ιδιότητα που το καθιστά κάθε χρονική στιγμή ένα ξεχωριστό αντικείμενο, διαφορετικό από κάθε άλλο ή με άλλα λόγια το αντικείμενο a είναι άτομο όταν για κάθε άλλο αντικείμενο b υπάρχει μια τουλάχιστον ιδιότητα P , η οποία να ανήκει στα συστατικά του a , όχι όμως και του b , όταν δηλαδή ισχύει: $\forall b(-b = a) \rightarrow \exists P(Pa \wedge \neg Pb)$ (7.1*). Αντίστροφα αν κάθε ιδιότητα του αντικειμένου a είναι και ιδιότητα του αντικειμένου b , αν δηλαδή τα a και b αποτελούνται από τα ίδια συστατικά, τότε δεν είναι δύο αλλά ένα και το αυτό αντικείμενο, ισχύει δηλαδή ότι $\forall P(Pa \leftrightarrow Pb) \rightarrow a = b$ (7.2).

Η πρόταση (7.2) εκφράζει την *Αρχή της Ταυτότητας των μη διακρίσιμων*-ΑΤμΔ και υπό την έννοια αυτή η ατομικότητα των αντικειμένων δείχνει ως μια μορφή καθολικής διακρισιμότητας – ένα αντικείμενο είναι άτομο όταν είναι διακρίσιμο από κάθε άλλο αντικείμενο. Δεν είναι όμως

ακριβώς έτσι ή καλύτερα δεν είναι έτσι άνευ ετέρου. Η διακρισιμότητα για να είναι υποψήφια αρχή ατομικότητας θα πρέπει οι προτάσεις $\exists P(Pa \wedge \neg Pb)$ και $\forall P(Pa \leftrightarrow Pb)$, που λένε η μεν πρώτη ότι υπάρχει ένα συστατικό του a που δεν ανήκει και στο b , η δε δεύτερη ότι τα a και b μοιράζονται τα ίδια συστατικά, να ερμηνεύονται ως διακρισιμότητα και μη διακρισιμότητα αντίστοιχα των a και b . Η ερμηνεία αυτή ωστόσο αρμόζει μόνο με τη ρεαλιστική εκδοχή της θεωρίας δέσμης, δηλαδή μόνο όταν η ιδιότητα/συστατικό P νοείται ως ένα καθόλου όν, μια επαναλαμβανόμενη οντότητα που μπορεί να είναι πλήρως παρούσα την ίδια στιγμή σε περισσότερα του ενός αντικείμενα. Στη νομιναλιστική της εκδοχή όμως η θεωρία δέσμης δεν υποστηρίζει μια τέτοια ερμηνεία. Αν οι ιδιότητες/συστατικά των αντικειμένων νοούνται ως καθέκαστα ή τρόποι, τότε κάθε ιδιότητα/συστατικό P δεν μπορεί παρά να είναι ιδιότητα/συστατικό ενός και μόνο αντικειμένου. Από νομιναλιστική σκοπιά η διακρισιμότητα ή η μη διακρισιμότητα δύο αντικειμένων δεν κρίνονται με βάση τη διαφορά ή την ταυτότητα των συστατικών τους, διότι δύο αντικείμενα, ανεξάρτητα από το εάν είναι ή δεν είναι διακρίσιμα, είναι αδύνατον να μοιράζονται τους ίδιους τρόπους. Έτσι για τους νομιναλιστές υποστηρικτές της θεωρίας δέσμης ενώ η πρόταση $\exists P(Pa \wedge \neg Pb)$ είναι αληθής χωρίς απαραίτητα τα a και b να είναι διακρίσιμα, η πρόταση $\forall P(Pa \leftrightarrow Pb)$ είναι ισοδύναμη της ταυτότητας των a και b και άρα η συνεπαγωγή (7.2) είναι τετριμμένα αληθής.³⁰³

Συνεπώς μόνο στο πλαίσιο της ρεαλιστικής εκδοχής της θεωρίας δέσμης η πρόταση (7.2) εκφράζει την ΑΤμΔ και στο πλαίσιο αυτό η εν λόγω αρχή πρέπει να είναι αναγκαία αληθής. Έτσι για τους ρεαλιστές υποστηρικτές της θεωρίας δέσμης δεν υπάρχει ούτε καν ως ενδεχόμενο να υπάρχουν δύο μη διακρίσιμα αντικείμενα, διότι αυτό σημαίνει ότι συγκροτούνται από τα ίδια ακριβώς συστατικά και ότι θα πρέπει να ταυτίζονται. Όμως η δέσμευση στην αλήθεια της ΑΤμΔ εγείρει σοβαρές αντιρρήσεις, διότι υπάρχουν ισχυρά αντιπαράδειγματα που τη διαψεύδουν. Η δυνατότητα να υπάρχουν δύο απόλυτα όμοιες σφαίρες σε ένα κενό κατά τα άλλα σύμπαν είναι ένα αντιπαράδειγμα, το οποίο δεν επιτρέπει στην πρόταση (7.2) να είναι αναγκαία αληθής και η singlet κατάσταση δύο ηλεκτρονίων είναι ένα δεύτερο αντιπαράδειγμα, το οποίο καθιστά την πρόταση (7.2) ψευδή στον ενεργειακό κόσμο.

Κατόπιν τούτων οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος, απευθυνόμενοι στους ρεαλιστές υποστηρικτές της θεωρίας δέσμης, συμπεραίνουν ότι οι ιδιότητες/συστατικά των αντικειμένων δεν μπορούν να είναι οι οντότητες που κάνουν το κάθε αντικείμενο ένα ξεχωριστό αντικείμενο αντίληψης, σκέψης και γλωσσικής αναφοράς. Τα αντικείμενα δεν εξατομικεύονται χάριν των ιδιοτήτων τους και οι ιδιότητες/συστατικά αποτυγχάνουν να λειτουργούν ως αρχή

³⁰³ Loux, M. (1998) p108, Λιβάνιος, Β., (2007) σελ.122

ατομικότητας.³⁰⁴ Είμαστε ως εκ τούτου υποχρεωμένοι να συμπεριλάβουμε στα συστατικά τους, πέρα των ιδιοτήτων/συστατικών και ένα επιπλέον συστατικό. Το συστατικό αυτό, για να ανταποκρίνεται στον ρόλο της αρχής ατομικότητας, δεν μπορεί να είναι μια επαναλαμβανόμενη οντότητα, ούτε και να συγκροτείται από επαναλαμβανόμενες οντότητες. Θα είναι συστατικό ενός και μόνο αντικειμένου, το οποίο φέρει τις ιδιότητές του, χωρίς αυτό το ίδιο να χαρακτηρίζεται από αυτές ή από άλλες ιδιότητες, θα είναι με άλλα λόγια ένα *καθέκαστο* και μάλιστα *γυμνό*.

Βέβαια το παραπάνω συμπέρασμα δεν αφορά τη νομιναλιστική εκδοχή της θεωρίας δέσμης. Οι υπερασπιστές αυτής της εκδοχής μπορούν να επιμείνουν στο ότι ένα αντικείμενο δεν είναι παρά μια δέσμη ιδιοτήτων, αν και καθέκαστων αυτή τη φορά, χωρίς να δεσμεύονται στην ΑΤμΔ, εφόσον σύμφωνα με τη νομιναλιστική τους θεώρηση δύο αντικείμενα μπορούν να είναι *μη διακρίσιμα* χωρίς να ταυτίζονται. Επιπλέον δεν χρειάζεται να καταφύγουν σε εμπειρικά απροσπέλαστες οντότητες για να εξηγήσουν την αριθμητική διαφορά μη διακρίσιμων αντικειμένων, διότι οι τρόποι από τους οποίους συγκροτείται ένα αντικείμενο δεν μπορούν παρά να είναι τρόποι ενός και μόνο αντικειμένου. Στη βιβλιογραφία η νομιναλιστική εκδοχή της θεωρίας δέσμης αναφέρεται ως *θεωρία τρόπων* (tropes theory) και ένας εκ των υποστηρικτών της, ο Keith Campbell, ισχυρίζεται ότι στο πλαίσιο αυτής της θεωρίας όχι μόνο δεν υπάρχει ανάγκη για επιπρόσθετες μη ποιοτικές οντότητες προκειμένου να παρακαμφθεί η ΑΤμΔ, αλλά το ίδιο το πρόβλημα της ατομικότητας «βρίσκει μια κομψή λύση». Σύμφωνα με την θεωρία τρόπων κάθε αντικείμενο συγκροτείται από τρόπους που ο καθένας ανήκει σε διαφορετικό είδος και είναι συμπαρόντες (compresent), ανήκουν δηλαδή στο ίδιο αντικείμενο. Εκλαμβανόμενοι ως όλο, το μέγιστο άθροισμα των συμπαρόντων τρόπων αποτελεί ένα πλήρως *συγκεκριμένο καθέκαστο* (concrete particular) που είναι κατ' ανάγκη ξεχωριστό από κάθε άλλο.³⁰⁵ Συνεπώς στη θεωρία τρόπων τον ρόλο της αρχής ατομικότητας τον αναλαμβάνουν οι τρόποι που μέσω της σχέσης της συμπαρουσίας συγκροτούν το κάθε αντικείμενο ως αυθύπαρκτη οντότητα, ως ξεχωριστή οντότητα αντίληψης, σκέψης και γλωσσικής αναφοράς.

Όσο κομψή όμως και να είναι η λύση του Campbell στο πρόβλημα της ατομικότητας, έχει να αντιμετωπίσει μια σοβαρή ένσταση που πηγάζει από μια βαθιά ριζωμένη παράδοση, σύμφωνα με την οποία οι ιδιότητες εν γένει, άρα και οι τρόποι ειδικότερα, είναι οντότητες, οι οποίες δεν χαίρουν ανεξάρτητης ύπαρξης· η ύπαρξή τους εξαρτάται από την ύπαρξη των αντικειμένων, των οποίων είναι τρόποι.³⁰⁶ Και παρόλο που η μορφή και ο βαθμός της εξάρτησης

³⁰⁴ Lowe, E., J. (2003) p80

³⁰⁵ Campbell, K., (1981), p483

³⁰⁶ Η εξάρτηση των ιδιοτήτων από τα αντικείμενα στα οποία ανήκουν ίσως να παρακάμπτεται στην περίπτωση που οι ιδιότητες εκλαμβάνονται ως καθόλου όντα. Μάλιστα για εκείνους του ρεαλιστές φιλοσόφους που υιοθετούν την πλατωνική θέση περί καθόλου όντων οι ιδιότητες χαίρουν ανεξάρτητης ύπαρξης στο δικό τους πλατωνικό σύμπαν

των τρόπων από τα αντικείμενά τους είναι όπως θα δούμε στη συνέχεια συζητήσιμη, οι τρόποι πάντα θα νοούνται ως τρόποι κάποιων αντικειμένων κι αν είναι να υπάρχει μια κάποιας μορφής «ευελιξία» των τρόπων αυτή δεν θα πρέπει να ερμηνεύεται ως δυνατότητα ύπαρξης ελεύθερων τρόπων.³⁰⁷ Όμως η οντολογική εξάρτηση των τρόπων από τα αντικείμενα στα οποία ανήκουν, τους καθιστά ακατάλληλους για τον ρόλο της αρχής ατομικότητας. Ως αρχή ατομικότητας οι τρόποι θα πρέπει εύλογα να έχουν μια ταυτότητα ανεξάρτητη της ταυτότητας του αντικειμένου που εξατομικεύουν. Πώς όμως είναι δυνατόν να συμβαίνει κάτι τέτοιο, όταν η ύπαρξη των τρόπων εξαρτάται από την ύπαρξη του αντικειμένου, του οποίου είναι τρόποι; Ισχυρές διαισθήσεις όχι μόνο αποκλείουν μια τέτοια δυνατότητα αλλά συνάδουν με την ιδέα που θέλει η ανεξάρτητη ταυτότητα κάθε οντότητας να προϋποθέτει την οντολογική ανεξαρτησία της. Κάνοντας ένα βήμα προς την κατεύθυνση αυτή ο Lowe *ορίζει* την *οντολογική εξάρτηση* (existential dependency) ως *εξάρτηση ταυτότητας* (identity dependency): «η ύπαρξη του x εξαρτάται από το $y =_{df}$ αναγκαία η ταυτότητα του x θα εξαρτάται από την ταυτότητα του y »³⁰⁸. Το επιχείρημά του υπέρ αυτής της ισχυρής συσχέτισης που προτείνει είναι εύλογο. Κατά τον Lowe η ταυτότητα είναι η σχέση που κάθε οντότητα έχει με τον εαυτό της και είναι αναλυτική αλήθεια: κάθε οντότητα αναγκαία ταυτίζεται με τον εαυτό της ($\forall x, x = x$). Υπό την έννοια αυτή λέμε ότι το x *υπάρχει*, όταν υπάρχει κάτι που *ταυτίζεται* με το x και ότι το x δεν μπορεί να υπάρχει, παρά μόνο αν υπάρχει κάτι, από το οποίο να εξαρτάται η ταυτότητα του x .³⁰⁹ Τούτων δεδομένων και εφόσον η ύπαρξη των τρόπων εξαρτάται από την ύπαρξη του αντικειμένου, του

πέραν του χώρου και του χρόνου. Όμως ακόμα κι αυτός που υιοθετεί την αριστοτελική θέση περί των καθόλου, σύμφωνα με την οποία δεν υπάρχουν ιδιότητες που να μην είναι ιδιότητες κάποιου αντικειμένου, θα μπορούσε να ισχυρισθεί την ανεξαρτησία των ιδιοτήτων υπό την έννοια ότι ακόμα κι αν ένα αντικείμενο πάψει να υπάρχει η κάθε ιδιότητά του θα εξακολουθεί να υπάρχει ως ιδιότητα κάποιου άλλου αντικειμένου. Εντούτοις η εξάρτηση των ιδιοτήτων από τα αντικείμενά τους δύσκολα αμφισβητείται στην περίπτωση που οι ιδιότητες εκλαμβάνονται ως τρόποι. Κάθε τρόπος είναι ιδιότητα ενός και μόνο αντικειμένου κι αν ένα αντικείμενο πάψει να υπάρχει τότε παύει να υπάρχει και κάθε τρόπος του αρκεί βέβαια να αποκλεισθεί ότι οι τρόποι μπορούν να μεταναστεύουν από ένα αντικείμενο σε ένα άλλο. [Lowe, J., (1998), p139]

³⁰⁷ Σύμφωνα με την αναθεωρημένη εκδοχή της θεωρίας του περί τρόπων ο Campbell υποστηρίζει ότι οι έκδηλοι τρόποι των συνηθισμένων αντικειμένων, όπως είναι για παράδειγμα το συγκεκριμένο κόκκινο μιας σφαίρας, είναι «καλά θεμελιωμένες εμφανίσεις» τις οποίες μπορούμε να απομονώσουμε στη σκέψη μας μέσω μιας αφαιρετικής διαδικασίας. Όμως οι τρόποι αυτοί δεν είναι *παρά οιονεί τρόποι* (quasi types) και αποτελούν κατά κάποιον τρόπο (ψευτο)τμήματα του χωρόχρονου ως ολότητα και των πεδίων που συνδέονται με τις θεμελιώδεις δυνάμεις της φύσης. Ο χωρόχρονος ως ολότητα και τα πεδία των θεμελιωδών δυνάμενων είναι οι μόνες οντότητες που μπορούμε να εκλαμβάνουμε ως *γνήσιους τρόπους* (genuine types). Με βάση τη διάκριση μεταξύ οιονεί και γνήσιων τρόπων, ο Campbell υποστηρίζει ότι μόνο οι γνήσιοι τρόποι θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως ελεύθεροι τρόποι ήτοι ως αυθύπαρκτες οντότητες. [Campbell, K. (1990)]. Ωστόσο η προσπάθεια του Campbell μέσα από την τροποποιημένη εκδοχή της θεωρίας του να αντιμετωπίσει τις δυσκολίες της αρχικής του προσέγγισης, δεν αποδίδει τους αναμενόμενους καρπούς. Σύμφωνα με τον Βασίλη Λιβάνιο ένας από τους προτεινόμενους γνήσιους τρόπους και συγκεκριμένα ο χωρόχρονος, δεν ικανοποιεί τα κριτήρια που ο ίδιος ο Campbell θέτει ώστε ένας τρόπος να θεωρείται γνήσιος. Αντίθετα με ό,τι θα ήθελε ο Campbell για ένα γνήσιο τρόπο, ο χωρόχρονος α) *δεν είναι ουσιαστικά απλή οντότητα* – ως ολότητα ο χωρόχρονος μπορεί εύλογα να θεωρηθεί ως μια δέσμη χωροχρονικών ιδιοτήτων, β) *δεν έχει καθαρά χωρικά και χρονικά όρια* – κάθε μοντέλο της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας υποστηρίζει ότι ο χωρόχρονος δεν έχει όρια και γ) *δεν είναι ουσιαστικά αμετάβλητη οντότητα* – το σύμπαν και μαζί του ο χωρόχρονος διαστέλλονται. [Λιβάνιος Β. (2006)]

³⁰⁸ Lowe, E., J., (1998), p147

³⁰⁹ Lowe, E., J., (1998), p150

οποίου είναι τρόποι, θα πρέπει να συμπεράνουμε ότι και η ταυτότητα των τρόπων εξαρτάται από την ταυτότητα του ίδιου αυτού αντικειμένου. Στην περίπτωση αυτή βέβαια δεν μπορούμε να πούμε ότι τα αντικείμενα εξατομικεύονται χάριν των τρόπων τους χωρίς να εμπλακούμε σε ένα φαύλο κύκλο. Η σχέση της εξατομίκευσης, λέει ο Lowe, δεν μπορεί να είναι μια συμμετρική σχέση αν και μπορεί να είναι αντισυμμετρική.³¹⁰ Αυτό σημαίνει ότι δύο διαφορετικές οντότητες δεν μπορούν να εξατομικεύουν (πλήρως ή εν μέρει) η μια την άλλη παρόλο που κάποιες οντότητες θα μπορούσαν να εξατομικεύουν τον εαυτό τους.

Θα ήταν παρόλα αυτά δυνατό ένας τρόπος να μη εξατομικεύεται από το αντικείμενο στο οποίο ανήκει, αρκεί η σχέση οντολογικής εξάρτησης μεταξύ τους να είναι κατάλληλα προσδιορισμένη. Προς την κατεύθυνση αυτή βοηθάει μια διάκριση της εν λόγω σχέσης, την οποία επικαλείται ο Bordes³¹¹. Σύμφωνα με τη διάκριση αυτή η σχέση οντολογικής εξάρτησης μπορεί να ερμηνευθεί με δύο τρόπους μια ισχυρή και μια ασθενή. Σύμφωνα με την ισχυρή ερμηνεία ένα τρόπος υπάρχει μόνο ως τρόπος ενός συγκεκριμένου αντικειμένου και όχι ενός αντικειμένου γενικά. Έτσι, αν ένας τρόπος P συμβαίνει να είναι τρόπος του αντικειμένου a , τότε ο P ανήκει κατ' ανάγκη στους τρόπους του a και υπάρχει μόνο ως τρόπος του a . Συνεπώς ο τρόπος P παύει να υπάρχει τόσο στην περίπτωση που το αντικείμενο a παύει να υπάρχει, όσο και στην περίπτωση που το αντικείμενο a υφίσταται μια ποιοτική αλλαγή, κατά την οποία ο τρόπος P παύει να είναι τρόπος του a . Στην ισχυρή της εκδοχή η σχέση εξάρτησης μεταξύ αντικειμένων και τρόπων δεν αφήνει περιθώρια σε υποθέσεις που θέλουν τους τρόπους να μην εξατομικεύονται από τα αντικείμενα στα οποία ανήκουν, εφόσον δεν υπάρχουν έξω από αυτά. Αντίθετα τα περιθώρια αυτά υπάρχουν αν δεχθεί κάποιος την ασθενή ερμηνεία της σχέσης οντολογικής εξάρτησης, σύμφωνα με την οποία για κάθε τρόπο P είναι μεν μεταφυσικά αναγκαίο να υπάρχει ένα αντικείμενο a στο οποίο να ανήκει, ωστόσο ο τρόπος P ανήκει μόνο ενδεχομενικά στο αντικείμενο a και ως εκ τούτου θα μπορούσε να ήταν τρόπος κάποιου άλλου αντικειμένου. Η ασθενής ερμηνεία αφήνει ανοιχτό το ενδεχόμενο οι τρόποι να γίνονται διαχρονικά τρόποι διαφορετικών αντικειμένων, να μπορούν δηλαδή να μετακινούνται από ένα αντικείμενο σε ένα άλλο. Τότε όμως η ταυτότητα των τρόπων δεν εξαρτάται από την ταυτότητα ενός συγκεκριμένου αντικειμένου και θα μπορούσε κάποιος να σκεφτεί ότι ναι μεν δεν είναι αυθύπαρκτες οντότητες, ανήκουν όμως στην κατηγορία των οντοτήτων που οι ίδιες εξατομικεύουν τον εαυτό τους. Στην περίπτωση αυτή το επιχείρημα υπέρ της άποψης που θέλει τα αντικείμενα να εξατομικεύονται από τους τρόπους τους παύει να είναι κυκλικό, δυστυχώς

³¹⁰ Μια σχέση R είναι συμμετρική όταν για δύο οντότητες x και y αν ισχύει Rxy τότε ισχύει επίσης και Ryx . Αντίθετα μια σχέση R είναι αντισυμμετρική όταν για δύο οντότητες x και y αν ισχύει Rxy και ταυτόχρονα Ryx τότε συμπεραίνουμε ότι η οντότητα x ταυτίζεται με την οντότητα y . [Lowe, E., J. (2003) p83]

³¹¹ Bordes, M., (1998), p6

όμως καταλήγει να είναι άκυρο. Λόγω της κινητικότητας των τρόπων, το σενάριο που θέλει δύο όμοια αντικείμενα να ανταλλάσουν τους τρόπους τους είναι μεταφυσικά δυνατό: κανείς δεν μπορεί να αποκλείσει το ενδεχόμενο δύο ποιοτικά μη διακρίσιμα αντικείμενα να ανταλλάξουν το σύνολο των τρόπων τους.³¹² Τότε όμως η ταυτότητα των αντικειμένων δεν θα καθορίζεται από την ταυτότητα των τρόπων του και οι τρόποι δεν θα μπορούν να εξατομικεύουν τα αντικείμενα στα οποία ανήκουν.

Έχοντας ξεπεράσει το πρόβλημα της ύπαρξης μη διακρίσιμων αντικειμένων οι υποστηρικτές της θεωρίας τρόπων έρχονται αντιμέτωποι με ένα πιο θεμελιώδες φιλοσοφικό ερώτημα: η αντισυμμετρική μορφή της σχέσης εξατομίκευσης, η οποία κατά τον Lowe είναι συνέπεια της αντισυμμετρικής μορφής που έχει η σχέση οντολογικής εξάρτησης, θέτει ένα ζήτημα οντολογικής προτεραιότητας των αντικειμένων έναντι των τρόπων τους. Ως εξαρτώμενες οντότητες οι τρόποι δεν μπορούν να εξατομικεύουν τα αντικείμενα στα οποία ανήκουν και άρα είτε μεταξύ των συστατικών του αντικειμένου θα υπάρχει πέραν των τρόπων και κάποια άλλη οντότητα στον ρόλο του εξατομικευτή που θα έχει μια ταυτότητα ανεξάρτητη από την ταυτότητα του ίδιου του αντικειμένου, είτε τα ίδια τα αντικείμενα θα εξατομικεύουν τον εαυτό τους. Όμως η νομιναλιστική εκδοχή της θεωρίας δέσμης περιγράφει τα αντικείμενα ως δέσμες συμπαρόντων τρόπων και στον βαθμό που δεσμεύεται από το δόγμα του εμπειρισμού αποκλείει από τα μεταφυσικά συστατικά των αντικειμένων κάθε εμπειρικά απροσπέλαστη οντότητα. Μένει συνεπώς η εκδοχή που λέει ότι το κάθε αντικείμενο εξατομικεύει τον εαυτό του κι αν αυτήν είναι η μόνη εναπομένουσα εκδοχή, τότε θα πρέπει να δεχθούμε ότι η ταυτότητα τουλάχιστον κάποιων αντικειμένων δεν εξαρτάται από την ταυτότητα άλλων οντοτήτων και ότι αυτά τα ίδια αντικείμενα χαίρουν ανεξάρτητης ύπαρξης. Οι παραδοχές αυτές αλλάζουν τον προσανατολισμό της φιλοσοφικής έρευνας, εφόσον η εξατομίκευση ενός αντικειμένου με τη μεταφυσική της σημασία παύει να νοείται ως σχέση μεταξύ του ίδιου του αντικειμένου και ενός εξατομικευτή.

7.3.3 Η αρχή ατομικότητας ως μη ποιοτικό συστατικό των αντικειμένων

Θα αναφερθούμε σε δύο ακόμη υποψήφιες αρχές ατομικότητας, οι οποίες ναι μεν συνάδουν με τον συμπλεγματικό χαρακτήρα των αντικειμένων, θεωρούνται δηλαδή μεταφυσικά συστατικά τους, είναι όμως εμπειρικά απροσπέλαστες. Η πρώτη είναι το ήδη γνωστό μας γυμνό καθέκαστο, την ύπαρξη του οποίου δέχονται οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος, όμως με αυτή θα ασχοληθούμε αργότερα. Η δεύτερη είναι επίσης ένα μη ποιοτικό συστατικό των αντικειμένων, το οποίο υπάγεται στην κατηγορία των καθόλου όντων και το οποίο θεωρούμε ότι είναι ο

³¹² Λιβάνιος, Β., (2007), σελ.118

φορέας της ταυτότητάς τους. Η ύπαρξη αυτής της οντότητας προτάθηκε για πρώτη φορά από τον John Duns Scotus (1266–1308), ο οποίος την ονόμασε *haecceitas* από τη λατινική λέξη *haec* που σημαίνει «αυτό». Συχνά ο όρος *haecceitas* διατηρείται ως έχει στα αγγλικά κείμενα ή αντικαθίσταται από τον «αγγλικίζοντα» όρο *haecceity*. Όταν όμως μεταφράζεται, αποδίδεται ως *primitive thisness* ή απλώς *thisness* και στην παρούσα εργασία τον αποδίδουμε αντίστοιχα με τους όρους *πρωταρχική αυτότητα* ή απλώς *αυτότητα*. Την πρωταρχική αυτότητα τη συναντάμε στη ρεαλιστική εκδοχή της θεωρίας δέσμης και η εισαγωγή της θεωρήθηκε αναγκαία προκειμένου να εξηγήσει την ατομικότητα των αντικειμένων. Ο όρος που επιλέγεται για να εκφράσει την οντότητα αυτή δεν είναι τυχαίος. Η λέξη «*haecceitas*» και η ελληνική της μετάφραση «αυτότητα» έχουν τις ρίζες τους στις λέξεις «*haec*» (*this*) και «αυτός/η/ο» αντίστοιχα και είναι λέξεις που συνοδεύουν συνήθως τις πράξεις κατάδειξης, δηλαδή τις πράξεις μέσω των οποίων ξεχωρίζουμε ένα αντικείμενο δείχνοντας το. Η κατάδειξη είναι πράξη εξατομίκευσης, η οποία γίνεται και είναι επιτυχής ανεξάρτητα από το *ποιο* και το *πώς* είναι ένα αντικείμενο. Ενόψει αυτού του γεγονότος η αυτότητα είναι για τους υποστηρικτές της η οντότητα, χάριν της οποίας η κατάδειξη ενός αντικειμένου ως πράξη εξατομίκευσης είναι εφικτή.

Σύμφωνα με τον Gary Rosenkrantz, υποστηρικτή της ιδέας της αυτότητας (ο ίδιος προτιμά τον όρο *haecceity*), η αυτότητα θα μπορούσε να ορισθεί ως εξής:

$$h \text{ είναι μια αυτότητα } =_{df} (\exists \alpha) (h \text{ είναι η ιδιότητα του να ταυτίζεται με } \alpha)^{313}$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, αν υπάρχουν αυτότητες, τότε ο Σωκράτης θα έχει την ιδιότητα να ταυτίζεται με τον Σωκράτη και ο Πλάτων την ιδιότητα να ταυτίζεται με τον Πλάτωνα. Βέβαια η αυτότητα δεν είναι μια συνηθισμένη ιδιότητα. Δεν είναι συνηθισμένη, πρώτον διότι οι ιδιότητες φέρονται να σχετίζονται ή ισοδυναμούν με μία ποιότητα είτε με ένα συνδυασμό τους³¹⁴ και δεύτερον διότι η αυτότητα, αν και ιδιότητα, δεν είναι επαναλαμβανόμενη οντότητα. Δεν είναι για παράδειγμα όπως η ιδιότητα της σοφίας που από κοινού φέρουν ο Σωκράτης και ο Πλάτων, εφόσον κάθε αυτότητα πραγματώνεται από ένα και μοναδικό αντικείμενο. Δεν είναι καν όπως η ιδιότητα της *αυτοταύτισης* (self-identity).³¹⁵ Ο Σωκράτης και ο Πλάτων φέρουν από κοινού την ιδιότητα της αυτοταύτισης, δεν μοιράζονται όμως την ίδια

³¹³ Rosenkrantz, G., (1993), p3

³¹⁴ Ο Robert Adams εξηγεί τη χρήση του όρου «ιδιότητα» στο ορισμό της αυτότητας επικαλούμενος το γεγονός ότι πολύ φιλόσοφοι του μεσαίωνα, μεταξύ των οποίων και ο Scotus ο οποίος θεωρείται και ο εμπνευστής του όρου *haecceity*, θεωρούσαν τις ιδιότητες συστατικά των αντικειμένων. Εισήγαγαν ως εκ τούτου τις αυτότητες ως μια ειδικού τύπου ιδιότητα/συστατικό των *ατόμων* (individuals). Ωστόσο όπως επισημαίνει ο Adams το πρόβλημα δεν σχετίζεται με τη χρήση του όρου «ιδιότητα». Η έρευνα γύρω από την έννοια της αυτότητας μπορεί να προχωρήσει χωρίς να αναφερόμαστε σε αυτήν ως ιδιότητα. Άλλο είναι το κρίσιμο ερώτημα και αφορά τη διάκριση μεταξύ του ποιοτικού και του μη ποιοτικού και ειδικότερα τη δικαιολόγησή της ώστε να γίνει αποδεκτή. [Adams, R., (1979), pp6-7]

³¹⁵ Rosenkrantz, G., (1993), p12

αυτότητα. Κάθε αυτότητα δεν μπορεί να είναι η αυτότητα ενός οποιουδήποτε αντικειμένου αλλά η αυτότητα ενός συγκεκριμένου αντικειμένου. Το αντικείμενο που ονομάζουμε *a* πραγματώνει εκείνη την αυτότητα που υπάρχει για να πραγματωθεί από το *a* και μόνο από αυτό. Κατόπιν τούτων είναι εύλογο να δεχθούμε ότι η αυτότητα, αν υπάρχει, είναι το συστατικό των αντικειμένων που εξηγεί την αριθμητική διαφορά τους και την ικανότητά τους να υπάρχουν ως άτομα. Να δεχθούμε δηλαδή ότι αν υπάρχουν αυτότητες τότε αυτές θα είναι η αρχή ατομικότητας που αναζητούμε!

Παρόλο που η ύπαρξη αυτοτήτων θα έδινε λύση σε ένα σοβαρό οντολογικό πρόβλημα, η προσθήκη τους στη βασική οντολογία παραβιάζει κατάφορα το δόγμα του εμπειρισμού και επειδή ακριβώς συμβαίνει αυτό θα πρέπει να έχουμε πρόσθετους και αρκετά ισχυρούς λόγους να δεχθούμε την ύπαρξη της. Ο Lowe όμως ισχυρίζεται ότι τέτοιοι λόγοι δεν υπάρχουν και ότι η προσθήκη της αυτότητας είναι εντελώς σκόπιμη και οντολογικά δαπανηρή, διότι γίνεται αποκλειστικά και μόνο για να λύσει, με ένα μάλλον μαγικό τρόπο, ένα δύσκολο μεταφυσικό πρόβλημα επινοώντας μυστήριες οντότητες.³¹⁶ Και πράγματι! Η υπόθεση ότι υπάρχουν αυτότητες γίνεται για να εξηγηθεί η αριθμητική διαφορά μεταξύ ποιοτικά μη διακρίσιμων αντικειμένων, γίνεται με άλλα λόγια για να της αποδοθεί ο ρόλος της αρχής ατομικότητας όταν όλα δείχνουν ότι κάθε άλλη υποψήφια αρχή ατομικότητας αποτυγχάνει να αναλάβει αυτό τον ρόλο. Μόνο που αυτό που για κάποιους μετράει ως ελάττωμα για τους υποστηρικτές της αυτότητας μετράει στα πλεονεκτήματά της. Σε τελική ανάλυση στη μεταφυσική οι υπαρκτικές υποθέσεις δεν κρίνονται αποκλειστικά και μόνο με βάση την εμπειρία αλλά σε μεγάλο βαθμό κρίνονται κι από την εξηγητική τους ισχύ. Η ύπαρξη αριθμητικά διαφορετικών και μη διακρίσιμων αντικειμένων είναι ένα γεγονός εξίσου πραγματικό όσο και η ομοιότητά τους, το οποίο είτε χρήζει μεταφυσικής εξήγησης, είτε θα αντιμετωπισθεί ως ένα *απλό γεγονός* (brute fact) που δεν επιδέχεται περαιτέρω ανάλυση. Για τους νομιναλιστές, οι οποίοι δεσμεύονται σε μια αυστηρή εκδοχή νομιναλισμού, η ύπαρξη αριθμητικά διαφορετικών και μη διακρίσιμων αντικειμένων δεν χρήζει μεταφυσικής εξήγησης, διότι γι αυτούς τα φυσικά αντικείμενα δεν μπορούν παρά να είναι *συγκεκριμένα καθέκαστα* (concrete particulars), διότι πέραν αυτών ουδέν υπάρχει. Ο αυστηρός νομιναλισμός όχι μόνο δεν δέχεται την ύπαρξη των καθόλου αλλά απορρίπτει ακόμα και την ιδέα που θέλει τα αντικείμενα να είναι συμπλέγματα άλλων απλούστερων και καθέκαστων οντοτήτων όπως είναι οι τρόποι. Εντούτοις ο αυστηρός νομιναλισμός, αν και εμφανίζει οντολογική απλότητα, αποδεικνύεται σε σχέση με τον ρεαλισμό αξιοσημείωτα δυσκίνητη θεωρία, είτε γιατί περιλαμβάνει στο λεξιλόγιο του πολύ περισσότερες πρωταρχικές και μη αναλύσιμες έννοιες, είτε γιατί οι εξηγήσεις που παρέχει για σημαντικά

³¹⁶ Lowe, E., J., (2003), pp87- 88

φαινόμενα είναι μόνο αποσπασματικές.³¹⁷

Πάντως η πλειοψηφία των φιλοσόφων δέχονται ότι η ύπαρξη μη διακρίσιμων και αριθμητικά διαφορετικών αντικειμένων χρήζει μεταφυσικής εξήγησης και άρα πρέπει να υπάρχει *κάτι*, χάριν του οποίου τα αντικείμενα διαφέρουν μόνο αριθμητικά. Μάλιστα ο Rosenkrantz, υποστηρικτής της αυτότητας, λέει ότι κατά την αναζήτηση της εν λόγω εξήγησης η έρευνα καθοδηγείται από την ίδια *a priori* διαίσθηση που καθοδηγεί και την αναζήτηση της εξήγησης της ομοιότητας. Όταν για παράδειγμα παρατηρούμε ένα πλήθος κόκκινων καθέκαστων υποθέτουμε ότι υπάρχει *κάτι* χάριν του οποίου τα εν λόγω καθέκαστα είναι κόκκινα για να πούμε στη συνέχεια ότι αυτό το *κάτι* δεν μπορεί παρά να είναι η ιδιότητα του κόκκινου και έτσι να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι το κόκκινο υπάρχει. Ανάλογα όταν παρατηρούμε την αριθμητική διαφορά δύο συγκεκριμένων καθέκαστων, ξεκινούμε από το γεγονός της ύπαρξής τους και αφού υποθέσουμε ότι υπάρχει *κάτι* χάριν του οποίου τα εν λόγω καθέκαστα είναι δύο ξεχωριστές οντότητες, λέμε στη συνέχεια ότι αυτό το *κάτι* δεν μπορεί παρά να είναι μια ιδιότητα, την οποία έχει το ένα εκ των δύο καθέκαστων, όχι όμως και το άλλο. Το συμπέρασμα είναι και πάλι ότι αυτό το *κάτι* υπάρχει!³¹⁸

Οι υποστηρικτές της αυτότητας λένε βέβαια και *κάτι* περισσότερο: η οντότητα, χάριν της οποίας τα αντικείμενα διαφέρουν αριθμητικά, θα είναι κατά τρόπο αναγκαίο μη ποιοτική. Επιχειρηματολογώντας υπέρ αυτής της άποψης ο Robert Adams θέτει ως δεδομένο ότι κάθε *άτομο* (individual) έχει τη δική του αυτότητα, χάριν της οποίας γίνεται ένα ξεχωριστό όν, για να δείξει στη συνέχεια ότι η αυτότητα του κάθε ατόμου δεν μπορεί να συγκροτηθεί από ένα σύμπλεγμα ποιοτικών ιδιοτήτων.³¹⁹ Στην καρδιά του όλου εγχειρήματος βρίσκεται η ΑΤμΔ, η άρνηση της οποίας είναι ακριβώς αυτό που απαιτείται, για να υπερασπισθεί κάποιος τη μη ποιοτική φύση της αυτότητας. Αν υπάρχουν ξεχωριστά και μη διακρίσιμα *άτομα* (individuals), τότε θα υπάρχουν άτομα, των οποίων η αυτότητα ούτε θα ταυτίζεται με κάποια από τις καθαρά ποιοτικές ιδιότητές τους, ούτε θα είναι αυτή η ίδια ποιοτική ιδιότητα. Από τη στιγμή όμως που σε ορισμένες περιπτώσεις η αυτότητα των αντικειμένων είναι μη ποιοτικό συστατικό τους, το αίτημα για γενικές και καθολικές μεταφυσικές εξηγήσεις επιτάσσει όλες οι αυτότητες όλων των αντικειμένων να είναι επίσης μη ποιοτικά συστατικά τους.³²⁰

Είναι όμως η αποτυχία της ΑΤμΔ ικανός λόγος κάποιος να δεχθεί την ύπαρξη αυτοτήτων; Ίσως ναι, αν η έρευνα αποδείξει ότι η αυτότητα είναι η οντότητα που εξηγεί με τον καλύτερο

³¹⁷ Loux, M., - Crisp, T., (2017), pp50-60

³¹⁸ Rosenkrantz, S., G., (1993), pp72-6

³¹⁹ Αυτό που εμείς εδώ αναφέρουμε ως «σύμπλεγμα ποιοτικών ιδιοτήτων» ο Adams το ονομάζει *suchness*. *Suchness* είναι οι καθαρά ποιοτικές ιδιότητες, αυτές οι οποίες γλωσσικά συλλαμβάνονται χωρίς την προσθήκη αναφορικών εργαλείων όπως κύρια ονόματα, κύρια επίθετα ή ρήματα (π.χ. “Leibnizian” ή “pegasizes”), δεικτικές εκφράσεις και αναφορικές χρήσεις οριστικών περιγραφών.[Adams, R., (1979), pp7-8]

³²⁰ Adams, R., (1979), pp10-13

τρόπο την αριθμητική διαφορά των αντικειμένων και την ικανότητά τους να υπάρχουν ως άτομα, τότε η επιλογή της αυτότητας μεταξύ ενός πλήθους άλλων υποψηφίων αρχών ατομικότητας θα ήταν το αποτέλεσμα της *συναγωγής στην καλύτερη εξήγηση* (inference to the best explanation) και θα ήταν δικαιολογημένη. Η συναγωγή στην καλύτερη εξήγηση είναι η μέθοδος που εφαρμόζει ο Rosenkrantz προκειμένου η αυτότητα να αποδειχθεί η πλέον κατάλληλη αρχή ατομικότητας. Αφού απαριθμεί συνολικά εννιά υποψήφια αρχές, μεταξύ των οποίων και η αυτότητα, επιχειρεί να δείξει ότι καμία, πλην της αυτότητας, δεν ικανοποιεί το κριτήριο της μη κυκλικότητας.³²¹

Μια αρχική ένσταση αφορά τον κλειστό κατάλογο των υποψηφίων αρχών ατομικότητας! Ακόμα κι αν μέχρι τώρα έχει γίνει λόγος μόνο για εννέα υποψήφια τέτοιες αρχές, γιατί να αποκλείσουμε νέες υποψηφιότητες στο μέλλον; Επιπλέον η έρευνα θέτει εκ των προτέρων ένα πλαίσιο αναζήτησης, εντός του οποίου αναζητούμε μια γενική και καθολική εξήγηση της ατομικότητας και καμία συζήτηση δεν γίνεται γύρω από το ενδεχόμενο η αριθμητική διαφορά των αντικειμένων και η ικανότητά τους να υπάρχουν ως άτομα να εξηγούνται από το *ποιο* και το *πώς* είναι το κάθε αντικείμενο. Ωστόσο, ακόμη και μέσα σε αυτό το πλαίσιο φαίνεται δύσκολο, αν όχι αδύνατο, το επιχείρημα υπέρ της αυτότητας να αποφύγει την κυκλικότητα. Ας δούμε το γιατί.

Έστω ότι οι αυτότητες υπάρχουν και κάθε αντικείμενο, ας πούμε το *a*, φέρει την ιδιότητα της αυτότητας, η οποία γλωσσικά αποδίδεται με το κατηγορημα «... ταυτίζεται με το *a*». Το επιχείρημα υπέρ της αυτότητας λέει ότι «δύο αντικείμενα, το *a* και το *b*, διαφέρουν αριθμητικά διότι το *a* έχει την ιδιότητα να ταυτίζεται με το *a* και το *b* δεν έχει την ιδιότητα να ταυτίζεται με το *a*». Κατά τον Rosenkrantz το εν λόγω επιχείρημα δεν είναι κυκλικό, διότι αυτό που εξηγούμε δεν αποτελεί μέρος της εξήγησης. Η εξήγηση της αριθμητικής διαφοράς των *a* και *b* στηρίζεται στο ότι το *a* έχει μια ιδιότητα που δεν έχει το *b* και όχι στην ίδια την αριθμητική διαφορά.³²² Δεν είναι όμως έτσι! Καμία εξήγηση καμιάς διαφοράς δεν αποφεύγει την κυκλικότητα όταν εμπλέκει την έννοια της ταυτότητας. Η διαφορά δεν είναι παρά η άρνηση της ταυτότητας. Κατανοούμε το νόημα της ταυτότητας σε αντιδιαστολή με το νόημα της διαφοράς και αντιστρόφως: τα *a* και *b* ταυτίζονται, διότι δεν διαφέρουν και τα *a* και *b* διαφέρουν γιατί δεν ταυτίζονται. Όταν λοιπόν ορίζουμε την αυτότητα του *a* ως την ιδιότητα «...ταυτίζεται με το *a*» και καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το *b* διαφέρει από το *a* διότι δεν έχει την ιδιότητα «...ταυτίζεται με το *a*» λέμε ουσιαστικά ότι το *a* διαφέρει από το *b* διότι το *a* δεν ταυτίζεται με το *b*. Με όρους προτασιακού λογισμού θα γράφαμε ότι $(a \neq b) \rightarrow ((a = a) \wedge (\neg b = a))$. Επειδή όμως η πρόταση $a \neq b$

³²¹ Rosenkrantz, G., (1993) pp 97-105

³²² Rosenkrantz, G., (1993), p121

ταυτίζεται με την πρόταση $\neg b = a$ η συνεπαγωγή είναι μεν αληθής, είναι όμως τετριμμένα αληθής και ως εξήγηση της διαφοράς των a και b κατάφορα κυκλική, εφόσον μέρος της επόμενης είναι η ηγούμενή της.

Ο Rosenkrantz επιχειρεί να παρακάμψει το πρόβλημα της κυκλικότητας λέγοντας ότι η ιδιότητα της αυτότητας ορίζεται ανεξάρτητα από την έννοια της ταυτότητας νοούμενης ως τη σχέση που κάθε οντότητα έχει με τον εαυτό της. Η αυτότητα του a είναι μια μη ποιοτική ιδιότητα που αποδίδεται στο a και όχι η σχέση της ταυτότητας του a με το a . Το καθοριστικό στοιχείο που κατά τον Rosenkrantz τεκμηριώνει τη διάκριση μεταξύ της αυτότητας του a και της σχέσης ταυτότητας του a με το a είναι η δυνατότητα των σκεπτόμενων όντων να συλλάβουν την αυτότητα του a πριν από τη σχέση της ταυτότητας του a με το a . Τη δυνατότητα αυτή τη στηρίζει σε προηγούμενες πεποιθήσεις των σκεπτόμενων όντων και συγκεκριμένα στο αν ερμηνεύουν την πρόταση «το a ταυτίζεται με το a » ως το a έχει την ιδιότητα να ταυτίζεται με το a ή αν την ερμηνεύουν ως τη σχέση της ταυτότητας που το a έχει με το a .³²³ Ωστόσο η ύπαρξη εναλλακτικών ερμηνειών προϋποθέτει την αμφισημία της πρότασης «το a ταυτίζεται με το a » όμως στη μεταφυσική τα εναλλακτικά νοήματα είναι αμοιβαίως αποκλειόμενα! Η πρόταση «το a ταυτίζεται με το a » είτε θα σημαίνει ότι το a έχει την ιδιότητα να ταυτίζεται με το a είτε ότι το a έχει τη σχέση της ταυτότητας με το a . Δηλαδή είτε θα δώσουμε οντολογική προτεραιότητα στις ιδιότητες των αυτοτήτων και θα δεχθούμε ότι η έννοια της ταυτότητας ως σχέση είναι το αποτέλεσμα πιθανόν μιας αφαιρετικής διαδικασίας· είτε θα δώσουμε οντολογική προτεραιότητα στη σχέση της ταυτότητας οπότε στην περίπτωση αυτή οι αυτότητες καταλήγουν να είναι ένα σύνθετο κατηγορημα που συγκροτείται από τη σχέση της ταυτότητας και το αντικείμενο a . Τα κόστη δεν είναι συγκρίσιμα! Δεν δικαιολογείται σε καμία περίπτωση ο υποβιβασμός της έννοιας της ταυτότητας σε μια απλή γενίκευση. Οι έννοιες της ταυτότητας και της διαφοράς είναι τα μεταφυσικά θεμέλια του κόσμου και κάθε μεταφυσική εξήγηση θα πρέπει να χτισθεί πάνω σε αυτά τα θεμέλια.

Ίσως όμως η αρχή ατομικότητας που αναζητούμε να είναι το γυμνό καθέκαστο, την ύπαρξη του οποίου υποθέτουν οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστρώματος. Όπως και οι αυτότητες, τα γυμνά καθέκαστα είναι εμπειρικά απροσπέλαστες οντότητες με τη διαφορά ότι ανήκουν στην κατηγορία των καθέκαστων. Επιπλέον τα γυμνά καθέκαστα δεν εισάγονται αποκλειστικά και μόνο ως λύσεις στο πρόβλημα της ατομικότητας. Ο ρόλος τους είναι διττός: είναι οι οντότητες, στις οποίες εμφυτεύονται οι ιδιότητες των αντικειμένων και εγγυώνται την εσωτερική τους ενότητα· ενώ παράλληλα εγγυώνται την αριθμητική τους διαφορά και την ικανότητά τους να υπάρχουν ως άτομα. Ο Gustav Bergmann υποστηρίζει την ιδέα του γυμνού καθέκαστου ως την

³²³ Rosenkrantz, G., (1993), p125-6

πλέον ενδεδειγμένη λύση στο πρόβλημα της ατομικότητας, το οποίο, όπως αναφέρει, συνίσταται στη δυνατότητα ύπαρξης ποιοτικά μη διακρίσιμων και αριθμητικά διαφορετικών αντικειμένων. Όταν παρατηρούμε, λέει ο Bergmann, δύο από κάθε (μη σχεσιακή) άποψη όμοιους κύβους, βρισκόμαστε μπροστά σε δύο *καταστάσεις πραγμάτων* (state of affairs), για τις οποίες είναι δυνατόν να εκφέρουμε τις κρίσεις «αυτό είναι πράσινο» και «εκείνο είναι πράσινο». Οι δύο αυτές κρίσεις εμφανίζουν μια διαφορά, η οποία εντοπίζεται στη χρήση των διαφορετικών λέξεων «αυτό» και «εκείνο» στην θέση του υποκειμένου και μια ομοιότητα που εντοπίζεται στην από κοινού χρήση της λέξης «πράσινο» στη θέση του κατηγορήματος. Οι κρίσεις είναι θεμελιωμένες όταν η διαφορά και η ομοιότητα θεμελιώνονται στις καταστάσεις πραγμάτων που κρίνουν και ένας τρόπος για να γίνει αυτό είναι να υποθέσουμε ότι οι εν λόγω καταστάσεις δομούνται από τρία συστατικά, στα οποία αναφερόμαστε με τα ονόματα «αυτό», «εκείνο» και «πράσινο». Το συστατικό που ονομάζουμε «πράσινο» ανήκει στην κατηγορία των καθόλου, είναι κοινό συστατικό και των δύο καταστάσεων και εξηγεί την ομοιότητά τους. Τα συστατικά που ονομάζουμε «αυτό» και «εκείνο» είναι δύο διαφορετικά καθέκαστα που εξηγούν την αριθμητική διαφορά του ενός κύβου από τον άλλο και θα πρέπει να είναι γυμνά.³²⁴ Οι λέξεις «αυτό» και «εκείνο» είναι δεικτικές αντωνυμίες και σε αντίθεση με τα ονόματα δεν έχουν συγκεκριμένη αναφορά. Για να τεθεί υπό κρίση η πρόταση «αυτό είναι πράσινο» θα πρέπει η εκφορά της να συνοδεύεται από μια κίνηση κατάδειξης προβαίνοντας έτσι σε μια πράξη εξατομίκευσης, η οποία τελείται ανεξάρτητα από το *ποιο* και το *πώς* είναι ένα αντικείμενο. Συνεπώς η λέξη «αυτό» συλλαμβάνει *κάτι* από το αντικείμενο, *κάτι* μη ποιοτικό, στο οποίο αποδίδουμε μια ιδιότητα, όταν λέμε «αυτό είναι πράσινο» και χάριν του οποίου γνωρίζουμε ότι οι κρίσεις «αυτό είναι πράσινο» και «εκείνο είναι πράσινο» αφορούν διαφορετικά αντικείμενα ακόμα κι αν αυτά είναι από κάθε άποψη όμοια μεταξύ τους. Οι προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιεί αυτό το *κάτι* το κάνουν να είναι γυμνό καθέκαστο.

Εντούτοις τα γυμνά καθέκαστα είναι αυτά τα ίδια ποιοτικά μη διακρίσιμες και αριθμητικά διαφορετικές οντότητες και φαίνεται ότι υπόκεινται στο ίδιο ακριβώς πρόβλημα, το οποίο υποτίθεται ότι λύνει η υπόθεση της ύπαρξής τους ως συστατικά των αντικειμένων! Πηγή της δυσκολίας κατά τον Loux είναι το γεγονός ότι τα γυμνά καθέκαστα έχουν ουσιώδεις ιδιότητες, ως προς τις οποίες είναι μη διακρίσιμα. Συγκεκριμένα τα γυμνά καθέκαστα πρέπει να έχουν την ιδιότητα να φέρουν ιδιότητες και την ιδιότητα να εξατομικεύουν τα αντικείμενα, των οποίων τις ιδιότητες φέρουν, προκειμένου να εκπληρώνουν τον οντολογικό τους ρόλο. Συνεπώς τα γυμνά καθέκαστα είναι μη διακρίσιμα συμπλέγματα, η αριθμητική διαφορά των οποίων χρήζει επίσης μεταφυσικής εξήγησης και για λόγους συνέπειας θα πρέπει να υποθέσουμε επιπρόσθετους

³²⁴ Bergman, G., (1956), p209

εξατομικευτές, οδηγώντας έτσι τη λύση του προβλήματος σε μια επ' άπειρον αναδρομή.³²⁵

Βέβαια οι ιδιότητες των γυμνών καθέκαστων, αν υπάρχουν, δεν είναι και ούτε θα μπορούσαν να είναι ποιοτικές. Αν ήταν, τότε δεν θα διέφεραν ως προς την οντολογική δομή τους από ένα αντικείμενο και θα ήταν ως εκ τούτου παράλογο να επιχειρεί κάποιος να εξηγήσει την ενότητα και την αριθμητική διαφορά των αντικειμένων υποθέτοντας την ύπαρξη μεταξύ των συστατικών του ενός άλλου αντικειμένου. Υπό την έννοια αυτή θα μπορούσε κάποιος να ισχυρισθεί ότι το να είναι κάτι φορέας ιδιοτήτων ή εξατομικευτής δεν συνιστούν σε τελική ανάλυση ιδιότητες και ότι η χρήση του όρου «ιδιότητα» είναι στην προκειμένη περίπτωση παραπλανητική. Ακόμα όμως κι αν απορρίψουμε τον όρο «ιδιότητα», το να είναι κάτι φορέας ιδιοτήτων, ή το να είναι εξατομικευτής φανερώνουν δύο ουσιώδεις *δυνάμεις* (powers) που έχει αυτό το κάτι να ενεργεί με τον τρόπο που ενεργεί, οι οποίες για λόγους συνέπειας θα πρέπει να νοούνται από τους υποστηρικτές της συμπλεγματικής δομής των αντικειμένων ως μεταφυσικά συστατικά των οντοτήτων στα οποία αποδίδονται. Τότε όμως το πρόβλημα της επ' άπειρον αναδρομής είναι αναπόφευκτο. Για τον Loux η ίδια η ιδέα του *γυμνού οτιδήποτε* εμπλέκει αναπόφευκτα μια αντίφαση: το να είναι κάτι γυμνό σημαίνει ότι στερείται *ουσιωδών* ιδιοτήτων δηλαδή ιδιοτήτων, χάριν των οποίων είναι αυτό που είναι· όμως την ίδια στιγμή το να μην έχει κάτι ουσιώδεις ιδιότητες σημαίνει ότι έχει τουλάχιστον μία: την ιδιότητά του να μην έχει ουσιώδεις ιδιότητες.³²⁶

Ο Charles Martin επιχειρεί να παρακάμψει τις παραπάνω ενστάσεις μέσα από μια διαφορετική οντολογική περιγραφή του γυμνού καθέκαστου. Χωρίς να απορρίπτει την ύπαρξή του, κατηγορηματικά δηλώνει ότι τα γυμνά καθέκαστα ή υποστρώματα, όπως ο ίδιος τα αποκαλεί, δεν είναι αντικείμενα αλλά ούτε και οιονεί αντικείμενα. Είναι οντότητες που εκπροσωπούν τη μη ποιοτική πλευρά των αντικειμένων, αυτή που φέρει τις ιδιότητες σε αντίθεση με την ποιοτική τους πλευρά που είναι οι ιδιότητες που φέρονται. Ειδικότερα δέχεται ότι τόσο το υπόστρωμα όσο και οι ιδιότητες είναι *πλευρές* (aspects) του αντικειμένου, τις οποίες συλλαμβάνουμε μέσω του μηχανισμού της *μερικής θεώρησης* (partial consideration), τον οποίο προτείνει ο John Locke ως τον μηχανισμό, χάριν του οποίου ο νους αποκτά την ιδέα μιας ιδιότητας, την ιδέα δηλαδή του να είναι κάτι κόκκινο, στρογγυλό, κ.λ.π.. Μέσω του μηχανισμού της μερικής θεώρησης ένα αντικείμενο μπορούμε να το σκεφτόμαστε από πολλές πλευρές, όμως αυτό σημαίνει ότι τα αντικείμενα *έχουν* πράγματι πολλές πλευρές. Μία εξ αυτών είναι το να φέρουν ιδιότητες! Έτσι το αντικείμενο ως αντικείμενο είναι την ίδια στιγμή τόσο ο φορέας των

³²⁵ Loux, M., (1998a), p151

³²⁶ Loux, M., (1998a), p154

ιδιοτήτων όσο και οι ιδιότητες που φέρονται.³²⁷ Συγκεκριμένα λέει ότι όταν σκεφτόμαστε με τον πλέον γενικό τρόπο την απόδοση ιδιοτήτων σε ένα αντικείμενο σκεφτόμαστε, ή μερικά θεωρούμε, το αντικείμενο μόνο ως φορέα των ιδιοτήτων του και όχι ως φερόμενο, χωρίς την ίδια στιγμή να το σκεφτόμαστε με όρους ιδιοτήτων. Η μερική θεώρηση ενός αντικειμένου ως *κάτι* που φέρει ιδιότητες είναι μια μορφή επιλεκτικής προσοχής, με την οποία σκεφτόμαστε το αντικείμενο, όχι ως αντικείμενο κάποιου είδους, αλλά ως φορέα ιδιοτήτων, χωρίς να στρέφουμε την προσοχή μας στο ποιες είναι αυτές οι ιδιότητες. Κατόπιν τούτων ο Martin καταλήγει λέγοντας ότι υπό αυτήν τη μερική θεώρηση το αντικείμενο είναι πράγματι το υπόστρωμα.³²⁸

Θα μπορούσε υπό αυτήν τη θεώρηση η ιδέα της ύπαρξης του γυμνού καθέκαστου (ή του υποστρώματος) να δώσει λύση στο πρόβλημα της ατομικότητας; Ίσως ναι· όμως για τη διερεύνηση του ερωτήματος πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η προσέγγιση του Martin δεν συνάδει με τη συμπλεγματική δομή των αντικειμένων, την οποία ο ίδιος κατηγορηματικά απορρίπτει. Σύμφωνα με τον Martin τα αντικείμενα δεν συγκροτούνται από απλούστερες οντότητες, οι οποίες, μαζί με τις μεταφυσικές σχέσεις που διαμορφώνουν μεταξύ τους, δίνουν υπόσταση σε ό,τι ονομάζουμε αντικείμενο.³²⁹ Από αυτή τη σκοπιά ο Lowe βρίσκει ελκυστική την θεώρηση του Martin, διότι μέσω αυτής καταφέρνει να δραπετεύσει από τις πιο εύλογες ενστάσεις έναντι της ακατέργαστης ιδέας του υποστρώματος ως ένα γυμνό *κάτι*. Ο Lowe συμφωνεί με τον Martin ότι οι ιδιότητες που αποδίδονται σε ένα αντικείμενο δεν είναι συστατικά αλλά *πλευρές* του αντικειμένου, *κάτι* για το οποίο μπορούμε να μιλήσουμε και να το σκεφτούμε χωριστά από το αντικείμενο μόνο μέσα από μια πράξη αφαίρεσης.³³⁰ Υιοθετούν και οι δύο τη λοκιανή αντίληψη περί ιδιοτήτων, σύμφωνα με την οποία οι ιδιότητες είναι καθέκαστες οντότητες χωρίς να είναι αντικείμενα. Έτσι μια ιδιότητα είναι *κάτι* γύρω από το αντικείμενο, είναι αυτό που ο John Locke ονομάζει *τρόπο* (mode)³³¹ του αντικειμένου και φυσικά είναι μια οντότητα που η ύπαρξη και η

³²⁷ Σκοπός του Martin είναι να *φρεσκάρει* (refurbish), όπως λέει ο ίδιος, και να εξελίξει τη φιλοσοφική θεώρηση του Locke γύρω από τις ιδέες της υπόστασης και του υποστρώματος, ώστε αυτές να αποκτήσουν το στάτους ενός μεταφυσικού δόγματος το οποίο θα μπορούσε κάποιος να αποδεχθεί και έξω από το φιλοσοφικό πλαίσιο των αρχών του ίδιου του Locke. [Martin, B., C., (1980)]

³²⁸ Martin, B., C., (1980), pp9-10

³²⁹ Martin, B., C., (1980), pp7-8

³³⁰ Lowe, E., J., (2003) p86

³³¹ Οι αγγλικές λέξεις «*tiros*», «*mode*» και «*way*» αναφέρονται στις ιδιότητες των αντικειμένων με διαφορετική όμως σημασία η κάθε μια. Δυστυχώς και οι τρεις μεταφράζονται αναγκαστικά με την ίδια ελληνική λέξη «*τρόπος*». Έτσι λάβε ότι μία ιδιότητα είναι *ένας τρόπος του είναι* (a way of being) όταν θέλουμε οι ιδιότητες να αντιμετωπίζονται ως πλευρές-όψεις των αντικειμένων και όχι ως συστατικά τους. Οι τρόποι του είναι (ways of being) είναι εξίσου πραγματικοί όσο και το ίδιο το αντικείμενο και εκλαμβάνονται από μεν τους ρεαλιστές ως καθόλου όντα, από δε τους νομιναλιστές ως καθέκαστα. Η κοκκινότητα, για παράδειγμα, ενός αντικειμένου είναι ένα *τρόπος* (με τη σημασία του way) του να είναι χρωματισμένο. Όταν οι ιδιότητες ως *τρόποι* (με τη σημασία του ways) εκλαμβάνονται ως καθέκαστα τότε ονομάζονται είτε *τρόποι* (με τη σημασία του tiros), είτε *τρόποι* (με τη σημασία του modes). Ωστόσο ο όρος *τρόπος* (με τη σημασία του tiros) χρησιμοποιείται και από τους υποστηρικτές της *θεωρίας τρόπων* (tiros theory) η οποία θεωρεί ότι τα αντικείμενα είναι δέσμες τρόπων (με τη σημασία του tiros). Για τον λόγο αυτό και προς αποφυγή των εννοιολογικών συγχύσεων οι φιλόσοφοι οι οποίοι

ταυτότητά της εξαρτώνται από το αντικείμενο του οποίου είναι *τρόπος* (mode). Ο Lowe όμως διαφωνεί με τον Martin ότι η ιδέα του υποστρώματος είναι το αποτέλεσμα της ίδιας νοητικής διεργασίας που οδηγεί στην ιδέα της κοκκινότητας ή της σφαιρικότητας και ότι το υπόστρωμα είναι ένας ακόμη τρόπος του αντικειμένου, ο τρόπος του να φέρει ιδιότητες. Επικαλείται ένα απόσπασμα από τα γραπτά του Locke, όπου ο φιλόσοφος αναφερόμενος στην ιδέα του υποστρώματος λέει ότι: «... είναι κάτι που στηρίζει ενδεχομενικότητες (accidents) ή άλλες απλές ιδέες ή τρόπους (modes) και ότι το ίδιο δεν στηρίζεται ως τρόπος (mode) ή ενδεχομενικότητα (accident)» για να θέσει εν τέλει δύο ερωτήματα: αν το υπόστρωμα είναι εξ αρχής μια οντότητα, η οποία δεν στηρίζεται όπως στηρίζονται οι ενδεχομενικότητες ή οι τρόποι, *γιατί να μην υποθέτουμε* ότι αυτό το κάτι, στο οποίο εμφυτεύονται οι ποιότητες ενός αντικειμένου, είναι το ίδιο το αντικείμενο του οποίου τις ποιότητες «στηρίζει»; Και γιατί να υποθέσουμε ότι υπάρχει μια γνήσια σχέση, αυτή του «στηρίζω», μεταξύ υποστρώματος και ποιότητας;³³² Βέβαια τα ερωτήματα που θέτει ο Lowe είναι ρητορικά. Μέσω αυτών εκφράζει τη δική του άποψη, η οποία θέλει ο φορέας των ποιότητων ενός αντικειμένου να είναι το ίδιο το αντικείμενο και όχι κάποια παράξενη πλευρά του ή κάποιο παράξενο συστατικό του. Υπό αυτήν την έννοια η απόδοση μιας ποιότητας σε κάτι δεν εκφράζει μια γνήσια σχέση μεταξύ «δύο» συσχετιζόμενων μερών, δεν εκφράζει δηλαδή ένα είδος μεταφυσικού δεσμού. Οι ποιότητες είναι *επίθετα* (adjectival upon) των αντικειμένων και όχι οντότητες που με κάποιο τρόπο σχετίζονται με τα αντικείμενα.³³³

Η θέση του Lowe έναντι της ιδέας του υποστρώματος αντικατοπτρίζει τη δέσμευσή του στην οντολογική προτεραιότητα των αντικειμένων έναντι *ιδιοτήτων* (properties), *προδιαθέσεων* (dispositions), *δυνάμεων* (powers), *ικανοτήτων* (abilities) και κάθε δυνατού *τρόπου* (way) του είναι τους. Θεωρεί ότι τα αντικείμενα είναι οντολογικά πρότερα των ιδιοτήτων τους, υπό την έννοια ότι η θέση τους στη κλίμακα του *τι υπάρχει* είναι πιο θεμελιώδης από αυτή των ιδιοτήτων, οι οποίες φέρονται από τα αντικείμενα και υπάρχουν μόνο ως ιδιότητες κάποιων αντικειμένων.³³⁴ Την ίδια άποψη εκφράζει και ο John Heil, ο οποίος χαρακτηρίζει τα αντικείμενα ως *βασικές οντότητες* (basic entities), υπό την έννοια ότι «ο κόσμος μας είναι ένα κόσμος αντικειμένων».³³⁵ Σε συμφωνία με τον Lowe ισχυρίζεται ότι «οι φορείς των ιδιοτήτων και οι ιδιότητες είναι μη διαχωρίσιμες οντότητες, όχι διότι οι ιδιότητες είναι συνδεδεμένες με τους φορείς τους με μια ισχυρή μεταφυσική κόλλα. Μάλλον οι φορείς ιδιοτήτων είναι αντικείμενα που θεωρούνται ως να υπάρχουν με συγκεκριμένους τρόπους και οι ιδιότητες είναι οι τρόποι με τους οποίους υπάρχουν τα

θεωρούν ότι οι ιδιότητες είναι *τρόποι* (ways) *του είναι* και όχι *συστατικά* (ingredients) των αντικειμένων προτιμών να μιλούν για τις καθέκαστες ιδιότητες χρησιμοποιώντας τον όρο *mode*.

³³² Lowe, E., J., (2000), p513

³³³ Lowe, E., J., (2000), p514

³³⁴ Lowe, E., J., (2006), p75

³³⁵ Heil, J., (2003), p173

αντικείμενα»³³⁶. Η οντολογική προτεραιότητα των αντικειμένων δεν συνάδει με τη συμπλεγματική δομή που οι θεωρίες δέσμης και υποστρώματος αποδίδουν στα αντικείμενα με αποτέλεσμα το πρόβλημα της ατομικότητας να τίθεται σε εντελώς νέα βάση. Αν η ιδέα ότι τα αντικείμενα είναι συμπλέγματα άλλων απλούστερων οντοτήτων απορριφθεί, η εξατομίκευση με τη μεταφυσική της σημασία δεν μπορεί να θεωρείται πλέον ως σχέση μεταξύ του αντικειμένου και μιας αρχής ατομικότητας, διότι τότε η αρχή ατομικότητας, ως το ένα εκ των συσχετιζόμενων μερών, θα έπρεπε να νοείται ως συστατικό του αντικειμένου. Δεδομένης όμως της οντολογικής προτεραιότητας των αντικειμένων έναντι των δυνατών τρόπων (ways) του είναι τους, ίσως η ατομικότητα δηλαδή η ικανότητα των αντικειμένων να υπάρχουν ως άτομα να είναι κι αυτή ένας *τρόπος* (way) του είναι τους.

7.4 Η θεωρία υποστάσεων ως απάντηση στο αδιέξοδο των αναγωγιστικών θεωριών

Στις ενότητες που προηγήθηκαν αναφερθήκαμε σε υποψήφιες αρχές ατομικότητας, οι οποίες ως μεταφυσικά συστατικά των αντικειμένων θα μπορούσαν να δώσουν λύση στο πρόβλημα της ατομικότητας στο πλαίσιο των αναγωγιστικών θεωριών περί αντικειμένων, είτε της θεωρίας δέσμης είτε της θεωρίας υποστρώματος. Ο διάλογος που διεξάγεται γύρω από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε υποψήφιας αρχής δείχνει ότι η λύση του προβλήματος, για διαφορετικούς κάθε φορά λόγους, σκοντάφτει τελικά στην ιδέα ότι η αρχή ατομικότητας είναι συστατικό των αντικειμένων. Όμως παρά τις δυσκολίες η κάθε άποψη σταθμίζει μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα και προκρίνει με βάση γενικότερες φιλοσοφικές δεσμεύσεις μια λύση ως την πλέον ενδεδειγμένη. Αν όμως στην περίπτωση των μακροσκοπικών σωμάτων οι δυσκολίες που ανακύπτουν ίσως και να αντισταθμίζονται από τα πλεονεκτήματα που μετράει κάθε υποψήφια αρχή, στην περίπτωση των σωματιδίων του μικρόκοσμου η ιδέα ότι υπάρχει μια αρχή ατομικότητας ως συστατικό των αντικειμένων φαίνεται να αποτυγχάνει εντελώς. Αν δεχθούμε ότι η εξατομίκευση με τη μεταφυσική της σημασία είναι η σχέση του αντικειμένου με μια αρχή ατομικότητας, τότε η διττή συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων ή άλλως η ικανότητά τους να εξατομικεύονται μόνο υπό ορισμένες συνθήκες μας αναγκάζει να δεχθούμε επίσης ότι η σχέση εξατομίκευσης είναι ενδεχομενική ή ότι διαμορφώνεται μόνο όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν. Όμως η ιδέα για την ύπαρξη μιας αρχής ατομικότητας στηρίζεται στην ιδέα ότι η ατομικότητα είναι εγγενές χαρακτηριστικό των αντικειμένων, αυτό χάριν του οποίου τα αντικείμενα υπάρχουν ως άτομα και θα πρέπει να βρίσκεται εντός του αντικειμένου. Επιπλέον στο πλαίσιο μιας αναγωγιστικής θεωρίας περί αντικειμένων η κάθε αρχή ατομικότητας θα πρέπει να είναι ίδια για όλα τα αντικείμενα, κάθε αντικείμενο να έχει το δικό του γυμνό

³³⁶ Heil, J., (2003), p174

καθέκαστο ή τη δική του αυτότητα ή τις δικές του ξεχωριστές ιδιότητες. Υπό αυτούς όμως τους περιορισμούς η αρχή ατομικότητας δεν μπορεί να είναι ενδεχομενικό συστατικό που το αντικείμενο μπορεί να χάνει και να επανακτά ανάλογα με τις συνθήκες, ούτε και η σχέση της εξατομίκευσης μπορεί να είναι ενδεχομενική, να διαμορφώνεται δηλαδή μόνο στις κατάλληλες συνθήκες.

Απέναντι στις ιδέες αυτές η διττή συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων γίνεται ένα δισεπίλυτο πρόβλημα. Ας θυμηθούμε ότι τα σωματίδια στις συζευγμένες καταστάσεις δεν συμπεριφέρονται ως άτομα, όταν όμως αλληλεπιδρούν με τον μακρόκοσμο προκαλούν εξατομικευμένα συμβάντα που μας επιτρέπουν να ανασυγκροτήσουμε το ιστορικό της παρουσίας τους στο χώρο ως ξεχωριστά αντικείμενα. Ενόψει αυτής της πραγματικότητας η ιδέα περί της ύπαρξης μιας αρχής ατομικότητας ως συστατικό των αντικειμένων είναι αδύνατον να εξηγήσει γιατί το ίδιο και το αυτό αντικείμενο μπορεί να συμπεριφέρεται άλλοτε ως άτομο και άλλοτε ως οχι-άτομο, διότι τότε η αρχή ατομικότητας θα πρέπει να είναι ενδεχομενικό συστατικό των αντικειμένων και η σχέση εξατομίκευσης μια ενδεχομενική σχέση. Γι αυτό διλήμματα του τύπου: είτε τα κβαντικά σωματίδια είναι άτομα αλλά υπό ορισμένες συνθήκες η ατομικότητά τους δεν είναι δυνατόν να εκδηλωθεί, είτε δεν είναι άτομα παρόλο που μπορούν να προκαλούν εξατομικευμένα συμβάντα, δεν έχουν νόημα ενόσω η αρχή ατομικότητας εκλαμβάνεται ως μεταφυσικό συστατικό των αντικειμένων, ενόσω δηλαδή δεσμευόμαστε σε μια αναγωγιστική θεωρία περί αντικειμένων. Απέναντι στις αναγωγιστικές θεωρίες προβάλλει η ιδέα της οντολογικής προτεραιότητας των αντικειμένων, μια ιδέα παλιά που μας πηγαίνει πίσω σε κείμενα του Αριστοτέλη³³⁷ και γύρω από την οποία διαμορφώθηκαν θεωρίες περί αντικειμένων, οι οποίες χαρακτηρίζονται αριστοτελικές ή τουλάχιστον αριστοτελικής προέλευσης. Στη σύγχρονη βιβλιογραφία οι θεωρίες αυτές αναφέρονται ως *θεωρίες υποστάσεων* (substance theories) όπου ο όρος «substance» μεταφράζει τον αριστοτελικό όρο «ουσία».³³⁸

Σύμφωνα με την αριστοτελική μεταφυσική τα αντικείμενα ως *συγκεκριμένα καθέκαστα* (concrete particulars) ανήκουν στην κατηγορία των *πρώτων ουσιών*, τις οποίες ο φιλόσοφος αντιπαραθέτει τόσο με τις *δεύτερες ουσίες* όσο και με κάθε άλλη *κατηγορία*³³⁹ και λέει ότι οι

³³⁷ *Κατηγορίες*, κεφάλαιο V, *Μετά τα φυσικά* Z.1-3

³³⁸ Ο όρος *υπόσταση* (substance) χρησιμοποιείται γενικά για να εκφράσει την αριστοτελική ιδέα περί αντικειμένων ως *συγκεκριμένα καθέκαστα* (concrete particulars). Ωστόσο κάθε συγκεκριμένο καθέκαστο δεν θεωρείται υπόσταση/ουσία. Ο ίδιος ο Αριστοτέλης υπήρξε αρκετά φειδωλός σε σχέση με τα καθέκαστα που μπορούν να θεωρούνται υποστάσεις/ουσίες. Γράφει στο *Μετά τα Φυσικά* ότι μπορούμε να λέμε ότι ουσίες είναι οι ζωντανοί οργανισμοί (τά τε ζῷα καὶ τὰ φυτὰ) τα φυσικά σώματα και τα μέρη τους, η φωτιά, το νερό και η γη (οἷον πῦρ καὶ ὕδωρ καὶ γῆν), όπως και ο ουρανός και τα μέρη του (οἷον ὁ τε οὐρανὸς καὶ τὰ μέρη αὐτοῦ, ἄστρα καὶ σελήνη καὶ ἥλιος). Επισημαίνει όμως ότι είναι ερωτήματα προς διερεύνηση το εάν είναι πράγματι αυτές οι ουσίες κι αν είναι οι μόνες ουσίες ή αν υπάρχουν κι άλλες πέραν αυτών. [*Μετά τα φυσικά* Z, 2]

³³⁹ Στο έργο του *Κατηγορίες* ο Αριστοτέλης επιχειρεί να ταξινομήσει το σύνολο των εννοιών στις οποίες καταφεύγει ο ανθρώπινος νους προκειμένου να περιγράψει και να εξηγήσει τον κόσμο και τα φαινόμενα του. Θεωρεί ότι κάθε στοιχειώδης έννοια, όπως για παράδειγμα *το πράσινο χρώμα*, μπορεί να υπαχθεί σε μια ανώτερη πιο θεμελιώδη

πρώτες ουσίες «με την πιο κυριολεκτική, πρωταρχική και κατεξοχήν σημασία τους, είναι αυτές που ούτε αποδίδονται ως κατηγορούμενο σε κάποιο υποκείμενο, ούτε ενυπάρχουν σε κάποιο υποκείμενο».³⁴⁰ Δεύτερες ουσίες ονομάζει τόσο τα είδη, στα οποία υπάγονται οι πρώτες ουσίες, όσο και τα γένη, των οποίων τα είδη αποτελούν ειδικές περιπτώσεις. Έτσι για παράδειγμα ο Σωκράτης υπάγεται στο είδος «άνθρωπος» του οποίου το γένος είναι το «ζώο». Η υπαγωγή ενός αντικειμένου σε ένα ορισμένο είδος είναι το πρώτο στοιχείο της αριστοτελικής μεταφυσικής, το οποίο δείχνει την οντολογική προτεραιότητα των αντικειμένων έναντι των ιδιοτήτων του, διότι προβάλλεται από τον Αριστοτέλη ως η πρώτη ενέργεια του νου έναντι των αντικειμένων: όταν αντιμετωπίζουμε ένα αντικείμενο θέλουμε πρώτα να μάθουμε *τι είναι*, αν δηλαδή είναι άνθρωπος, άλογο ή πέτρα, και μόνο στη συνέχεια ενδιαφερόμαστε για το μέγεθος, την ποιότητα, τις συσχετίσεις του ή τις ικανότητές του να ενεργεί με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Πέραν τούτων όμως η οντολογική προτεραιότητα των αντικειμένων – ως πρώτες ουσίες, αναδεικνύεται στις σχέσεις εξάρτησης που όλες οι αριστοτελικές κατηγορίες έχουν με τις πρώτες ουσίες. «Αν δεν υπάρχουν οι πρώτες ουσίες...» λέει ο Αριστοτέλης, «...είναι αδύνατο να υπάρξει κάποιο από όλα τα άλλα αφού όλα τα άλλα ή αποδίδονται ως κατηγορούμενα σε αυτές ως σε υποκείμενα, ή ενυπάρχουν σε αυτές ως σε υποκείμενα».³⁴¹ Τα παραπάνω αποτελούν μια χονδροειδή σκιαγράφιση της αριστοτελικής μεταφυσικής, είναι όμως ενδεικτικά της οντολογικής προτεραιότητας που ο Αριστοτέλης δίνει στα αντικείμενα και μέσα σε αυτό το σχήμα η υπαγωγή των αντικειμένων σε κάποιο είδος ως η πρωταρχική ενέργεια του νου έναντι κάθε συγκεκριμένου αντικειμένου δείχνει ότι τα είδη (kinds) βρίσκονται στον πυρήνα της θεωρίας υποστάσεων.

7.4.1 Τα αντικείμενα υπάρχουν μόνο ως αντικείμενα κάποιου είδους

Ως οντολογική κατηγορία τα είδη είναι *καθόλου όντα* (universals) που τα αντικείμενα πραγματώνουν με το να υπάγονται σε αυτά και η υπαγωγή τους σε κάποιο είδος αποσκοπεί στη σύλληψη της ολιστικής συμπεριφοράς τους, διότι τα αντικείμενα συμπεριφέρονται πρωτίστως ως αντικείμενα κάποιου είδους και δευτερευόντως είναι ή γίνονται λευκά, στρογγυλά, θερμά ή μεγαλύτερα από.³⁴² Αν λοιπόν θέλουμε η γνώση μας για το αντικείμενο να τεθεί σε στέρη

έννοια για να καταλήξει σε δέκα θεμελιώδεις κατηγορίες (*Κατηγορίες*, κεφ. IV) μεταξύ των οποίων ή *ουσία* είναι η πιο σημαντική, διότι συνιστά το *είναι* του κάθε πράγματος, αυτό στο οποίο αναφέρονται όλες οι άλλες κατηγορίες, αυτό που αποτελεί το έσχατο υποκείμενο κατηγορήσεως.

³⁴⁰ Αριστοτέλους *Κατηγορία* (2α15) μετ. Καλλιγιάς Παύλος στο Κάλφας Β., (2015), *Φιλοσοφία του Αριστοτέλη*

³⁴¹ Στην παράγραφο 2α85 του *Κατηγοριών* όπου περιέχεται το προαναφερθέν απόσπασμα ο Αριστοτέλης εκφράζει επίσης τη διαφωνία του με την πλατωνική αντίληψη περί των καθόλου όντων. Για τον Αριστοτέλη η ύπαρξη των καθόλου, νοούμενα είτε ως είδη, ή γένη (δηλαδή ως δεύτερες ουσίες) είτε ως οντότητες που ενυπάρχουν στις πρώτες ουσίες εξαρτάται από την ύπαρξη πρώτων ουσιών. Για να υπάρχει ένα καθόλου ον πρέπει να υπάρχει μία τουλάχιστον πρώτη ουσία που να πραγματώνει το εν λόγω καθόλου.

³⁴² Τα είδη δεν προκύπτουν μέσα από μια ταξινομητική διαδικασία η οποία στηρίζεται στις ομοιότητες και στις διαφορές των αντικειμένων. Αν αυτό συνέβαινε τότε το κάθε είδος θα ανάγονταν σε ένα πλήθος ιδιοτήτων και κάθε

βάση, τότε κάθε αντικείμενο θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως αντικείμενο κάποιου είδους και να απορρίψουμε την ιδέα ότι το αντικείμενο είναι ένα σύμπλεγμα ιδιοτήτων που είτε είναι συμπαρούσες στο χώρο όπου βρίσκεται το αντικείμενο, είτε εμφυτεύονται σε κάποιο υπόστρωμα. Αν τα αντικείμενα είναι συμπλεγματικές οντότητες, τότε η γνώση μας για ένα αντικείμενο θα συνίσταται στη γνώση μόνο επιμέρους ιδιοτήτων όμως αυτού του είδους η γνώση είναι ανεπάρκεια και αποσπασματική: περιορίζεται σε προτάσεις του τύπου: «αυτό είναι λευκό» ή «αυτό είναι θερμόαιμο», «αυτό έχει ύψος ένα μέτρο», ή «αυτό ζυγίζει 400 κιλά» οι οποίες αφενός διατυπώνονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη, αφετέρου ποτέ δεν είναι αρκετές, ώστε να συνιστούν επαρκή γνώση για το αντικείμενο. Το ίδιο δεν ισχύει όταν οι ίδιες αυτές προτάσεις υπαχθούν στην πρόταση «αυτό είναι άλογο», η οποία προσδίδει σε όλες τις άλλες συνοχή, διότι αυτές πλέον αφορούν ένα συγκεκριμένο άλογο, το οποίο ανήκει στην κατηγορία των θερμόαιμων ζώων και συμβαίνει να είναι λευκό, να έχει ύψος ένα μέτρο και να ζυγίζει 400 κιλά. Εν τέλει η υπαγωγή ενός αντικειμένου σε ένα είδος προσθέτει στη γνώση μας πολύ περισσότερα από μια λίστα ιδιοτήτων που αποδίδονται σε αυτό, όσο μεγάλη και να είναι, και αποδεικνύει ότι κάθε αντικείμενο είναι κάτι πολύ περισσότερο από τις ιδιότητές του. Τα είδη αντιπροσωπεύουν ένα μη αναγώγιμο ενιαίο τρόπο ύπαρξης και η υπαγωγή ενός αντικειμένου σε ένα είδος σημαίνει εφ' ενός μεν ότι το αντικείμενο επιδεικνύει τον τρόπο ύπαρξης που αντιπροσωπεύει το είδος του, αφετέρου ότι το ίδιο το αντικείμενο είναι μη αναγώγιμη και ενιαία οντότητα. Από αυτή τη σκοπιά οι Loux και Crisp τονίζουν το λάθος όσων υποστηρίζουν τις αναγωγιστικές θεωρίες περί αντικειμένων λέγοντας ότι «η έννοια του αντικειμένου δεν κατασκευάζεται από υλικά εκ των προτέρων δεδομένα· αυτή η έννοια είναι δεδομένη από την αρχή του μεταφυσικού εγχειρήματος και σκοπός των οντολόγων είναι η εκλέπτυνσή της με τους δικούς της όρους»³⁴³. Όπως εξηγούν οι Loux και Crisp η έννοια του αντικειμένου δεν είναι γυμνή και δεν υπάρχουν «αντικείμενα» γενικά. Τα αντικείμενα υπάρχουν μόνο ως αντικείμενα κάποιου είδους και η έννοια του αντικειμένου ως *αντικείμενο-κάποιου-είδους* προηγείται των εννοιών που συλλαμβάνουν τα επιμέρους χαρακτηριστικά του γνωρίσματα. Έτσι στο ερώτημα «τι είναι αυτό;» ενδεδωγμένες απαντήσεις είναι οι απαντήσεις του τύπου «είναι ροδάκινο» ή «είναι ηλεκτρόνιο» και όχι «είναι ένα αντικείμενο, στρογγυλό, ροδακινί, γλυκό, ζουμερό, κ.λ.π.» ή «είναι ένα αντικείμενο με μάζα $1,9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, φορτίο $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$, ενέργεια $13,6 \text{ eV}$ κ.λ.π.».

Έτσι για τους υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων το είδος είναι ουσιώδες ή αναγκαίο γνώρισμα των αντικειμένων και κανένα αντικείμενο δεν υπάρχει αν δεν πραγματώνει κάποιο

αντικείμενο θα ανήκε σε ένα σύνολο όμοιων, ως προς τις ιδιότητες αυτές, αντικειμένων. Όμως τα είδη δεν είναι σύνολα όμοιων αντικειμένων. Και είναι σημαντικό να τονισθεί ότι δύο αντικείμενα δεν ανήκουν στο ίδιο είδος επειδή μοιράζονται κάποιες ιδιότητες. Συμβαίνει το αντίθετο, αντικείμενα του ίδιου είδους φέρουν ομοιότητες επειδή ακριβώς ανήκουν στο ίδιο είδος.

³⁴³ Loux J., M., - Crisp, M., T., (2017) p105

είδος. Οι Loux και Crisp αναφέρονται σε αυτή την αναγκαιότητα λέγοντας ότι «το είδος στο οποίο ανήκει ένα αντικείμενο μας παρέχει τις συνθήκες ύπαρξης του εν λόγω αντικειμένου»³⁴⁴, ενώ ο Lowe επισημαίνει τον αμφίδρομο χαρακτήρα της εν λόγω αναγκαιότητας λέγοντας ότι «οι έννοιες «άτομο»³⁴⁵ και «είδος» είναι οι δύο πλευρές του ίδιου εννοιολογικού νομίσματος: το ένα γίνεται αντιληπτό μόνο σε σχέση με το άλλο. Τα άτομα είναι κατ' ανάγκη άτομα ενός είδους και τα είδη είναι κατ' ανάγκη είδη *ατόμων*».³⁴⁶ Κατά συνέπεια αντικείμενα και είδη είναι δύο οντολογικές κατηγορίες αμοιβαία εξαρτώμενες: η ύπαρξη των ειδών ως καθόλου εξαρτάται από την ύπαρξη των αντικειμένων ως καθέκαστα και αντιστρόφως. Για τον λόγο αυτό ο Lowe τονίζει ότι ο ρεαλισμός σε σχέση με τα αντικείμενα, ήτοι η πεποίθηση ότι τα αντικείμενα υπάρχουν ανεξάρτητα του νου, συνεπάγεται τον ρεαλισμό σε σχέση με τα είδη. Σπεύδει όμως να διευκρινίσει ότι ο ρεαλισμός σε σχέση με τα είδη δεν εφαρμόζεται χωρίς επιφυλάξεις για κάθε γενική ταξινομητική έννοια (general sortal concept) και ότι *ίσως*³⁴⁷ μόνο τα φυσικά (natural) είδη να χρειάζεται πράγματι να αναγνωρισθούν ως πλήρως ανεξάρτητες-του-νου οντολογικές κατηγορίες.³⁴⁸

Τις επιφυλάξεις του Lowe δεν συμμερίζεται ο John Heil. Υποστηρίζει ότι στον βαθμό που δεχόμαστε ότι κάποια αντικείμενα, όπως για παράδειγμα τα τραπέζια, δεν υπάγονται σε κάποιο φυσικό είδος, τότε την ύπαρξή τους θα πρέπει να την εξηγήσουμε με όρους κάποιων υποκείμενων φυσικών ειδών, ας πούμε το είδος «ξύλο». Τότε όμως εγκλωβίζομαστε σε μια αναγωγιστική διαδικασία, η οποία ενέχει τον κίνδυνο ενός ακραίου εκφυλισμού γύρω από το τι υπάρχει, να καταλήξουμε δηλαδή στο συμπέρασμα του Eddington που λέει ότι ό,τι υπάρχει στο

³⁴⁴ Loux J., M., - Crisp, M., T., (2017) p107

³⁴⁵ Ο Lowe χρησιμοποιεί αδιάκριτα τους όρους «άτομο» (individual) και «αντικείμενο» (object) αρόσον θεωρεί ότι τα αντικείμενα είναι σε κάθε περίπτωση και άτομα.

³⁴⁶ Lowe, J., (2009), p4

³⁴⁷ Ο Lowe (2009) δηλώνει ότι ως προς αυτό το θέμα, παραμένει αγνωστικιστής παρόλο που μιλάει για τα τεχνικά είδη ως να ήταν πραγματικά. [Lowe, J., (2009), p5]. Αντίστοιχες επιφυλάξεις ωστόσο δεν εκφράζει πάντα. Ο Lowe (1994) ρητά αναφέρεται σε φυσικά και μη φυσικά είδη ως να ήταν πραγματικά και μάλιστα χαρακτηρίζει ως τυπικά παραδείγματα υποστάσεων αντικείμενα όπως ένα άλγο ή ένα ρολόι με τη διαφορά ότι το πρώτο είναι φυσική υπόσταση και το δεύτερο τεχνούργημα. [Lowe, E., J., (1994), p541].

³⁴⁸ Ο Brian Ellis χαράσσει τη διαχωριστική γραμμή μεταξύ φυσικών και μη φυσικών ειδών λέγοντας ότι φυσικά είδη είναι μόνο αυτά που υπόκεινται σε φυσικούς νόμους. Κάθε φυσικός νόμος αφορά αντικείμενα κάποιου φυσικού είδους και είναι αναγκαία αληθής για όλα τα αντικείμενα αυτού του είδους εφόσον θεμελιώνεται σε εγγενείς προδιαθέσεις και δυνάμεις που βρίσκονται στο πυρήνα της ύπαρξης των αντικειμένων που υπάγονται σε αυτά, αποτελούν δηλαδή μέρος της ουσίας τους. Οι προτάσεις «η περίοδος κυοφορίας ενός σκύλου είναι εννέα εβδομάδες», «το μεθάνιο αντιδρά με το οξυγόνο και παράγει θερμότητα», «το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση έχει ενέργεια -13,6eV» εκφράζουν φυσικούς νόμους και είναι αναγκαία αληθείς για τα φυσικά είδη που εμπλέκουν: «σκύλος», «μεθάνιο», «ηλεκτρόνιο». Ο Ellis τονίζει την αναγκαιότητα του δεσμού μεταξύ φυσικών ειδών και φυσικών νόμων λέγοντας ότι «δεν είναι ενδεχομενικό γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια απωθούνται μεταξύ τους ή ότι το υδρογόνο και το χλώριο ενώνονται για να σχηματίσουν υδροχλώριο. Δεν υπάρχει δυνατός κόσμος όπου αυτά δεν θα συνέβαιναν έτσι. Αν οι νόμοι του ηλεκτρισμού ήταν διαφορετικοί, τότε ο κόσμος δεν θα περιείχε ηλεκτρόνια. Αν ο κόσμος περιείχε υποστάσεις σαν το υδρογόνο και το χλώριο αλλά αυτά δεν μπορούσαν να ενωθούν και να σχηματίσουν υδροχλώριο, τότε αυτές οι υποστάσεις δεν θα ήταν υδρογόνο και χλώριο». [Ellis, B., (2001), p207]

κόσμο είναι στοιχειώδη σωματίδια και κενό.³⁴⁹ Ίσως όμως θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι ο τρόπος ύπαρξης αντικειμένων όπως τα τραπέζια, καθορίζεται από τον τρόπο κατασκευής τους, ο οποίος ακολουθεί ένα σχέδιο, δημιουργήμα της ανθρώπινης νόησης και προικίζει τα υπό κατασκευή αντικείμενα με όλες εκείνες τις ιδιότητες που είναι αναγκαίες για την εκπλήρωση ενός σκοπού και να ισχυρισθούμε ότι το σχέδιο, προς το οποίο οφείλει να συμμορφώνεται η κατασκευή ενός τραπεζιού, αντιπροσωπεύει ένα ενιαίο και μη αναγώγιμο τρόπο ύπαρξης, ο οποίος καθιστά το είδος «τραπέζι» ένα γνήσιο είδος αν και μη φυσικό.

7.4.2 Ουσιώδεις και ενδεχομενικές ιδιότητες

Βέβαια, κάθε αντικείμενο εκτός του ότι ανήκει σε κάποιο είδος, πραγματώνει και μια σειρά άλλων ιδιοτήτων που όμως δεν συνδέονται όλες με τον πυρήνα της ύπαρξής του, δηλαδή με την ουσία του. Ο Σωκράτης για παράδειγμα, ανήκει στο είδος «άνθρωπος» και χαρακτηρίζεται ως έλλογο όν, θερμόαιμος, σοφός, παχουλός, κ.λ.π. Όμως όλες οι ιδιότητές του δεν είναι οντολογικά ισοδύναμες. Ο Σωκράτης είναι κατά τρόπο *αναγκαίο* «έλλογο όν» και «θερμόαιμος» υπό την έννοια ότι δεν θα μπορούσε να ανήκει στο είδος «άνθρωπος» χωρίς να είναι «έλλογο όν» και «θερμόαιμος». Οι ιδιότητες αυτές είναι μέρος της ουσίας του και τις μοιράζεται με κάθε άλλο άνθρωπο, είναι με άλλα λόγια *ουσιώδεις* (essential) ιδιότητές του. Όμως την ίδια στιγμή ο Σωκράτης είναι σοφός και παχουλός, φέρει δηλαδή ιδιότητες που δεν τον χαρακτηρίζουν κατά τρόπο αναγκαίο. Θα μπορούσε να υπάρχει ως άνθρωπος χωρίς να φέρει τις εν λόγω ιδιότητες και άρα οι ιδιότητες αυτές είναι *ενδεχομενικές* (accidental). Θα πρέπει ωστόσο να γίνει σαφές ότι τα είδη δεν ανάγονται σε ένα πλήθος ουσιωδών ιδιοτήτων αν και οι ουσιώδεις ιδιότητες παρέχουν ένα κριτήριο για την υπαγωγή ενός αντικειμένου σε κάποιο είδος. Όλες ανεξαιρέτως οι ιδιότητες που έχει ένα αντικείμενο, ουσιώδεις και ενδεχομενικές, τις έχει λόγω του είδους στο οποίο ανήκει και όχι το αντίστροφο. Επιπλέον έχει σημασία να κρατήσουμε ότι το είδος θέτει περιορισμούς και στις ενδεχομενικές ιδιότητες που μπορεί να φέρει το αντικείμενο. Κάθε ιδιότητα δεν μπορεί να γίνει ιδιότητα ενός ανθρώπου. Κάθε συγκεκριμένος άνθρωπος, αν και είναι υλικό σώμα με μεταβλητή μάζα, δεν θα μπορούσε ποτέ να έχει μάζα $1,9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, όπως δεν θα μπορούσε να έχει σχήμα τετράγωνο αν και το σχήμα των ανθρώπων αλλάζει κατά τη διάρκεια της ζωής τους.

Στις αριστοτελικής προέλευσης θεωρίες περί αντικειμένων η διάκριση των ιδιοτήτων σε ουσιώδεις και ενδεχομενικές δεν είναι μια εκ των υστέρων προσθήκη. Είναι πρωταρχική και θεμελιώδης, διότι πηγάζει άμεσα από την αναγκαιότητα το κάθε αντικείμενο να υπάρχει ως αντικείμενο κάποιου είδους. Το ίδιο δεν ισχύει με τις αναγωγιστικές θεωρίες περί αντικειμένων.

³⁴⁹ Heil, J., (2003), p183-4

Η διάκριση μεταξύ ουσιωδών και ενδεχομενικών ιδιοτήτων δεν απορρέει από αυτές, δεν αποτελεί αναπόδραστη συνέπεια της δομής τους. Από τη μια μεριά οι θεωρητικοί της δέσμης ισχυρίζονται ότι ένα αντικείμενο δεν είναι τίποτε περισσότερο από μια δέσμη ιδιοτήτων και ότι οι ιδιότητες ως τα μόνα συστατικά των αντικειμένων είναι αυτές που καθορίζουν, στον ίδιο βαθμό η κάθε μια, αυτό που είναι το αντικείμενο. Υπό το πρίσμα αυτό όλες οι ιδιότητες αποτελούν μέρος της ουσίας του, είναι δηλαδή όλες ουσιώδεις. Από την άλλη μεριά οι θεωρητικοί του υποστρώματος ισχυρίζονται ότι οι ιδιότητες εμφυτεύονται σε ένα γυμνό καθέκαστο, το οποίο φέρεται ως το υποκείμενο των ιδιοτήτων, χωρίς το ίδιο να φέρει κανένα ποιοτικό γνώρισμα. Το γυμνό καθέκαστο είναι ουδέτερο έναντι όλων των ιδιοτήτων και καμία από τις ιδιότητες που φέρει δεν σχετίζεται με αυτό κατά τρόπο αναγκαίο. Συνεπώς καμία ιδιότητα δεν μπορεί να θεωρείται ουσιώδης κι όλες χαρακτηρίζουν το αντικείμενο ενδεχομενικά.³⁵⁰

Στο πλαίσιο όμως της θεωρίας υποστάσεων τα αντικείμενα υπάρχουν μόνο ως πραγματώσεις ενός είδους και το είδος είναι αυτό που καθορίζει για κάθε συγκεκριμένο αντικείμενο ποιες είναι οι ουσιώδεις ιδιότητές του και ποιες θα μπορούσαν να είναι οι ενδεχομενικές ιδιότητές του. Το είδος διαμορφώνει, με άλλα λόγια το πλαίσιο των δυνατοτήτων, εντός του οποίου το αντικείμενο μπορεί να αλλάζει και να περιέχεται από μια κατάσταση σε μια άλλη παραμένοντας πάντα όχι απλώς το ίδιο αντικείμενο, αλλά το ίδιο αντικείμενο του ίδιου είδους. Στο πλαίσιο αυτό η διάκριση των ιδιοτήτων σε ουσιώδεις και ενδεχομενικές είναι πρωταρχική και θεμελιώδης και υπό αυτό το πρίσμα οι ιδιότητες δεν μπορούν να θεωρούνται μεταφυσικά συστατικά που συμμετέχουν ισοδύναμα στη σύσταση των αντικειμένων. Οι ιδιότητες αποτυπώνουν τη συμπεριφορά του αντικειμένου, η οποία προδιαγράφεται από το είδος του και είναι προτιμότερο να τις κατανοούμε ως τους τρόπους (ways) του είναι του.

7.4.3 Η αριθμητική διαφορά των μη διακρίσιμων στο πλαίσιο της θεωρίας υποστάσεων

Σύμφωνα με τους υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων τα είδη αντιπροσωπεύουν ένα ενιαίο και μη αναγώγιμο τρόπο ύπαρξης³⁵¹ και τα αντικείμενα που ανήκουν σε ένα είδος

³⁵⁰ Οι Loux και Crisp αναφέρονται με τους όρους «ultraessentialists» (υπερουσιολογιστές!) και «antiessentialists» (αντιουσιολογιστές!) στους θεωρητικούς της θεωρίας δέσμης και υποστρώματος αντίστοιχα για να τονίσουν ότι οι δύο αυτές θεωρίες συνιστούν δύο ακραία αντίθετες αποκρίσεις προς τους «essentialists» (ουσιολογιστές) σύμφωνα με τους οποίους μόνο ένα μέρος των ιδιοτήτων που φέρει ένα αντικείμενο είναι ουσιώδεις. [Loux, M., - Crisp, T., (2017) p108]

³⁵¹ Σύμφωνα με τον Michael Loux το γεγονός ότι τα είδη δεν ανάγονται και δεν αναλύονται σε ένα σύνολο ιδιοτήτων αποτελεί και την καλύτερη απόδειξή της ύπαρξής τους. Συνεπώς στον βαθμό που κάθε προσπάθεια εξάλειψης των ειδών από τη βασική οντολογία, με το επιχείρημα ότι τα είδη δεν είναι τίποτα περισσότερο από ένα σύνολο ιδιοτήτων οι οποίες φέρονται από τα αντικείμενα, οδηγείται σε αποτυχία ενισχύεται η πεποίθησή μας ότι τα είδη είναι θεμελιώδεις οντότητες. Άλλωστε όπως λέει ο Loux, το βάρος της απόδειξης το φέρουν οι φιλόσοφοι οι οποίοι θεωρούν ότι τα είδη ανάγονται σε ιδιότητες και όχι οι αντίπαλοί τους. [Loux, M., (1978), pp162-3]

επιδεικνύουν τον τρόπο ύπαρξης που αντιπροσωπεύει το είδος τους. Υπό την έννοια αυτή το είδος προσδιορίζει το αντικείμενο ως *ένα και ενιαίο όλο*: η πραγμάτωση ενός είδους δεν νοείται ως ένας επιμέρους τρόπος του αντικειμένου, είναι το ίδιο το αντικείμενο.³⁵² Ως εκ τούτων πολλαπλές πραγματώσεις του ίδιου είδους οδηγούν στην ύπαρξη αντικειμένων, τα οποία έχουν ουσιώδεις ομοιότητες και *μόνο* ενδεχομενικές διαφορές. Αυτό όμως σημαίνει ότι δύο αντικείμενα θα μπορούσαν, έστω και για κάποιο χρονικό διάστημα, να είναι μη διακρίσιμα αρκεί να είναι αντικείμενα του ίδιου είδους και να συμβεί κατά το χρονικό διάστημα της μη διακρισιμότητάς τους να μην εμφανίζουν ενδεχομενικές διαφορές, να είναι δηλαδή όμοια ως προς όλες τις ενδεχομενικές ιδιότητές τους. Εντούτοις το ενδεχόμενο αυτό, το οποίο έχει βρεθεί στην κέντρο της αντιπαράθεσης μεταξύ των υποστηρικτών της θεωρίας δέσμης από τη μια και της θεωρίας υποστρώματος από την άλλη, δεν συνιστά πρόβλημα για τους υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων. Το κλειδί της λύσης βρίσκεται στο μεταφυσικό νόημα που οι σχέσεις *πραγμάτωσης* (instantiation) μεταξύ *καθόλου* (universals) και *καθέκαστων* (particulars) αποκτούν στο πλαίσιο της θεωρίας υποστάσεων. Οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων συμφωνούν άπαντες μεταξύ τους ως προς το νόημα που οι σχέσεις πραγμάτωσης αποκτούν στην περίπτωση που τα καθόλου είναι *είδη* (kinds) και συμφωνούν διότι το νόημα αυτό αποτελεί συστατικό στοιχείο της θεωρίας υποστάσεων σε κάθε εκδοχή της. Έτσι συμφωνούν ότι οι πολλαπλές πραγματώσεις ενός και του αυτού είδους σηματοδοτούν την ύπαρξη αριθμητικά διαφορετικών καθέκαστων, τα οποία μπορεί να είναι (ή να μην είναι) από κάθε άποψη όμοια μεταξύ τους.

Ωστόσο όλοι οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων δεν συμφωνούν ως προς το νόημα που οι σχέσεις πραγμάτωσης αποκτούν στην περίπτωση που τα καθόλου είναι *ιδιότητες* (properties). Ο Loux υποστηρίζει ότι ο ρεαλισμός σε σχέση με τις ιδιότητες μας δεσμεύει στην άποψη ότι «οι πραγματώσεις μιας δεδομένης ιδιότητας ταυτίζονται αριθμητικά, ότι το κόκκινο αυτής της μπάλας ταυτίζεται με το κόκκινο εκείνης της μπάλας».³⁵³ Ο Loux βλέπει μια ουσιαστική διαφορά ως προς το τι σηματοδοτούν οι πραγματώσεις των ειδών από τη μια μεριά και οι πραγματώσεις των ιδιοτήτων από την άλλη και αποδίδει αυτή τη διαφορά στο γεγονός ότι τα είδη και οι ιδιότητες είναι δύο διαφορετικές και αμοιβαία αποκλειόμενες κατηγορίες καθόλου όντων – οτιδήποτε είναι είδος δεν μπορεί να είναι ιδιότητα και αντίστροφα. Χάριν αυτής της διαφοράς η ύπαρξη αντικειμένων που είναι από κάθε άποψη μη διακρίσιμα, δηλαδή αντικειμένων που

³⁵² Loux, M. (1998) p121

³⁵³ Ο Loux απορρίπτει την αριστοτελική άποψη που θέλει οι πραγματώσεις των καθόλου να διαφέρουν αριθμητικά από καθέκαστο σε καθέκαστο. Θεωρεί ότι η άποψη αυτή ρέπει προς τον νομιναλισμό, διότι φαίνεται να παραβιάζει τις βασικές προϋποθέσεις πάνω στις οποίες στηρίζεται ο ρεαλισμός σε σχέση με τα καθόλου. Αν κάποιος, λέει ο Loux, απορρίπτει την ιδέα οι πραγματώσεις των καθόλου να ταυτίζονται αριθμητικά, απορρίπτει ουσιαστικά την ιδέα τα αντικείμενα να μπορούν κυριολεκτικά να μοιράζονται ή να έχουν από κοινού μία και την αυτή οντότητα χάριν της οποίας και ως προς την οποία εμφανίζονται όμοια. Η ρεαλιστική εξήγησή της ομοιότητας, κατά τον Loux, έγκειται ακριβώς στο γεγονός ότι το ίδιο και το αυτό καθόλου είναι *εξ ολοκλήρου παρόν* (wholly present) σε διαφορετικά καθέκαστα. [Loux, M. (1978) pp159-61]

πραγματώνουν τα ίδια ακριβώς καθόλου (είδος και ιδιότητες) δεν συνιστά πρόβλημα. Διότι παρόλο που τέτοια αντικείμενα πραγματώνουν τις ίδιες ιδιότητες και κυριολεκτικά ταυτίζονται ως προς αυτές, για τα ίδια αντικείμενα οι πραγματώσεις του ίδιου είδους σημαίνουν την αριθμητική τους διαφορά.³⁵⁴ Με τον τρόπο αυτό η θεωρία υποστάσεων δίνει λύση στο πρόβλημα της αριθμητικής διαφοράς των μη διακρίσιμων, η οποία και αποτελεί στοιχείο ατομικότητας. Πράγματι η θεωρία υποστάσεων ούτε δεσμεύεται, όπως η θεωρία δέσμης στη ρεαλιστική της εκδοχή, στην αλήθεια της ΑΤμΔ, ούτε χρειάζεται να καταφύγει, όπως η θεωρία υποστρώματος, σε μη ποιοτικές και μυστηριώδεις οντότητες για να εξηγήσει την αριθμητική διαφορά των μη διακρίσιμων. Το κοινό τους είδος εγγυάται ότι ακόμα κι αν δύο αντικείμενα ταυτίζονται ως προς όλες τις ιδιότητές τους θα παραμένουν αριθμητικά διαφορετικά αντικείμενα.³⁵⁵

Από τη μεριά του ο Jonathan Lowe υιοθετεί μια πιο γνήσια αριστοτελική προσέγγιση στις σχέσεις πραγμάτωσης μεταξύ καθόλου και καθέκαστων, παρόλο που κι αυτός αναγνωρίζει μια διαφορά στο νόημα των εν λόγω σχέσεων στην περίπτωση των ειδών και στην περίπτωση των ιδιοτήτων. Ο Lowe θεωρεί ότι οι πολλαπλές πραγματώσεις οποιουδήποτε καθόλου όντος, είτε πρόκειται για είδος, είτε για ιδιότητες σηματοδοτούν την ύπαρξη αριθμητικά διαφορετικών καθέκαστων· διαφορετικών αντικειμένων στην περίπτωση της πραγμάτωσης των ειδών και διαφορετικών καθέκαστων ιδιοτήτων ή τρόπων στην περίπτωση της πραγμάτωσης των ιδιοτήτων. Επιχειρεί έτσι την ανασύνθεση της αριστοτελικής οντολογίας των τεσσάρων κατηγοριών, η οποία προβλέπει δύο θεμελιώδεις τύπους *καθόλου* (universals) και δύο θεμελιώδεις τύπους *καθέκαστων* (particulars). Η λειτουργικότητα του οντολογικού αυτού σχήματος αναπαριστάνεται στο οντολογικό τετράγωνο της εικόνας 7.2. Οι δύο τύποι των καθόλου τοποθετούνται στις δύο πάνω κορυφές του τετραγώνου και είναι αριστερά τα είδη και δεξιά τα *ποιοτικά γνωρίσματα* (attributes) δηλαδή οι ιδιότητες και οι σχέσεις. Οι δύο τύποι των καθέκαστων τοποθετούνται στις δύο κάτω κορυφές του τετραγώνου και είναι αριστερά τα αντικείμενα και δεξιά οι καθέκαστες ιδιότητες και σχέσεις που αναφέρονται ως *τρόποι* (modes). Οι πλευρές του τετραγώνου αναπαριστάνουν τις μεταφυσικές σχέσεις που υφίστανται μεταξύ των τεσσάρων κατηγοριών και όπως αποτυπώνεται στην εικόνα 7.2 προβλέπονται δύο



Εικ.7.2 Το οντολογικό τετράγωνο

³⁵⁴ Loux, M., (1998) p122

³⁵⁵ Loux, M., (1978), p165-6

τύποι θεμελιωδών μεταφυσικών σχέσεων. Η σχέση της *πραγμάτωσης* (instantiation) μεταξύ των καθόλου και των καθέκαστων που βρίσκονται στις δύο κατακόρυφες πλευρές του τετραγώνου και η σχέση του *χαρακτηρίζειν* (characterization) τόσο μεταξύ των δύο τύπων καθόλου όσο και μεταξύ των δύο τύπων καθέκαστων.³⁵⁶

Ενδιαφέρον στοιχείο στη παραπάνω δομή είναι ότι οι ιδιότητες ενός αντικειμένου το χαρακτηρίζουν μάλλον, παρά πραγματώνονται από αυτό. Έτσι όταν επιχειρούμε να εξηγήσουμε από μεταφυσική σκοπιά την ύπαρξη ενός «κόκκινου μήλου» λέμε ότι το καθέκαστο μήλο πραγματώνει το είδος «μήλο» και χαρακτηρίζεται από ένα καθέκαστο κόκκινο, το οποίο με τη σειρά του είναι πραγμάτωση της καθόλου ιδιότητας «κόκκινο».³⁵⁷ Η σχέση του «χαρακτηρίζειν» υφίσταται επίσης και μεταξύ ειδών και των καθόλου ιδιοτήτων ή σχέσεων. Τα είδη *χαρακτηρίζονται* από ιδιότητες και σχέσεις με τρόπο που αντικατοπτρίζει τον χαρακτηρισμό των αντικειμένων από *τρόπους* (modes). Έτσι λέμε ότι το είδος μήλο χαρακτηρίζεται από ιδιότητες ή σχέσεις, των οποίων οι πραγματώσεις χαρακτηρίζουν ή είναι δυνατόν να χαρακτηρίζουν τις πραγματώσεις του εν λόγω είδους.

Ωστόσο οι διαφορές στον τρόπο με τον οποίο οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων ανταποκρίνονται στο δόγμα του ρεαλισμού, δεν επηρεάζουν την κοινή τους στάση σε ότι αφορά τον ρόλο των ειδών στην εξήγηση της αριθμητικής διαφοράς των αντικειμένων διακρίσιμων και μη. Όλοι οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων συμπεριλαμβάνουν στη βασική οντολογία τα *είδη* ως μια διακριτή κατηγορία καθόλου όντων, των οποίων οι πραγματώσεις εξ ορισμού διαφέρουν αριθμητικά. Στη βάση αυτού του αδιαπραγμάτευτου για τη θεωρία υποστάσεων δεδομένου οι απόψεις γύρω από τις θεμελιώδεις μεταφυσικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και των καθόλου, είτε αυτά είναι είδη, είτε είναι ιδιότητες ή σχέσεις συμμορφώνονται με το περιεχόμενο που ο κάθε φιλόσοφος αναγνωρίζει στο δόγμα του ρεαλισμού. Έτσι, αν θεωρούμε ότι οι πραγματώσεις των ιδιοτήτων από διαφορετικά καθέκαστα ταυτίζονται αριθμητικά, τότε τα αντικείμενα πρέπει να θεωρούνται ως πραγματώσεις, όχι μόνο των ειδών στα οποία ανήκουν, αλλά και των ιδιοτήτων που φέρουν, με αποτέλεσμα η πραγμάτωση να αποκτά διπλή σημασία. Αν όμως οι πραγματώσεις των ιδιοτήτων διαφέρουν αριθμητικά, τότε τα αντικείμενα δεν πραγματώνουν άμεσα τις ιδιότητές τους, αλλά χαρακτηρίζονται από τις πραγματώσεις των ιδιοτήτων τους.

Ίσως θα μπορούσε να σκεφτεί κάποιος ότι στο πλαίσιο της θεωρίας υποστάσεων η λύση στο πρόβλημα της αριθμητικής διαφοράς μη διακρίσιμων αντικειμένων δίνεται με κάποιον μαγικό τρόπο και ότι οι διαφορές που οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων βλέπουν στις μεταφυσικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και των καθόλου είτε αυτά είναι είδη, είτε είναι

³⁵⁶ Lowe, E., J., (2006), pp78-9

³⁵⁷ Lowe, E., J., (2006), pp91-2

ιδιότητες, είναι αβάσιμες. Ωστόσο πίσω από αυτή τη λύση βρίσκουμε τη θεμελιώδη για τη θεωρία υποστάσεων αρχή, από την οποία απορρέει και η θέση της οντολογικής προτεραιότητας των αντικειμένων έναντι των ιδιοτήτων τους και η οποία λέει ότι «τα αντικείμενα υπάρχουν μόνο ως αντικείμενα κάποιου είδους». Ο Loux καταφεύγει σε μια λεκτική μεταφορά για να εξηγήσει αυτό το γεγονός! Τα είδη, λέει, «είναι οντολογικοί «κόπτες μπισκότων» (“cookie cutters”). Τριγυρνάνε στο σύμπαν διαμελίζοντας το σε διακριτά καθέκαστα, τα οποία είναι οι πραγματώσεις τους. Κόβουν τον κόσμο σε άτομα ανθρώπινων υπάρξεων, σε άτομα σκύλων, σε άτομα δένδρων οξιάς και τα παρόμοια. Το αποτέλεσμα είναι ότι μας εφοδιάζουν με αρχές για την ταυτοποίηση, διάκριση και την αρίθμηση των αντικειμένων. Έτσι εμπλέκουμε το είδος σκύλος για να ταυτοποιήσουμε ένα συγκεκριμένο σκύλο, για να τον διακρίνουμε από άλλους σκύλους και για να μετρήσουμε σκύλους λέγοντας «ένας σκύλος, δύο σκύλοι, ...» και όταν κάνουμε αυτά τα πράγματα, απλώς μιλάμε για τον τρόπο με τον οποίο τα είδη έχουν διαμελίσει τον κόσμο στις πραγματώσεις τους»³⁵⁸

Ο κόσμος αποτελείται από υποστάσεις και οι υποστάσεις είναι πραγματώσεις των ειδών που υπάρχουν στον κόσμο. Η πραγμάτωση κάθε είδους είναι μια ολοκληρωμένη ύπαρξη και για δύο ή περισσότερα αντικείμενα που συμφωνούν ως προς το είδος διαφέρουν αριθμητικά χάριν αυτού και μόνο του γεγονότος.

7.4.4 Τα αντικείμενα αριθμούνται και εξατομικεύονται μόνο ως αντικείμενα κάποιου είδους

Σύμφωνα με την θεωρία υποστάσεων τα αντικείμενα όχι μόνο υπάγονται κατ' ανάγκη σε κάποιο είδος αλλά και εξατομικεύονται κατά είδος. Για να αριθμούμε αντικείμενα και να εφαρμόζουμε κριτήρια ταυτότητας σε αντικείμενα πρέπει να τα αναγνωρίζουμε ως αντικείμενα κάποιου είδους. Ως προς αυτό είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι για τη θεωρία υποστάσεων ο ρεαλισμός σε σχέση με τα αντικείμενα είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τον ρεαλισμό σε σχέση με τα είδη. Ο Lowe τονίζει ότι τα καθέκαστα δεν μπορούν καν να ληφθούν μέσω της εμπειρίας παρά μόνο ως καθέκαστα κάποιου είδους. Για να έχουμε, λέει, την εμπειρία ενός αντικειμένου δεν αρκεί μόνο να *αντιληφθούμε* (perceive) την ύπαρξή του, θα πρέπει επίσης να είμαστε σε θέση να το σκεφτούμε ως ένα συγκεκριμένο καθέκαστο, όμως αυτό απαιτεί να το σκεφτούμε ως ένα συγκεκριμένο καθέκαστο κάποιου είδους.³⁵⁹ Υπό το φως αυτής της θεώρησης η αναγνώριση των αντικειμένων ως αντικείμενα κάποιου είδους είναι αποφασιστικής σημασίας τόσο για την επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας αρίθμησης όσο και για την επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων ταυτότητας.

Όπως έχουμε αναφέρει ήδη στην εισαγωγή αυτής της εργασίας, η αρίθμηση είναι μια διαδικασία, η οποία πάντα στοχεύει σε αντικείμενα ορισμένου είδους και μόνο όταν

³⁵⁸ Loux, M., (1998), p123

³⁵⁹ Lowe, E., J., (2009) p16

εξειδικεύεται το είδος των αντικειμένων, που πρόκειται να αριθμηθούν, είναι δυνατόν να ξεκινήσει η διαδικασία της αρίθμησης και να καταλήξει σε ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Τα ερωτήματα «πόσες τράπουλες υπάρχουν πάνω στο τραπέζι;» και «πόσα τραπουλόχαρτα υπάρχουν πάνω στο τραπέζι;» απαντώνται μέσα από διαφορετικές διαδικασίες αρίθμησης και καταλήγουν σε διαφορετικούς αριθμούς. Η διαφορά οφείλεται στις διαφορετικές οντότητες, στις οποίες αποδίδουμε τον αριθμό *ένα*: όταν καθορισθεί το είδος των αντικειμένων που θα συμπεριλάβουμε στη διαδικασία αρίθμησης ο αριθμός *ένα* αποδίδεται σε οτιδήποτε αποτελεί *μία* πραγμάτωση αυτού του είδους. Έτσι στην πρώτη περίπτωση αυτό που θεωρούμε *ένα* είναι η *μία* πραγμάτωση του είδους «τράπουλα», ενώ στη δεύτερη ως *ένα* θεωρούμε τη *μία* πραγμάτωση του είδους «τραπουλόχαρτο».³⁶⁰ Οι απαντήσεις στα αντίστοιχα ερωτήματα θα μπορούσαν να ήταν για παράδειγμα «δύο» και «104» όμως το γεγονός αυτό δεν συνιστά κάποιου είδους ασυνέπεια ούτε υπονοεί ότι ο αριθμός που αποδίδουμε στα πράγματα δεν χαρακτηρίζει τα ίδια τα πράγματα αλλά εξαρτάται από τα ενδιαφέροντά μας. Το διαφορετικό αποτέλεσμα της διαδικασίας αρίθμησης οφείλεται στο γεγονός ότι οι τράπουλες και τα τραπουλόχαρτα είναι διαφορετικά είδη αντικειμένων και δεν θα μπορούσε κάτι να ανήκει την ίδια στιγμή στο είδος «τράπουλα» και στο είδος «τραπουλόχαρτο».³⁶¹

Πέραν όμως της αρίθμησης το είδος εμπλέκεται και στην εφαρμογή κριτηρίων ταυτότητας, με βάση τα οποία ελέγχουμε την αλήθεια προτάσεων του τύπου «το *a* ταυτίζεται με το *b*» όπου τα *a* και *b* είναι αντικείμενα.³⁶² Για τους υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων οι προτάσεις

³⁶⁰ Lowe, E., J., (2009) p46

³⁶¹ Ο Lowe απαντά στην ένσταση του Frege την οποία ο φιλόσοφος στρέφει ενάντια στην άποψη του Locke που θέλει ο αριθμός να αποτελεί ιδιότητα των πραγμάτων προκειμένου να υποστηρίξει τη δική του άποψη που λέει ότι ο αριθμός είναι ένας ισχυρισμός γύρω από μια κλάση εννοιών. Η ένσταση του Frege αποτυπώνεται σε διάφορα αποσπάσματα της μονογραφίας του *The Foundation of Arithmetic* τα οποία παραθέτει ο Lowe όπως για παράδειγμα το απόσπασμα που λέει ότι «δύναμαι να σκεφτώ την Ιλιάδα ως ένα ποίημα ή ως 24 βιβλία ή ως ένα μεγάλο αριθμό στίχων». Ο Frege, λέει ότι δεν μπορούμε να δεχθούμε ότι οι αριθμοί είναι ιδιότητες των πραγμάτων, διότι σε ορισμένες περιπτώσεις καταλήγουμε να αποδίδουμε στο ίδιο αντικείμενο διαφορετικούς αριθμούς. Ωστόσο για τον Lowe το γεγονός ότι διαφορετικές διαδικασίες αρίθμησης οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα δεν αποτελεί συνέπεια της άποψης του Locke, που ο ίδιος συμμερίζεται, ότι ο αριθμός αποδίδεται στα πράγματα. Άλλωστε ο ίδιος ο Frege, επισημαίνει ο Lowe, αναγνωρίζει ότι *οτιδήποτε* θα μπορούσε να είναι την ίδια στιγμή *ένα* πράγμα ή *περισσότερα* πράγματα (ένα ποίημα ή 24 βιβλία). Απέναντι σε αυτή την υποτιθέμενη ασυνέπεια ο Lowe προβάλλει τον ισχυρισμό ότι στην περίπτωση της Ιλιάδας το *ένα ποίημα* δεν μπορεί να *ταυτίζεται* (be identified) με *24 βιβλία* αν και θα μπορούσε κάποιος να πει ότι *αποτελείται* (consist) από αυτά. [Lowe, E., J., (2009), pp45-6]

³⁶² Η πρόταση αφορά τις εμφανίσεις δύο αντικειμένων, των *a* και *b* οι οποίες είτε απέχουν χρονικά (διαχρονική ταυτότητα), είτε γίνονται αντιληπτές από διαφορετικούς παρατηρητές την ίδια χρονική στιγμή (συγχρονική ταυτότητα). Στην περίπτωση που οι εμφανίσεις των *a* και *b* απέχουν χρονικά είναι φανερό ότι η ταυτότητά τους δεν θα μπορούσε να κριθεί με βάση και μόνο τις ιδιότητές τους. Είναι απολύτως θεμιτό το *a* το οποίο παρατηρούμε τη χρονική στιγμή *t*₁ να ταυτίζεται με το *b* που παρατηρούμε τη χρονική στιγμή *t*₂ παρόλο που τα *a* και *b* διαφέρουν ως προς τις ιδιότητές τους. Δεν μπορούμε να αποκλείσουμε ότι το *a* μέσα στο χρονικό διάστημα από *t*₁ έως *t*₂ έχει υποστεί ποιοτικές αλλαγές παραμένοντας το ίδιο αντικείμενο που ταυτίζεται με το *b* που παρατηρούμε τη χρονική στιγμή *t*₂. Ωστόσο στην περίπτωση που οι εμφανίσεις των *a* και *b* είναι εμφανίσεις που γίνονται αντιληπτές από διαφορετικούς παρατηρητές, η ταυτότητα των *a* και *b* θα μπορούσε να κριθεί με βάση τις ιδιότητές τους αν σε αυτές συμπεριλάβουμε και την ιδιότητα της θέσης. Οι διαφορετικοί παρατηρητές ισοδυναμούν με διαφορετικά συστήματα αναφοράς και είναι κατ' αρχάς δυνατόν οι ιδιότητες του *a* ως προς το σύστημα αναφοράς του ενός παρατηρητή να

ταυτότητας είναι δυνατόν να κριθούν ως αληθείς ή ψευδείς, αν και μόνο αν συμβαίνει τα a και b να ανήκουν στο ίδιο είδος E , με αποτέλεσμα το ερώτημα περί της ταυτότητας ή της διαφοράς αντικειμένων να εμπλέκει κατ' ανάγκη το κοινό τους είδος. Ειδικότερα ο David Wiggins λέει ότι όταν κάποιος δηλώνει ότι αυτό που τρέχει, ας πούμε το a , είναι το ίδιο με αυτό που είναι άσπρο, ας πούμε το b , η δήλωση του δεν μπορεί να είναι αληθής εκτός κι αν πληρούνται δύο τουλάχιστον προϋποθέσεις. Η πρώτη επιβάλλει το a να είναι του *ίδιου είδους*, έστω E , με το b και η δεύτερη επιβάλλει το εν λόγω είδος E να σχετίζεται με μια συνθήκη (ή ένα κριτήριο ταυτότητας), μέσω της οποίας αντικείμενα που ανήκουν στο είδος E (είναι ας πούμε άλογα) να μπορούν να εντοπίζονται, να παρακολουθούνται και να επαναταυτοποιούνται ως ένα και το αυτό. Στις δύο αυτές προϋποθέσεις συμπυκνώνεται η θέση που ο Wiggins ονομάζει "Thesis of the sortal Dependency of individuation"³⁶³ και που εμείς διατυπώνουμε με τη μορφή της δήλωσης «τα αντικείμενα εξατομικεύονται κατά είδος». Σύμφωνα με τη θέση αυτή τα ερωτήματα περί της ταυτότητας ή της διαφοράς των a και b έχουν νόημα αν και μόνο αν τα a και b αναφέρονται σε αντικείμενα του ίδιου είδους E , διότι τότε και μόνο τότε είναι δυνατή η εφαρμογή ενός κριτηρίου ταυτότητας, αυτού που συνδέεται με το είδος E , με βάση το οποίο κρίνουμε αν το a είναι το ίδιο E με το b .

Έτσι ένα κριτήριο ταυτότητας λαμβάνει τη μορφή: «Αν a και b είναι E s, τότε το a ταυτίζεται με το b αν και μόνο αν τα a και b ικανοποιούν τη συνθήκη C_E »³⁶⁴ όπου το περιεχόμενο της συνθήκης C_E υπό την οποία είναι δυνατόν να κριθεί η ταυτότητα των a και b του είδους E είναι αποτέλεσμα εμπειρικής αναζήτησης, αυτής η οποία διενεργείται όταν κάποιος κοιτάζοντας ένα αντικείμενο για πρώτη φορά, κρατάει επαφή μ' αυτό και μαθαίνει εν ευθέτω χρόνο πώς να το αναγνωρίζει όταν το ξανασυναντά. Η υπαγωγή σε ένα ορισμένο είδος και η εφαρμογή της σχετικής συνθήκης ταυτότητας είναι από μεθοδολογική σκοπιά τα δύο αναγκαία βήματα που εγγυώνται στον μέγιστο δυνατό βαθμό την αξιοπιστία των κρίσεων ταυτότητας. Το να αναγνωρίζουμε ότι το αντικείμενο a ανήκει στο είδος E είναι η πρώτη και αναγκαία γνώση που απαιτείται για την εφαρμογή ενός κριτηρίου ταυτότητας· είναι η γνώση που δίνει νόημα στην ερώτηση «είναι το b το ίδιο E με το a ;», εφόσον μόνο όταν διαπιστώνουμε ότι το αντικείμενο b που παρατηρούμε *τώρα* είναι επίσης του είδους E έχει νόημα να διερευνήσουμε αν το b ταυτίζεται ή όχι με το a που παρατηρούσαμε σε κάποιο παρελθόντα χρόνο. Όχι μόνο διότι το είδος E , στο οποίο ανήκει το αντικείμενο a , καθορίζει τις δυνατές εμφανίσεις του a , αλλά επιπλέον διότι υπονοεί τη *φύση* του αντικειμένου με την αριστοτελική σημασία του όρου, αυτή η οποία καθορίζει τον τρόπο

μετασχηματιστούν στις ιδιότητες του a ως προς το σύστημα αναφοράς του άλλου παρατηρητή γεγονός που επιτρέπει και στους δύο παρατηρητές να κρίνουν την ταυτότητα ή τη διαφορά των a και b .

³⁶³ Wiggins, D., (2001), p22

³⁶⁴ Lowe, E., J., (2009) p16

υπαρξης και θέτει τα όρια, εντός των οποίων το αντικείμενο a αναπτύσσεται και αλλάζει, έτσι ώστε ακόμα κι αν το a βρεθεί εκτός του αντιληπτικού μας πεδίου να μπορούμε να εικάζουμε τις αλλαγές που δύναται να υποστεί και να ψάχνουμε σημάδια αυτών των αλλαγών, που θα βεβαιώνουν ότι το αντικείμενο b του είδους E που βρίσκεται μπροστά μας είναι πράγματι το αντικείμενο a .³⁶⁵

Στη θεωρία υποστάσεων η μεταφυσική θέση της εξατομίκευσης αντλεί τη δικαιολόγησή της από τον τρόπο με τον οποίο ως νοήμονα όντα προσπαθούμε να γνωρίσουμε τον κόσμο. Ο Αριστοτέλης πίστευε ότι η γνώση μας γύρω από το *τι* και *πώς* υπάρχει, ή η γνώση μας περί του *όντος*, αποκτάται δια της επαγωγικής μεθόδου³⁶⁶, μέσω της οποίας ο άνθρωπος ως σκεφτόμενη ουσία αποκτά μια καθολική αντίληψη για τα όμοια πράγματα μεταβαίνοντας από το ειδικό στο γενικό. Ως νοητική διεργασία η επαγωγή είναι η ικανότητά του νου να προσδίδει στα δεδομένα των αισθήσεων το στάτους της εμπειρίας, την οποία ο Αριστοτέλης χαρακτηρίζει ως «την ολότητα του καθόλου που ακινητοποιείται μέσα στην ψυχή – το ένα σε σχέση με τα πολλά, δηλαδή αυτό που ίδιο ενυπάρχει μέσα σε όλα εκείνα τα πολλά»³⁶⁷. Η επαγωγή είναι με άλλα λόγια η μέθοδος, μέσω της οποίας ο νους συλλαμβάνει το *καθόλου* (universal): συλλαμβάνει για παράδειγμα το καθόλου «άλογο», παρατηρώντας πολλά επιμέρους αλόγα, μελετώντας τη συμπεριφορά τους, καταφεύγοντας σε προϋπάρχουσες κοινές αντιλήψεις, στην πείρα του κοινού νου, προκειμένου να γνωρίσει σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος τη φύση του κάθε αλόγου, δηλαδή του αλόγου ως καθόλου ον ή ως δευτερεύουσα ουσία.

Μέσω αυτής της ίδιας διαδικασίας μαθαίνουμε, όχι μόνο να αναγνωρίζουμε τα αντικείμενα που συναντάμε ως αντικείμενα κάποιου είδους, αλλά και να εξειδικεύουμε τις συνθήκες υπό τις οποίες αντικείμενα ορισμένου είδους είναι δυνατόν να ταυτίζονται. Γι αυτό οι συνθήκες ταυτότητας δεν είναι κοινές για όλα τα αντικείμενα. Δεν θα μπορούσαμε να βρούμε μια γενική συνθήκη ταυτότητας, διότι δεν υπάρχει μια τέτοια ενιαία συνθήκη να ανακαλυφθεί και ότι αυτό που καθοδηγεί τις προσπάθειές μας στο να κατανοήσουμε τον κόσμο, να ανιχνεύουμε αντικείμενα και να ανακατασκευάζουμε αυτό που συμβαίνει έξω από το οπτικό μας πεδίο, είναι μια αδρή και διαθέσιμη αλλά αναπτυσσόμενη αντίληψη γύρω από το τι είναι ένας «άνθρωπος», ένα «μήλο», ένα «δένδρο» ή ένα «άλογο». Όταν ρωτάμε αν το a είναι το ίδιο με το b θα πρέπει να είμαστε ήδη έτοιμοι να ρωτήσουμε τι είναι το a και τι είναι το b , όμως παρά τις υπάρχουσες

³⁶⁵ Wiggings, D., (2001), p57

³⁶⁶ Ο Αριστοτέλης στα *Αναλυτικά Υστερα* διερευνώντας τον τρόπο με τον οποίο γνωρίζουμε τις πρώτες αρχές (τάς πρώτας ἀρχάς), αφού υποστηρίζει ότι «οὐτ' ἔχειν οἶόν τε, οὐτ' ἀγνοοῦσι καὶ μηδεμίαν ἔχουσιν ἔξιν ἐγγίγνεσθαι.» (τις ἔξεις [μέσω των οποίων γνωρίζουμε τις πρώτες αρχές] δεν είναι δυνατόν ούτε να τις κατέχουμε ούτε να τις αποκτούμε ενώ τις αγνοούσαμε), καταλήγει στο συμπέρασμα ότι «δῆλον δὴ ὅτι μὲν τὰ πρῶτα ἐπαγωγῇ γνωρίζειν ἀναγκαῖον· καὶ γὰρ ἡ αἴσθησις οὕτω τὸ καθόλου ἐμποιεῖ.» (κατ' ἀνάγκη γνωρίζουμε τις πρώτες αρχές δια της επαγωγής διότι η αίσθηση με τον τρόπο αυτό δημιουργεί το καθόλου μέσα μας). [Κάλφας, Β., (2015), σελ.130-2].

³⁶⁷ «ἐκ παντὸς ἡρεμήσαντος τοῦ καθόλου ἐν τῇ ψυχῇ, τοῦ ἐνὸς παρὰ τὰ πολλά, ὃ ἂν ἐν ἅπασιν ἐν ἐνῇ ἐκείνοις τὸ αὐτό» Αριστοτέλης, *Αναλυτικά υστερα*, Β.19, 100a, 10

αναλογίες και τις πιθανές δομικές ομοιότητες οι φύσεις των πραγμάτων είναι πολλές και ποικίλες και ως εκ τούτου πολλές και ποικίλες θα είναι επίσης και οι αντίστοιχες συνθήκες ταυτότητας.³⁶⁸

Θα μπορούσε βέβαια κάποιος να αντιτείνει ότι η εξάρτηση κάθε κριτηρίου ταυτότητας από το είδος των αντικειμένων στα οποία εφαρμόζεται, δεν είναι αναγκαία συνθήκη των κρίσεων ταυτότητας. Από μεταφυσική σκοπιά το a ως άτομο (individual) καθ' όλη τη διάρκεια της ύπαρξής του ακολουθεί μια συγκεκριμένη συνεχή χωροχρονική διαδρομή, με αποτέλεσμα η επαναταυτοποίησή του να είναι δυνατή για οποιονδήποτε καταφέρει να παρακολουθεί τη διαχρονική παρουσία του a , χωρίς να χρειασθεί οποιαδήποτε αναφορά στο είδος στο οποίο ανήκει το a . Υπό αυτή την θεώρηση τα κριτήρια ταυτότητας διατυπώνονται απλά και μόνο ως ευρετικά εργαλεία με σκοπό να διευκολύνουν το έργο της επαναταυτοποίησης του a διότι πράγματι από πρακτική σκοπιά η σύνδεση του a με το είδος του καθιστά ευκολότερη την ταύτισή του (ή τη μη ταύτισή του) με το b αν και το b είναι του ίδιου είδους.

Ωστόσο η προσέγγιση αυτή δεν αποδίδει τη μεταφυσική σημασία που οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων δίνουν σε ό,τι ονομάζουν συνθήκη ή κριτήριο ταυτότητας. Ο Lowe εμφατικά επισημαίνει ότι τα κριτήρια ταυτότητας δεν είναι ευρετικά εργαλεία, μέσω των οποίων μπορούμε να διαπιστώσουμε αν μια πρόταση ταυτότητας είναι αληθής ή ψευδής. Είναι μια αρχή, η οποία μας λέει σε τι συνίσταται η ταυτότητα ή η διαφορά αντικειμένων ορισμένου είδους, που καθορίζει, με άλλα λόγια, τις συνθήκες αλήθειας και όχι τις συνθήκες επιβεβαίωσης της πρότασης «το a είναι το ίδιο E με το b ». Ας επαναλάβουμε ότι η υπαγωγή ενός αντικειμένου σε ένα ορισμένο είδος δεν συνιστά απλώς μια διαδικασία ταξινόμησης. Το είδος, στο οποίο υπάγεται ένα αντικείμενο, αντιπροσωπεύει την ίδια την ουσία του και οριοθετεί τον τύπο και την ένταση των μεταβολών, που μπορεί να υποστεί το κάθε αντικείμενο, ώστε να παραμένει ένα και το αυτό. Με άλλα λόγια το είδος καθορίζει όχι μόνο το τι είναι ένα αντικείμενο a , καθορίζει επίσης και τις συνθήκες υπό τις οποίες το a διατηρεί την ταυτότητά του στο χρόνο, δηλαδή τις συνθήκες υπό τις οποίες υπάρχει η δυνατότητα να κρίνουμε αν ταυτίζεται ή όχι με το b . Υπό αυτήν την έννοια οι προτάσεις που συγκροτούν το κριτήριο ταυτότητας ενός είδους E είναι συγκροτητικό στοιχείο του νοήματος που φέρει ο ταξινομητικός όρος « E » και το ερώτημα «είναι το a το ίδιο E με το b ;» είναι διατυπωμένο με νόημα, εφόσον τα a και b διέπονται από το ίδιο κριτήριο ταυτότητας.³⁶⁹

³⁶⁸ Wiggings, D., (2012) pp8-9

³⁶⁹ Θα ήταν ίσως αναμενόμενο να υποστηρίξει κάποιος ότι διαφορετικά είδη έχουν σε κάθε περίπτωση διαφορετικά κριτήρια ταυτότητας. Όμως ένας τέτοιος ισχυρισμός κατά τον Lowe είναι πολύ ισχυρός. Ο ίδιος έχει υποστηρίξει ότι κοινά κριτήρια ταυτότητας μοιράζονται τα αντικείμενα όχι μόνο του ίδιου είδους αλλά και την ίδια οντολογικής κατηγορίας. Ένας σκύλος και μια γάτα έχουν κοινά κριτήρια ταυτότητας, διότι ανήκουν στην ίδια οντολογική κατηγορία, είναι και τα δύο θηλαστικά! Βέβαια τα δύο είδη ζώων ίσως να διέπονται από διαφορετικές

Το παράδειγμα που φέρνει ο Lowe, για να δείξει την εξάρτηση του περιεχομένου ενός κριτηρίου ταυτότητας από το νόημα του είδους στο οποίο εφαρμόζεται, είναι τα *σύνολα* (sets) τα οποία αντιπαραθέτει με τα *διατεταγμένα σύνολα* (order sets). Η κλασική συνολοθεωρία Zermelo–Fraenkel καθορίζει με σαφήνεια το κριτήριο ταυτότητας των συνόλων, διατεταγμένων και μη:

- (1) «αν τα a και b είναι σύνολα τότε το a ταυτίζεται με το b αν και μόνο αν έχουν τα ίδια μέλη»
- (2) «αν τα a και b είναι διατεταγμένα σύνολα τότε το a ταυτίζεται με το b αν και μόνο αν έχουν τα ίδια μέλη στην ίδια διάταξη»

Σύμφωνα με το κριτήριο (1) τα σύνολα $\{1, 3, 5\}$ και $\{3, 5, 1\}$ ταυτίζονται, διότι περιέχουν ακριβώς τα ίδια μέλη. Όμως σύμφωνα με το κριτήριο (2) τα διατεταγμένα σύνολα $[1, 3, 5]$ και $[3, 5, 1]$ είναι διαφορετικά, διότι αν και περιέχουν τα ίδια μέλη διαφέρουν ως προς τη διάταξη των μελών τους. Σύνολα και διατεταγμένα σύνολα είναι αφηρημένα αντικείμενα που ανήκουν σε διαφορετικά είδη παρά το γεγονός ότι η έννοια «μέλος» και η σχέση του «ανήκειν» είναι από κοινού συγκροτητικά στοιχεία του νοήματος των αντίστοιχων ταξινομητικών όρων. Η διαφορά του νοήματος έγκειται στο γεγονός ότι η έννοια «διάταξη» είναι συγκροτητικό στοιχείο του νοήματος κάθε διατεταγμένου συνόλου, η ίδια όμως έννοια δεν συμπεριλαμβάνεται στο νόημα ενός συνόλου. Η διαφορά είναι ουσιώδης και αντανακλάται στο περιεχόμενο των αντίστοιχων κριτηρίων ταυτότητας. Η ταυτότητα ενός διατεταγμένου συνόλου εξαρτάται από τη διάταξη των μελών του όχι όμως και η ταυτότητα ενός συνόλου. Έτσι το ερώτημα της ταυτότητας των a και b δεν έχει νόημα να τεθεί αν το a είναι σύνολο και το b είναι διατεταγμένο σύνολο.³⁷⁰

Ο Lowe χαρακτηρίζει τα κριτήρια ταυτότητας ως *μεταφυσικά θεμελιωμένους μεταφυσικούς κανόνες* (metaphysically grounded semantic rules) διότι όπως επισημαίνει, όταν συλλαμβάνουμε το κριτήριο ταυτότητας που συνδέεται με ένα δεδομένο είδος αντικειμένων, τότε συλλαμβάνουμε πλήρως όχι μόνο το *νόημα* του αντίστοιχου ταξινομητικού όρου, αλλά και τη *φύση* των ίδιων των αντικειμένων, τα οποία υπάγονται στο εν λόγω είδος.

Τα προαναφερθέντα σκιαγραφούν τον τρόπο με τον οποίο οι υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων (τουλάχιστον κάποιοι από αυτούς), αποκρίνονται στο ζήτημα της ατομικότητας. Η αριθμησιμότητα και τα κριτήρια ταυτότητας είναι οι δύο προϋποθέσεις ώστε ένα αντικείμενο να υπάρχει ως άτομο, εφόσον η μεν αριθμησιμότητα διασφαλίζει τη *μοναδικότητα* (singularity) των αντικειμένων, τα δε κριτήρια ταυτότητας μας επιτρέπουν να ξεχωρίζουμε το ίδιο κάθε φορά

συνθήκες αντοχής, πράγμα που σημαίνει ότι επιβιώνουν ως αντικείμενα του ίδιου είδους κάτω από διαφορετικές συνθήκες το καθένα. Όμως οι συνθήκες αντοχής καθορίζονται από τους φυσικούς νόμους και δεν πρέπει να συγχέονται με τα κριτήρια ταυτότητας τα οποία εκφράζουν μάλλον τη μεταφυσική δυνατότητα το ίδιο αντικείμενο να εξακολουθεί να υπάρχει αλλά ως αντικείμενο διαφορετικού είδους. Αυτό όμως που δεν υπάρχει ούτε καν ως μεταφυσική δυνατότητα είναι ένα αντικείμενο ενός είδους μετά από μια μεταμόρφωση να εξακολουθεί να υπάρχει ως αντικείμενο ενός άλλου είδους το οποίο διέπεται από διαφορετικά κριτήρια ταυτότητας [Lowe, J., (2009, p17)]. Ωστόσο ακόμα και στην περίπτωση αυτή η γενική ιδέα παραμένει: δεν υπάρχουν καθολικής ισχύος κριτήρια ταυτότητας.

³⁷⁰ Lowe, E., J., (2009), pp19-21

αντικείμενο κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Ο ρόλος του είδους στην εκπλήρωση των δύο παραπάνω προϋποθέσεων είναι «πρωταγωνιστικός». Κάθε αντικείμενο είναι ένα επειδή συνιστά μία πραγμάτωση ενός είδους, ενώ από το είδος εξαρτάται το περιεχόμενο του κριτηρίου ταυτότητας που το διέπει. Έτσι και οι δύο προϋποθέσεις ικανοποιούνται χάριν της βασικής προκείμενης της θεωρίας υποστάσεων, η οποία λέει ότι δεν υπάρχουν γενικά αντικείμενα, υπάρχουν μόνο αντικείμενα κάποιου είδους. Για τους υποστηρικτές της θεωρίας υποστάσεων τα αντικείμενα τα αναγνωρίζουμε, τα χειριζόμαστε και τα σκεφτόμαστε πάντα ως αντικείμενα κάποιου είδους. Είναι αδύνατο να συλλάβουμε τη *γυμνή ιδέα* ενός αντικειμένου ή την ιδέα ενός *γυμνού αντικειμένου* και στη συνέχεια να το προικίσουμε με κάποια χαρακτηριστικά ή με έναν τρόπο συμπεριφοράς.³⁷¹ Αυτό συμβαίνει ακόμα και στην περίπτωση που βρισκόμαστε μπροστά σε ένα άγνωστο αντικείμενο, διότι από την πρώτη στιγμή αποκτούμε μια ιδέα, έστω και ασαφή, για το *τι είναι* το αντικείμενο που βλέπουμε ή αγγίζουμε, για το *ότι είναι*, για παράδειγμα, ένας ζωντανός οργανισμός, ένα υλικό αντικείμενο, φυσικό ή τεχνητό. Η ιδέα ότι στη φύση υπάρχουν *γυμνά καθέκαστα* (bare particulars), δηλαδή η ιδέα ότι υπάρχει κάτι που να είναι καθέκαστο άνευ ετέρου, είναι μια εντελώς ψεύτικη και παράλογη ιδέα.³⁷²

³⁷¹ Wiggins, D., (2012) p9

³⁷² Lowe, E., J., (2009) p14

8

Επίλογος

Η Καθολικότητα της Έννοιας του Αντικείμενου

Αν είναι τα κβαντικά σωματίδια να θεωρούνται αντικείμενα, τότε πρέπει να είναι μεταφυσικά δυνατό κάτι που είναι αντικείμενο να μην είναι την ίδια στιγμή και άτομο. Ο Simon Saunders, «πατέρας» της «εναλλακτικής» άποψης, δέχεται ότι αυτή η δυνατότητα υπάρχει και μιλώντας για τα αντικείμενα στο πλαίσιο μιας φυσικής θεωρίας επισημαίνει το διαφορετικό νόημα των εννοιών «αντικείμενο» και «άτομο» λέγοντας ότι:

«Θεωρώ «άτομο» ένα αντικείμενο το οποίο (i) εμμένει με κάποιο τρόπο στο χρόνο και (ii) μπορεί με μοναδικό τρόπο να ταυτοποιείται για όσο χρόνο εμμένει. Θεωρώ «αντικείμενο» οτιδήποτε μπορεί να βρίσκεται στη θέση του κατηγορούμενου, τυπικά την τιμή μια δεσμευμένης μεταβλητής»³⁷³.

Συνεπώς για να είναι κάτι αντικείμενο αρκεί να υπάρχει ως ενιαία οντότητα ώστε να γίνεται υποκείμενο κατηγορήσεως, να φέρει δηλαδή ιδιότητες. Για να είναι όμως κάτι άτομο χρειάζεται κάτι περισσότερο. Χρειάζεται να υπάρχει με τρόπο ώστε η ταυτοποίηση και η επαναταυτοποίησή του να είναι δυνατή για όσο χρόνο είναι άτομο. Με βάση αυτή τη διάκριση το ερώτημα που πρωτίστως ενδιαφέρει τον Saunders και τους υποστηρικτές της «εναλλακτικής» άποψης είναι αν τα κβαντικά σωματίδια είναι καταρχήν αντικείμενα. Για τη διερεύνηση του ερωτήματος θέτουν ως θεμελιώδη μεταφυσική και συνάμα μεθοδολογική αρχή την ΑΤμΔ και ισχυρίζονται ότι για να είναι κάτι αντικείμενο θα πρέπει κάθε φορά που γίνεται μέρος ενός συστήματος η αριθμητική του διαφορά από κάθε άλλο μέρος του συστήματος να θεμελιώνεται σε μια ποιοτική διαφορά. Κατόπιν τούτου αποφαίνονται ότι όλα τα κβαντικά σωματίδια εκτός των στοιχειωδών μποζονίων είναι αντικείμενα, τα μεν φερμιόνια διότι είναι ασθενώς διακρίσιμα, τα δε σύνθετα μποζόνια διότι αποτελούνται από διακρίσιμα μέρη. Ωστόσο το φαινόμενο της μη διαχωρισιμότητας των κβαντικών καταστάσεων δείχνει ότι σωματίδιά τους δεν βρίσκονται σε ξεχωριστές καταστάσεις και πέρα των εγγενών δεν φέρουν άλλες ιδιότητες. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να δεχθούμε ότι η σχέση που επικαλούνται οι υποστηρικτές της εναλλακτικής άποψης δεν περιγράφει μια υφιστάμενη κατάσταση και θα πρέπει να την κατανοούμε ως σχέση μεταξύ πειραματικών αποτελεσμάτων και όχι μεταξύ σωματιδίων. Καταλήγουμε έτσι στο συμπέρασμα ότι η αριθμητική διαφορά των κβαντικών σωματιδίων δεν μπορεί να θεμελιωθεί στην ΑΤμΔ, διότι τα κβαντικά σωματίδια στις συζευγμένες καταστάσεις είναι πράγματι μη διακρίσιμα.

Το ερώτημα των υποστηρικτών της εναλλακτικής άποψης ετέθη και στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, στο οποίο επιχειρήσαμε να στοιχειοθετήσουμε μια απάντηση, που λέει ότι

³⁷³ Saunders, S., (2015), p165

όλα τα κβαντικά σωματίδια, είτε είναι φερμιόνια είτε είναι μποζόνια, μπορούν να θεωρούνται *αντικείμενα* και *δυνάμει άτομα*. Είναι αντικείμενα, διότι υπάρχουν πάντα ως αριθμήσιμες οντότητες, οι οποίες φέρουν ιδιότητες και είναι δυνάμει άτομα, διότι για κάθε είδος κβαντικού σωματιδίου υπάρχουν συνθήκες υπό τις οποίες αποκτούν καθορισμένη ταυτότητα και η ταυτοποίησή τους γίνεται δυνατή.

Θεωρούμε ότι η ύπαρξη συνθηκών ταυτότητας είναι μεταφυσικά αναγκαία για να είναι κάτι αντικείμενο ακόμα κι αν τύχει να μην βρεθεί ποτέ σε συνθήκες ταυτότητας ώστε να υπάρξει ως άτομο. Τούτο διότι η ύπαρξη συνθηκών ταυτότητας είναι ικανή αλλά και αναγκαία συνθήκη ώστε κάθε αντικείμενο να είναι γνώσιμο ακόμα κι αν παραμένει άγνωστο σε μας. Η θεώρηση αυτή υποδηλώνει ίσως έναν υπέρμετρο βαθμό αισιοδοξίας ότι ως νέες μπορούμε να γνωρίσουμε οτιδήποτε υπάρχει στον κόσμο, διότι αποκλείει το ενδεχόμενο να υπάρχουν οντότητες στο χρόνο και στο χώρο, οι οποίες θα παραμένουν οριστικά άγνωστες. Ακόμα κι έτσι όμως, ένα είναι βέβαιο, οι οντότητες, που γνωρίζουμε ότι υπάρχουν στο κόσμο, είναι αυτές για τις οποίες υπάρχουν συνθήκες ταυτότητας, δηλαδή συνθήκες υπό τις οποίες ως νέες μπορούμε να τις περιγράψουμε και να διατυπώνουμε πειραματικά ελέγξιμες προτάσεις ταυτότητας γι αυτές. Τα ηλεκτρόνια ανακαλύφθηκαν όταν παρατηρήθηκαν ηλεκτρόνια, όταν δηλαδή τα ηλεκτρόνια βρέθηκαν σε συνθήκες που ήταν συνθήκες ταυτότητας γι αυτά και στις συνθήκες αυτές καθορίστηκαν οι εγγενείς ιδιοτητές τους και ετέθη το πλαίσιο των δυνατών καταστάσεών τους.

Αν δεχθούμε ότι τα κβαντικά σωματίδια είναι αντικείμενα και δυνάμει άτομα, τότε το ερώτημα: «είναι τα κβαντικά σωματίδια άτομα;» που πραγματεύτηκαν οι υποστηρικτές της «κυρίαρχης» άποψης δεν έχει νόημα. Στην πραγματικότητα κάθε απάντηση στο εν λόγω ερώτημα έρχεται σε αντίθεση με την πειραματικά τεκμηριωμένη διττή φύση των κβαντικών σωματιδίων· τα κβαντικά σωματίδια εκδηλώνουν τόσο σωματιδιακή όσο και κυματική συμπεριφορά ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Με δεδομένη τη διττή φύση των κβαντικών σωματιδίων το δίλημμα «άτομα;» ή «οχι-άτομα» δεν υφίσταται και το ερώτημα που μένει να διερευνηθεί είναι αν υπάρχει μια μεταφυσική θεωρία περί αντικειμένων, η οποία να αφήνει περιθώρια, ώστε ένα αντικείμενο να μην υπάρχει πάντα ως άτομο. Θεωρούμε ότι η θεωρία υποστάσεων φαίνεται πως αφήνει αυτά τα περιθώρια, διότι στο πλαίσιο αυτής της θεωρίας η αριθμησιμότητα και η ατομικότητα, αν και έχουν μια κοινή μεταφυσική εξήγηση, είναι δύο έννοιες ξεχωριστές, οι οποίες εφαρμόζονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη.

8.1 Η έννοια του αντικειμένου στις κβαντικές θεωρίες και η γενίκευσή της

Το βέβαιο είναι ότι τα κβαντικά σωματίδια διαφέρουν από ό,τι έχουμε συνηθίσει να χαρακτηρίζουμε αντικείμενα. Οι διαφορές είναι και υπαρκτές και ουσιώδεις, γεγονός που οδηγεί

σε εναλλακτικές ερμηνείες των κβαντικών θεωριών, σύμφωνα με τις οποίες τα κβαντικά σωματίδια είναι κβάντα ενέργειας, τα οποία εμφανίζονται και παρατηρούνται ως τρόποι διέγερσης των υποκείμενων κβαντικών πεδίων, τα οποία θα πρέπει να θεωρούνται θεμελιώδεις οντότητες. Οι υποστηρικτές τέτοιων ερμηνειών επικαλούνται ως επί το πλείστον την Κβαντική Θεωρία Πεδίων-ΚΘΠ και την υπεροχή της³⁷⁴ έναντι της κβαντικής μηχανικής, η οποία είναι μια κατά βάση σωματιδιακή θεωρία. Ωστόσο θεωρούμε ότι ο φορμαλισμός της ΚΘΠ δεν προκρίνει κάποια από τις δύο ερμηνείες. Η ΚΘΠ επιτρέπει το χειρισμό τόσο των σωματιδίων όσο και των πεδίων μέσα σε ένα ομοιόμορφο θεωρητικό πλαίσιο όμως το γεγονός αυτό δεν σημαίνει ότι τα πάντα είναι πεδία ή ότι η ΚΘΠ δεν επιδέχεται μια σωματιδιακή ερμηνεία. Τουναντίον στο πλαίσιο της ΚΘΠ συντελείται μια μορφή σύνθεσης των εννοιών του πεδίου και του σωματιδίου, μέσω της οποίας μπορούμε να κατανοήσουμε τον σωματιδιακό κόσμο που βλέπουμε, παρόλο που είναι μια θεωρία πεδίων.³⁷⁵ Η ερμηνεία της ΚΘΠ με όρους «κβάντων» εκφράζει αυτήν ακριβώς τη σύνθεση και αφορά εξίσου τα σωματίδια από τα οποία αποτελείται η ύλη και τα σωματίδια των αλληλεπιδράσεων. Οι κλασικά νοούμενες έννοιες «σωματίδιο» και «κύμα» δεν συλλαμβάνουν αυτό που συμβαίνει στον υποατομικό κόσμο και ως εκ τούτου δεν υφίστανται ως έννοιες οποιασδήποτε κβαντικής θεωρίας. Τα στοιχεία αυτής της σύνθεσης γίνονται ευδιάκριτα αν παρακολουθήσουμε τη διαδικασία της κανονικής (πρώτης) κβάντωσης, μέσω της οποίας κλασικές θεωρίες μετατρέπονται σε κβαντικές (Παράρτημα Δ).

Η κανονική κβάντωση, παρά το γεγονός ότι είναι μια ευρετική κατά βάση μέθοδος, η οποία υποδεικνύει ένα τρόπο μετάβασης από μια κλασική σε μια κβαντική θεωρία, υποστηρίζει ορισμένα οντολογικά συμπεράσματα. Ας ξεκινήσουμε με τη διαπίστωση ότι η κανονική κβάντωση ενός κλασικού συστήματος σωματιδίων είναι το πρώτο βήμα της σύνθεσης των εννοιών «σωματίδιο» και «κύμα» που συντελείται στο πλαίσιο των κβαντικών θεωριών. Συγκεκριμένα διαπιστώνουμε ότι η κανονική κβάντωση οδηγεί σε μια κυματική εξίσωση δηλαδή στην εξίσωση ενός πεδίου! Στην περίπτωση ενός σωματιδίου που κινείται μέσα σε ένα πεδίο δυνάμεων η κβάντωση της χαμιλτονιανής του οδηγεί στην εξίσωση του Schrödinger, η οποία κατανέμει πιθανότητες σε *κάθε* σημείο του χώρου, δηλαδή μας πληροφορεί για την πιθανότητα το σωματίδιο να εντοπισθεί σε ένα ορισμένο σημείο μέσα από μια μέτρηση. Η κβάντωση έχει ως αποτέλεσμα την «αλλοίωση» της κλασικής έννοιας «σωματίδιο». Η κβαντική

³⁷⁴ Η κβαντική μηχανική πραγματεύεται γενικά συστήματα με καθορισμένο πλήθος σωματιδίων. Για πρακτικούς όμως λόγους η κβαντική θεωρία πεδίων είναι προτιμότερη και σε αυτή την περίπτωση όταν πραγματευόμαστε συστήματα με μεγάλο πλήθος σωματιδίων. Ωστόσο η μετάβαση από την κβαντική μηχανική στην κβαντική θεωρία πεδίων είναι αναγκαία για την περιγραφή των πεδίων, πχ του ηλεκτρομαγνητικού, με μη αριθμήσιμο πλήθος βαθμών ελευθερίας (έναν για κάθε σημείο του χώρου) και για την περιγραφή συστημάτων με μεταβλητό αριθμό σωματιδίων τα οποία ανακύπτουν μέσα από τις διαδικασίες σκάδασης του μικρόκοσμου κατά τις οποίες σωματίδια καταστρέφονται και δημιουργούνται.

³⁷⁵ Huggett, N., (2005), σελ.268,275

μηχανική περιγράφει τα σωματίδια ως κύματα πιθανότητας παρόλο που συνήθως αναφερόμαστε σε αυτή ως μια σωματιδιακή θεωρία.

Από την άλλη μεριά η κβάντωση ενός κλασικού πεδίου προσδίδει σε αυτήν την οντότητα σωματιδιακά χαρακτηριστικά. Ο Michael Redhead³⁷⁶ συνοψίζει τη διαδικασία της κανονικής κβάντωσης ενός κλασικού πεδίου λέγοντας ότι ξεκινάμε με ένα κλασικό πεδίο και μετά την κβάντωσή του φτάνουμε σε μια θεωρία, η οποία στη σωματιδιακή της αναπαράσταση μοιάζει ακριβώς με μια θεωρία (μη αλληλεπιδρώντων) σωματιδίων. Επιπλέον εξηγεί γιατί όλες οι σχετικιστικές θεωρίες πεδίου μπορούν κάλλιστα να διαμορφώνονται με τρόπο ώστε να θεωρούνται σωματιδιακές. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι το κβαντικό πεδίο είναι μια συλλογή σωματιδίων με την κλασική έννοια του όρου «σωματίδια». Τα κβαντικά σωματίδια δεν συμπεριφέρονται όπως τα μόρια και τα άτομα της ύλης. Ο Redhead εντοπίζει τη διαφορά στην απουσία εγγενούς ατομικότητας, επισημαίνοντας ότι τα σωματίδια της κβαντικής φυσικής δεν μπορούν να είναι οντότητες με *υπερβατική ατομικότητα* (transcendental individuality)³⁷⁷, δηλαδή οντότητες των οποίων η εξατομίκευση με τη μεταφυσική της σημασία υφίσταται οποιαδήποτε χρονική στιγμή και σε οποιοδήποτε συνθήκες. Η σωματιδιακή αναπαράσταση της κβαντικής θεωρίας πεδίων σημαίνει ότι η διαμόρφωση ενός κβαντικού πεδίου επιδέχεται σωματιδιακή ερμηνεία, σύμφωνα με την οποία οι κβαντικές καταστάσεις (όπως κι αν αυτές ορίζονται) αφορούν αριθμήσιμες και μη διακρίσιμες οντότητες, οι οποίες καταστρέφονται και δημιουργούνται μέσω κβαντικών αλληλεπιδράσεων και τις οποίες μπορούμε να παρατηρήσουμε την κάθε μία ξεχωριστά μέσω ενός κατάλληλα σχεδιασμένου πειράματος. Υπό αυτή την έννοια τα κβαντικά σωματίδια δεν είναι απλά και μόνο κύματα, είναι, λέει ο Redhead «*κβαντικά πεδία – εφήμερες οντότητες με ένα σωματιδιακό μείδισμα*»³⁷⁸.

Είναι προφανές ότι η κλασική έννοια «σωματίδιο» δεν βρίσκει εφαρμογή στον υποατομικό κόσμο και ότι καμία κβαντική θεωρία δεν επιδέχεται σωματιδιακή ερμηνεία αν με τον όρο «σωματίδιο» εννοούμε μια οντότητα που κάθε χρονική στιγμή και έξω από την προοπτική οποιασδήποτε μέτρησης βρίσκεται σε μια ορισμένη θέση και έχει μια ορισμένη ορμή. Παρόλα αυτά εξακολουθούμε να μιλάμε για τα «σωματίδια» του υποατομικού κόσμου και προκειμένου να τονίσουμε την ασυνήθιστη συμπεριφορά τους διευκρινίζουμε ότι μιλάμε για «κβαντικά σωματίδια» ή «κβάντα». Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό δεν είναι κάποιου τύπου προκατάληψη. Κυρίως συμβαίνει διότι η κλασική έννοια «σωματίδιο» συλλαμβάνει ορισμένα

³⁷⁶ Redhead, M., (1982), pp 65, 73, 88-90

³⁷⁷ Με τον όρο *υπερβατική ατομικότητα* (transcendental individuality) ο Redhead αναφέρεται στην ατομικότητα η οποία επιτυγχάνεται χάριν ενός μεταφυσικού παράγοντα, ήτοι μιας αρχής ατομικότητας, που ορίζεται πέρα και έξω από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της οντότητας που εξατομικεύει. [Redhead, M., (1982), p 59]. Στο πλαίσιο μιας αναγωγιστικής θεωρίας περί αντικειμένων ως υπερβατική ατομικότητα μπορεί να θεωρείται είτε το *υπόστρωμα* της θεωρίας υποστρώματος, είτε η *πρωταρχική αυτότητα* της θεωρίας δέσμης.

³⁷⁸ Redhead, M., (1982), p 89

χαρακτηριστικά των «κβαντικών σωματιδίων», τα οποία είναι ουσιώδη για την έννοια «αντικείμενο» και αποτελούν τουλάχιστον αναγκαία συνθήκη για να είναι κάτι αντικείμενο. Συγκεκριμένα τα κβαντικά σωματίδια *ανιχνεύονται* ως αριθμήσιμες οντότητες και ως φορείς ιδιοτήτων. Η ανίχνευσή τους είναι μια διαδικασία εξατομίκευσης (με την επιστημική της σημασία), η οποία συντελείται σε ειδικές κάθε φορά συνθήκες, υπό τις οποίες παρατηρούμε ένα πλήθος οντοτήτων να φέρουν ιδιότητες, εκ των οποίων κάποιες είναι σταθερές και μόνιμες, δηλαδή ιδιότητες που φέρουν τα αντικείμενα ανεξάρτητα από την κατάστασή τους, η οποία συμβαίνει να αλλάζει σύμφωνα με τους νόμους και τα αξιώματα της θεωρίας που τα πραγματεύεται. Τα κβαντικά σωματίδια φέρουν επίσης δυναμικές ιδιότητες, οι οποίες μεταβάλλονται καθώς μεταβάλλονται οι καταστάσεις τους: η μεταβολή των καταστάσεων αποτυπώνεται στις μεταβολές των δυναμικών ιδιοτήτων που τις χαρακτηρίζουν.

Βέβαια η απόδοση δυναμικών ιδιοτήτων δεν ακολουθεί τους ίδιους κανόνες σε κλασική και κβαντική φυσική. Όμως παρά τις διαφορές οι έννοιες του αντικειμένου σε κλασική και κβαντική φυσική δεν είναι ασύμβατες μεταξύ τους. Θεωρούμε μάλιστα ότι η έννοια του αντικειμένου στο πλαίσιο της κβαντικής φυσικής ενσωματώνει μια αλλαγή προς την κατεύθυνση της γενίκευσης ανάλογη με αυτήν που συμβαίνει κατά τη μετάβαση από τις κλασικές στις κβαντικές θεωρίες. Αναφερόμενος σε αυτήν τη μετάβαση ο Huggett λέει ότι «η κανονική κβάντωση δεν αποτελεί μοναδικό τρόπο για να κατανοήσουμε τη σχέση μεταξύ κλασικών και κβαντικών θεωριών. Τείνει μάλιστα να επισκιάσει την αλήθεια, διότι υπονοεί ότι βρίσκουμε τόσο τις κλασικές όσο και τις κβαντικές εκδοχές μιας θεωρίας στη φύση, ενώ μία πιο σωστή εικόνα είναι ότι οι διάφορες κλασικές θεωρίες υπάρχουν ως κατάλληλα όρια σε μια υποκείμενη κβαντική πραγματικότητα».³⁷⁹ Στη βάση αυτής της θεώρησης και κατ' αναλογία, θα λέγαμε ότι στη φύση δεν υπάρχουν κλασικά και κβαντικά αντικείμενα. Ένα τέτοιος διαχωρισμός εγείρει σκεπτικισμό σε σχέση με την ύπαρξη των κβαντικών αντικειμένων. Το σωστό είναι να λέμε ότι *η κλασική έννοια του αντικειμένου υπάρχει και εφαρμόζεται στη φύση ως κατάλληλο όριο της γενικευμένης έννοιας «αντικείμενο» όπως αυτή διαμορφώνεται στη βάση της υποκείμενης κβαντικής πραγματικότητας*.

Στη βάση λοιπόν της υποκείμενης κβαντικής πραγματικότητας μια γενικευμένη έννοια «αντικείμενο» θα εφαρμόζεται *σε αριθμήσιμες οντότητες που φέρουν ιδιότητες και για τις οποίες υπάρχουν πάντα συνθήκες, υπό τις οποίες εξατομικεύονται, γίνονται δηλαδή αντικείμενα αντίληψης, σκέψης και γλωσσικής αναφοράς*. Οι φυσικές αυτές συνθήκες είτε δημιουργούνται μέσα από κατάλληλες πειραματικές διατάξεις είτε είναι οι επικρατούσες φυσικές συνθήκες. Η κλασική έννοια του αντικειμένου ως κατάλληλο όριο της γενικευμένης έννοιας «αντικείμενο» εφαρμόζεται σε κείνη την κατηγορία των αντικειμένων, για τα οποία συμβαίνει οι επικρατούσες

³⁷⁹ Huggett, N., (2005), p 262

συνθήκες να είναι και συνθήκες εξατομίκευσής τους. Έχει λοιπόν σημασία να εξετάσουμε αν και πώς οι κβαντικές θεωρίες περιέχουν αυτό το όριο, πέραν του οποίου η κβαντική περιγραφή γίνεται κλασική.

8.2 Το κλασικό όριο της κβαντικής φυσικής

Είναι δυνατόν σε κάποιες οριακές περιπτώσεις μέσα από τη κβαντική μηχανική να αναδυθεί μια εικόνα κλασικών σωματιδίων. Ως ενδεικτικό στοιχείο αυτής της δυνατότητας οι Dieks και Lubberdink³⁸⁰ αναφέρουν το θεώρημα Ehrenfest, σύμφωνα με το οποίο, όταν ένα σωματίδιο μάζας m κινείται μέσα σε ένα δυναμικό πεδίο $V(r)$, τότε η αναμενόμενη τιμή του τελεστή της δύναμης του πεδίου $F(r) = -\nabla V(r)$ σχετίζεται με την αναμενόμενη τιμή του τελεστή της θέσης με τη σχέση: $\langle F(r) \rangle = m \frac{d^2}{dt^2} \langle r \rangle$. Σε κάποιες όμως ειδικές περιπτώσεις³⁸¹ συμβαίνει

$$\langle F(r) \rangle = F(\langle r \rangle) \text{ και τότε το θεώρημα παίρνει τη μορφή } F(\langle r \rangle) = m \frac{d^2}{dt^2} \langle r \rangle \quad (8.1) \text{ και μας}$$

παραπέμπει στον κλασικό νόμο της κίνησης (2^ο νόμο του Νεύτωνα). Στις περιπτώσεις αυτές κι αν επιπλέον συμβαίνει η κυματοσυνάρτηση του συστήματος να περιορίζεται σε μια αρκετά στενή χωρική περιοχή ώστε οι διακυμάνσεις της δύναμης του πεδίου να είναι μικρές, μπορούμε να θεωρούμε ότι με τη μορφή (8.1) το θεώρημα του Ehrenfest περιγράφει την κίνηση μιας κατά προσέγγιση καλά-εντοπισμένης μονοσωματιδιακής κβαντικής κατάστασης, η οποία ακολουθεί μια κατά προσέγγιση κλασική τροχιά. Γενικά υπάρχει μια σχετική ομοφωνία ως προς το γεγονός ότι τα κλασικά σωματίδια αναδύονται από την κβαντική μηχανική ως στενά εντοπισμένες κυματοσυναρτήσεις, οι οποίες με πολύ καλή προσέγγιση ακολουθούν κλασικές σωματιδιακές διαδρομές. Στο κλασικό όριο της κβαντικής μηχανικής η κυματοσυνάρτηση μιας μονοσωματιδιακής κβαντικής κατάστασης περιορίζεται σε μια μικρή χωρική περιοχή και τότε η πιθανότητα ένας ανιχνευτής σωματιδίων να ανιχνεύει ένα σωματίδιο στην εν λόγω περιοχή τείνει με μεγάλη ακρίβεια να λάβει την τιμή ένα. Μακριά από το κλασικό όριο οι κυματοσυναρτήσεις είτε εμφανίζουν μεγάλη διασπορά είτε η διασπορά τους αυξάνεται με το χρόνο και τότε η κλασική σωματιδιακή εικόνα χάνεται.³⁸²

³⁸⁰ Dieks, D.,- Lubberdink, A., (2011), pp1051-64

³⁸¹ Δύο ενδεικτικές περιπτώσεις στις οποίες ισχύει η ισότητα $\langle F(r) \rangle = F(\langle r \rangle)$ είναι η περίπτωση της ελεύθερης κίνησης όπου η τιμή του δυναμικού είναι σταθερή και η δύναμη είναι μηδέν οπότε η σχέση ισχύει τετριμμένα και της περίπτωσης όπου το δυναμικό είναι ανάλογο του τετραγώνου της θέσης οπότε η δύναμη είναι γραμμική συνάρτησή της θέσης. Η δεύτερη αυτή περίπτωση ικανοποιείται από τη χαμιλτονιανή του απλού αρμονικού ταλαντωτή.

³⁸² Dieks, D.,- Lubberdink, A., (2011), p1056

Αν η εξατομίκευση των αντικειμένων ισοδυναμεί με την παρατήρησή τους σε μια ορισμένη θέση ή σε μια σειρά από διαδοχικές θέσεις, η εξατομίκευση των κβαντικών σωματιδίων θα πρέπει κατ' αναλογία να ισοδυναμεί με μια μέτρηση ή μια ακολουθία επαναλαμβανόμενων μετρήσεων του παρατηρήσιμου της θέσης σε μια ορισμένη χωροχρονική περιοχή. Οι ανιχνευτές σωματιδίων είναι μετρικές διατάξεις, οι οποίες κατασκευάζονται γι αυτό το σκοπό. Ειδικότερα ένας ανιχνευτής σωματιδίων, ας πούμε ένας *θάλαμος νέφους* (cloud chamber), κατασκευάζεται για να ανιχνεύει τύπους σωματιδίων, τα οποία αλληλεπιδρούν με το υλικό του ανιχνευτή χάριν μιας ιδιότητας, που φέρουν τα σωματίδια και που στην περίπτωση του θαλάμου νέφους είναι το ηλεκτρικό φορτίο. Η αλληλεπίδραση του κάθε κβαντικού σωματιδίου με τον ανιχνευτή του είναι ένα καλά προσδιορισμένο συμβάν, δηλαδή ένα συμβάν που λαμβάνει χώρα για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα σε μια ορισμένη χωρική περιοχή και παράγει ορατά αποτελέσματα. Το λειτουργικό σύστημα του ανιχνευτή καταγράφει τα ίχνη αυτών των αλληλεπιδράσεων και ανασυγκροτεί τις διαδοχικές θέσεις, από τις οποίες διέρχεται κάθε συγκεκριμένο σωματίδιο που εισέρχεται στον ανιχνευτή. Η όλη διαδικασία ισοδυναμεί με τον εντοπισμό ενός σωματιδίου σε μια σειρά από διαδοχικές θέσεις, ισοδυναμεί δηλαδή με την παρατήρησή του και από τη σκοπιά του παρατηρητή είναι μια πράξη εξατομίκευσης. Από τη σκοπιά του φορμαλισμού ο εντοπισμός ενός σωματιδίου σημαίνει το χωρικό περιορισμό των κυματοσυναρτήσεών του, ο οποίος και επιτυγχάνεται, όταν ένα κβαντικό σύστημα υποβάλλεται σε μια μέτρηση του παρατηρήσιμου της θέσης ή ισοδύναμα την κατάρρευση της κυματοσυνάρτησής του³⁸³ σε μια από τις ιδιοκαταστάσεις του παρατηρήσιμου της θέσης.³⁸⁴

Βέβαια στη διαδικασία που περιγράφεται ως «κατάρρευση» της κυματοσυνάρτησης συμπυκνώνεται το περίφημο «πρόβλημα της μέτρησης», το οποίο χονδρικά εντοπίζεται στο γεγονός ότι η διαδικασία της «κατάρρευσης» της κυματοσυνάρτησης ενός κβαντικού συστήματος, η οποία συντελείται όταν το σύστημα αλληλεπιδρά με μια μετρική διάταξη, δεν δύναται να περιγραφεί στο πλαίσιο οποιασδήποτε κβαντικής θεωρίας. Ειδικότερα η κβαντική περιγραφή επιβάλλει η αλληλεπίδραση κάθε συστήματος S με κάθε συσκευή A να οδηγεί στη δημιουργία ενός συζευγμένου συστήματος $S+A$, το οποίο θα βρίσκεται κατά πάσα πιθανότητα σε μια μη τετριμμένη κατάσταση υπέρθεσης. Όμως η εμπειρία μας διδάσκει ότι τα μακροσκοπικά αντικείμενα βρίσκονται κάθε χρονική στιγμή στη μία ή στην άλλη καθορισμένη

³⁸³ Η μέτρηση είναι μια δυναμική διαδικασία που μεταβάλλει την κατάσταση του μετρούμενου συστήματος προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση η οποία καθορίζεται από το είδος της μέτρησης.

³⁸⁴ Στην πραγματικότητα η κατάρρευση της κυματοσυνάρτησης ενός σωματιδίου ποτέ δεν γίνεται σε μία μοναδική ιδιοκατάσταση του παρατηρήσιμου της θέσης. Οι ιδιοκαταστάσεις του παρατηρήσιμου της θέσης είναι μη αριθμήσιμες εξ αιτίας του συνεχούς φάσματος των ιδιοτιμών τους και όταν ένα σωματίδιο αλληλεπιδρά με έναν ανιχνευτή συμβαίνει μια μερική κατάρρευση της κυματοσυνάρτησής του σε ένα σύνολο ιδιοκαταστάσεων με ιδιοτιμές που κυμαίνονται σε μια περιοχή των πραγματικών αριθμών. Το εύρος των ιδιοτιμών εξαρτάται από την ακρίβεια της συσκευής μέτρησης.

κατάσταση και ποτέ σε μια υπέρθεση καταστάσεων. Η εμπειρία επίσης μας διδάσκει ότι και ένα κβαντικό σύστημα όταν υποβληθεί σε μια μετρική διαδικασία περιέρχεται κι αυτό σε μια καθορισμένη κατάσταση, η οποία και επιβεβαιώνεται σε κάθε επόμενη μέτρηση του ίδιου παρατηρήσιμου. Η έρευνα που διεξάγεται γύρω από το πρόβλημα της μέτρησης συνίσταται στη διατύπωση μιας κβαντικής θεωρίας μέτρησης, η οποία θα καταφέρει να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο οι μακροσκοπικές τροποποιήσεις, που υφίσταται μια μετρική συσκευή, ανάγονται ή *επιγίνονται* (supervene) σε τροποποιήσεις, που υφίσταται η μικροσκοπική της δομή. Με άλλα λόγια μια κβαντική θεωρία μέτρησης, όποια μορφή και να λάβει, «οφείλει να αποδείξει, με βάση τους νόμους της κβαντικής μηχανικής και τη δομή των μακροσκοπικών σωμάτων, ότι καταστάσεις οι οποίες δεν είναι συμβατές με τις πραγματικές μακροσκοπικές παρατηρήσεις είναι, ουσιαστικά, αδύνατες»³⁸⁵.

Η έρευνα γύρω από το πρόβλημα της μέτρησης εντάσσεται μέσα σε ένα γενικότερο ερευνητικό πρόγραμμα, το οποίο αφορά το κλασικό όριο της κβαντικής μηχανικής και ως προς αυτό φαίνεται να υπάρχει μια αυξανόμενη συμφωνία ότι καθοριστικό στοιχείο της εξήγησης του πώς η κλασική μηχανική αναδύεται από την κβαντική μηχανική είναι η διαδικασία της *αποσυμφώνησης* (decoherence). Η διαδικασία αυτή περιγράφεται γενικά ως ένα δυναμικό φαινόμενο, το οποίο λαμβάνει χώρα τόσο γρήγορα, ώστε είναι αδύνατον να το συλλάβουμε ενόσω βρίσκεται σε εξέλιξη και το μόνο που αντιλαμβανόμαστε είναι η κατάσταση στην οποία αυτό οδηγεί. Μέσω αυτής της διαδικασίας οι ερευνητές επιδιώκουν να εξηγήσουν, πώς τα μακροσκοπικά αντικείμενα (τέτοια αντικείμενα είναι και οι μετρικές συσκευές), τα οποία θεωρούμε ως συσσωματώματα αμοιβαία αλληλεπιδρώντων κβαντικών συστημάτων, υπακούουν τελικά στους νόμους και στα αξιώματα της κλασικής μηχανικής. Η περιγραφή της εν λόγω διαδικασίας είναι κάθε άλλο παρά απλή και παρά τις σημαντικές προόδους που έχουν γίνει σε διάφορους τομείς του προγράμματος δεν υπάρχει μέχρι σήμερα μια γενική θεωρία αποσυμφώνησης.³⁸⁶ Είναι ωστόσο ξεκάθαρο ότι μια θεωρία αποσυμφώνησης αποσκοπεί στη

³⁸⁵ Toretto, R., (2012), σελ.439

³⁸⁶ Η καταστροφή των υπερθέσεων - αποσυμφώνηση είναι ένα φυσικό φαινόμενο και εύλογα η εξήγηση/περιγραφή του ανήκει στην αρμοδιότητα της θεωρητικής φυσικής. Ωστόσο γύρω από το θέμα εκδηλώνεται ένα έντονο φιλοσοφικό ενδιαφέρον και τούτο διότι από φιλοσοφική σκοπιά η εξήγησή της ανάδυσης του κλασικού κόσμου ως οριακή κατάστασή της υποκείμενης κβαντικής πραγματικότητας θεωρείται ένα απαραίτητο βήμα για την εδραίωσή της κβαντικής φυσικής ως πλήρους θεωρίας η οποία χαιρεί ρεαλιστικής ερμηνείας. Ορισμένοι φιλόσοφοι μάλιστα όχι μόνο προβάλλουν το αίτημα της εξήγησης αλλά προτείνουν πιθανές κατευθύνσεις προς τις οποίες θα μπορούσε να στραφεί η επιστημονική έρευνα. Ο Abner Shimony για παράδειγμα εντοπίζει το πρόβλημα στο γραμμικό χαρακτήρα της εξίσωσης του Schrödinger και προτείνει την αντικατάστασή της από μια μη γραμμική εξίσωση η οποία θα δίνει τα ίδια αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται σε συστήματα με λίγους βαθμούς ελευθερίας όπως είναι για παράδειγμα ένα ηλεκτρόνιο και που θα αποκλίνει σημαντικά από αυτήν όταν εφαρμόζεται σε συστήματα με πολλούς βαθμούς ελευθερίας όπως είναι τα μακροσκοπικά αντικείμενα, οι μετρικές συσκευές και οι παρατηρητές. Προς αυτήν την κατεύθυνση μια κατάλληλη δυναμική εξίσωση θα πρέπει να προβλέπει τη ραγδαία δυναμική εξέλιξη ενός συστήματος με πολλούς βαθμούς ελευθερίας από μια κατάσταση υπέρθεσης ως προς τις τιμές ενός παρατηρήσιμου σε μια κατάσταση όπου το παρατηρήσιμο λαμβάνει συγκεκριμένη τιμή. Η θεωρία των Ghirardi – Rimini – Weber (1985) στρέφεται προς αυτήν την κατεύθυνση. [Shimony, A., (1989) pp25-37] Επίσης στην

μελέτη και περιγραφή των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του, οι οποίες οδηγούν στην καταστροφή των κβαντικών φαινομένων συμβολής και ως εκ τούτου των καταστάσεων υπέρθεσης σε μακροσκοπικό επίπεδο. Οι αλληλεπιδράσεις αποσυμφώνησης μπορεί να διενεργούνται είτε στο εσωτερικό κάθε μακροσκοπικού σώματος, όπου σύστημα είναι ένα στοιχειώδες κβαντικό μέρος του και περιβάλλον όλο το υπόλοιπο σώμα, είτε μεταξύ ενός κβαντικού συστήματος και μιας μετρικής συσκευής με την οποία αλληλεπιδρά. Στην πρώτη περίπτωση η διαδικασία αποσυμφώνησης εξηγεί την κλασική συμπεριφορά των μακροσκοπικών σωμάτων και στη δεύτερη εξηγεί το πώς κλασικά σωματίδια αναδύονται από την κβαντική θεωρία. Μας ενδιαφέρει να σταθούμε στη δεύτερη αυτή περίπτωση.

Οι αλληλεπιδράσεις αποσυμφώνησης μεταξύ ενός κβαντικού σωματιδίου και ενός ανιχνευτή σωματιδίων ισοδυναμούν με μέτρηση της θέσης του, εφόσον έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή της συμβολής μεταξύ μερών της κυματοσυνάρτησής του, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές του παρατηρήσιμου της θέσης. Η όλη διαδικασία οδηγεί τελικά το συζευγμένο σύστημα σωματίδιο/ανιχνευτής σε μια ιδιοκατάσταση της θέσης του σωματιδίου, η οποία είναι όμως και ιδιοκατάσταση του ανιχνευτή. Η διαδικασία αποσυμφώνησης διενεργείται επίσης όταν ένα κβαντικό σύστημα *πολλών-όμοιων-σωματιδίων* αλληλεπιδρά με το περιβάλλον με τρόπο ώστε το περιβάλλον να εκτελεί μετρήσεις της θέσης στο εν λόγω σύστημα. Στην περίπτωση αυτή το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον είναι η αποσυμφώνηση μεταξύ μερών της κυματοσυνάρτησης, τα κέντρα των οποίων βρίσκονται γύρω από διαφορετικές θέσεις και σχετίζονται με αμοιβαία ορθογώνιες καταστάσεις του περιβάλλοντος. Η όλη διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα μια χωρικά εκτεταμένη κυματοσυνάρτηση να μετασχηματίζεται σε ένα μίγμα χωρικά περιορισμένων καταστάσεων.³⁸⁷ Χαρακτηριστικό αυτών των καταστάσεων είναι ότι από τη σκοπιά της κβαντομηχανικής μπορούν να γίνουν αντιληπτές μόνο ως ιδιοκαταστάσεις ανά ζεύγη μετατιθέμενων παρατηρήσιμων³⁸⁸ δηλαδή παρατηρήσιμων των οποίων η τιμή δεν επηρεάζεται πλέον από τις συνεχιζόμενες αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον. Πρόκειται για τις λιγότερο συζευγμένες με το περιβάλλον καταστάσεις, που έχουν την τάση να ακολουθούν χωρίς διαταραχές την εξίσωση του Schrödinger. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί ο χωρικός περιορισμός των κυματοσυναρτήσεων σε μια μικρή χωρική περιοχή διατηρείται τουλάχιστον για κάποιο χρονικό διάστημα· ειδικότερα δε στην περίπτωση που η κατάσταση του συστήματος γίνεται αντιληπτή μέσω ιδιοκαταστάσεων της θέσεως και της ορμής, εξηγεί το γιατί οι χωρικά περιορισμένες κυματοσυναρτήσεις

ανάπτυξη και ανάλυση του φαινομένου της αποσυμφώνησης σημαντική θεωρείται η συμβολή των θεωρητικών φυσικών Omnes Ronald (1994) και Wojciech H. Zurek (2002).

³⁸⁷ Dieks, D.,- Lubberdink, A., (2010), p1057

³⁸⁸ Toretti, R., (2012), σελ.440

διαγράφουν κατά προσέγγιση κλασικές τροχιές όπως προβλέπει το θεώρημα του Ehrenfest.³⁸⁹ Εν κατακλείδι η διαδικασία αποσυμφώνησης οδηγεί ένα κβαντικό σύστημα πολλών-όμοιων-σωματιδίων σε ένα κλασικό σύστημα πολλών-όμοιων-σωματιδίων, εφόσον στο καθένα αντιστοιχούν μη αλληλεπικαλυπτόμενες χωρικές περιοχές. Κάθε τέτοια χωρική περιοχή παρέχει ένα κριτήριο εξατομίκευσης. Τα όρια της είναι τα όρια, εντός των οποίων ή πιθανότητα να ανιχνευτεί ένα σωματίδιο λαμβάνει με μεγάλη ακρίβεια την τιμή ένα.

8.3 Σωματίδια μέσα από την προοπτική μιας μέτρησης

Κατόπιν τούτων οι Dieks και Lubberdink λένε ότι για να ερμηνεύουμε με όρους σωματιδίων μια κβαντική κατάσταση θα πρέπει η εν λόγω κατάσταση να μπορεί να αναλυθεί σε ένα συμμετρικοποιημένο γινόμενο χωρικά εντοπισμένων μονοσωματιδιακών καταστάσεων που να μην αλληλεπικαλύπτονται και δείχνουν ότι, αν μια τέτοια ανάλυση είναι πράγματι δυνατή, τότε είναι μοναδική. Όμως οι Dieks και Lubberdink λένε επίσης ότι όταν μια τέτοια ανάλυση δεν είναι εφικτή οι καταστάσεις δεν επιδέχονται μια σωματιδιακή ερμηνεία. Θα μπορούσαμε να αντιπαραθέσουμε δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις που διαφωτίζουν τη διαφορά. Η μία είναι η singlet κατάσταση δύο ηλεκτρονίων που έχει προετοιμασθεί για μια EPR μέτρηση και η άλλη είναι η singlet κατάσταση των ηλεκτρονίων των ατόμων του ηλίου (He) σε θεμελιώδη κατάσταση. Και στις δύο περιπτώσεις η κατάσταση του συστήματος μπορεί να αναπαριστάνεται από το διάνυσμα: $|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\varphi\rangle_1|\psi\rangle_2 + |\psi\rangle_1|\varphi\rangle_2)(|\uparrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2 - |\downarrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2)$ ³⁹⁰ (8.2) όπου $|\uparrow\rangle$ και $|\downarrow\rangle$ είναι ιδιοκαταστάσεις του spin σε μια ορισμένη κατεύθυνση και όπου $|\varphi\rangle$ και $|\psi\rangle$ είναι χωρικές μονοσωματιδιακές καταστάσεις. Όμως ενώ στην πρώτη περίπτωση οι καταστάσεις $|\varphi\rangle$ και $|\psi\rangle$ περιορίζονται η κάθε μια σε μια στενή χωρική περιοχή και δεν αλληλεπικαλύπτονται (η μία βρίσκεται στην αριστερή και η άλλη στη δεξιά πλευρά του παρατηρητή), στη δεύτερη περίπτωση ο βαθμός αλληλοεπικάλυψής τους είναι μεγάλος, εφόσον σε θεμελιώδη κατάσταση τα ηλεκτρόνια του ηλίου βρίσκονται στην ίδια ηλεκτρονιακή στοιβάδα.

Για τους Dieks και Lubberdink, η διαφορά είναι σημαντική, εφόσον μόνο στην πρώτη περίπτωση η κυματοσυνάρτηση επιδέχεται σωματιδιακή ερμηνεία. Με δεδομένη τη χωρική απόσταση μεταξύ των κυματοπακέτων $|\varphi\rangle$ και $|\psi\rangle$ η κατάσταση του συστήματος μπορεί για

³⁸⁹ Bacciagaluppi, G. (2016), *SEP*

³⁹⁰ Το διάνυσμα (8.2) λαμβάνει την ανωτέρω μορφή, διότι σε κάθε περίπτωση οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων είναι αμελητέες, είτε διότι η απόσταση μεταξύ των κυματοπακέτων του κάθε ηλεκτρονίου είναι μεγάλη στην περίπτωση που το σύστημα έχει προετοιμαστεί για ένα EPR πείραμα, είτε διότι οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις είναι κατά πολύ μικρότερες των αλληλεπιδράσεων του κάθε ηλεκτρονίου με τον πυρήνα του ατόμου του ηλίου από τον οποίο δεσμεύονται.

πρακτικούς και ερμηνευτικούς κυρίως λόγους να αναπαριστάνεται από το διάνυσμα

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|\varphi\rangle_1|\psi\rangle_2\left(|\uparrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2 - |\downarrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2\right) \quad (8.3),$$

συμμετρικοποίησης των καταστάσεων (και τυπικά δεν μπορεί να θεωρείται σωστό), οδηγεί στις ίδιες εμπειρικές προβλέψεις και η χρήση του για κάθε πρακτικό σκοπό είναι δικαιολογημένη.³⁹¹

Στη μορφή (8.3) το διάνυσμα κατάστασης περιγράφει ένα σύστημα δύο σωματιδίων, ένα στα δεξιά και ένα στα αριστερά του παρατηρητή, τα οποία μοιράζονται τις ίδιες πιθανότητες να βρεθούν σε μια ορισμένη κατάσταση του spin μετά από μία μέτρηση. Και παρά το γεγονός ότι πριν τη μέτρηση κανένα από τα δύο σωματίδια δεν βρίσκεται σε κάποια συγκεκριμένη κατάσταση spin η αναφορά στο κάθε σωματίδιο είναι εφικτή και γίνεται μέσω των χωρικών προσδιορισμών «αριστερά» και «δεξιά». Διαπιστώνουμε έτσι ότι όταν ένα σύστημα δύο ηλεκτρονίων προετοιμάζεται να υποβληθεί σε μια EPR μέτρηση τα ηλεκτρόνιά του είναι διακρίσιμα ως προς την θέση τους και αν οι δείκτες συνδεθούν με τους χωρικούς περιορισμούς «αριστερά»-L και «δεξιά»-R, τότε λειτουργούν αναφορικά και το διάνυσμα κατάστασης μπορεί

$$\text{να πάρει τελικά τη μορφή: } |\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|\uparrow\rangle_L|\downarrow\rangle_R - |\downarrow\rangle_L|\uparrow\rangle_R\right) \quad (8.4).$$

ενσωματώνουν την πληροφορία του χωρικού περιορισμού των δύο κυματοπακέτων που εκτείνονται σε μακροσκοπικά απομακρυσμένες περιοχές και η κβαντική συσχέτιση που εμφανίζεται στην αντισυμμετρική μορφή του διανύσματος αφορά μόνο την κατάσταση spin. Στην πραγματικότητα το διάνυσμα (8.4) αναπαριστάνει μια ημικλασική κατάσταση όπου ένα χωρικά διαχωρισμένο σύστημα βρίσκεται σε μια συζευγμένη κατάσταση spin, ως προς την οποία είναι μη διαχωρίσιμο.

Εντούτοις στην περίπτωση των ηλεκτρονίων στο άτομο του ηλίου η αντικατάσταση του διανύσματος (8.2) από το (8.3) ή το (8.4) δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή για κανένα πρακτικό σκοπό. Στην περίπτωση αυτή τα ηλεκτρόνια μοιράζονται ακριβώς τις ίδιες πιθανότητες να βρεθούν σε μια ορισμένη θέση και η αναμενόμενη τιμή της θέσης του ενός ταυτίζεται με την αναμενόμενη τιμή της θέσης του άλλου. Σε αυτή τη περίπτωση οι Dieks και Lubberdink λένε ότι το διάνυσμα (8.2) δεν επιδέχεται σωματιδιακή ερμηνεία. Ωστόσο η στάση τους αυτή θα πρέπει να αξιολογηθεί σε σχέση με τη βασική τους επιδίωξη. Οι Dieks και Lubberdink θέλουν να δείξουν ότι «το κλασικό όριο (της κβαντικής μηχανικής) δεν συνδέει τους δείκτες του χώρου Hilbert με σωματίδια όπως τα γνωρίζουμε στην προ-κβαντική φυσική»³⁹², να δείξουν με άλλα λόγια ότι οι δείκτες του κβαντομηχανικού φορμαλισμού δεν αναφέρονται στα σωματίδια που αναδύονται μέσα από κατάλληλες πειραματικές διαδικασίες. Σωστά! Η άνευ ετέρου ερμηνεία των δεικτών

³⁹¹ Dieks, D.,- Lubberdink, A., (2010), p1054-5

³⁹² Dieks, D.,- Lubberdink, A., (2010), p1063

ως ονόματα σωματιδίων δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή, διότι εμφανίζει τα ονόματα ως εξατομικευτικούς παράγοντες ενώ ισχύει το αντίστροφο: η ικανότητα ενός αντικειμένου να φέρει ένα όνομα οφείλεται στην ατομικότητά του, χάριν της οποίας όμοια σωματίδια είναι με κάποιο τρόπο διακρίσιμα. Μόνο τότε οι δείκτες μπορούν να λειτουργούν αναφορικά. Αυτό συμβαίνει πάντα στην περίπτωση των κλασικών συστημάτων όπου το κάθε σωματίδιο περιγράφεται από τις τιμές της θέσης και της ορμής του. Έτσι παρόλο που οι δείκτες απαριθμούν τις μονοσωματιδιακές καταστάσεις, από τις οποίες συγκροτείται το σύστημα, συμβαίνει κάθε μονοσωματιδιακή κατάσταση να καταλαμβάνεται από ένα σωματίδιο. Εύλογα λοιπόν ο δείκτης, ο οποίος αναφέρεται σε μια ορισμένη μονοσωματιδιακή κατάσταση, θα αναφέρεται και στο σωματίδιο που την καταλαμβάνει.

Στην περίπτωση όμως των κβαντικών συστημάτων τις περισσότερες φορές οι δείκτες δεν αναφέρονται σε «σωματίδια» με την κλασική έννοια του όρου. Ή για να το πούμε κάπως διαφορετικά, τα σωματίδια έχουν την ικανότητα να γίνονται φορείς ονομάτων μόνο σε ειδικές περιπτώσεις όπως στην περίπτωση που ένα σύστημα προετοιμάζεται για ένα EPR πείραμα. Όμως στις πλήρως συζευγμένες καταστάσεις οι δείκτες του κβαντομηχανικού φορμαλισμού δεν πρέπει να ερμηνεύονται ως ονόματα σωματιδίων. Στις καταστάσεις αυτές τα σωματίδια δεν εξατομικεύονται με αποτέλεσμα κάθε αναφορά σε ένα συγκεκριμένο σωματίδιο να είναι επιστημικά και μεταφυσικά αδύνατη. Από αυτό όμως δεν προκύπτει ότι τέτοιου τύπου κβαντικές καταστάσεις δεν επιδέχονται σωματιδιακή ερμηνεία. Όπως έχουμε επανειλημμένα αναφέρει κάθε κβαντική κατάσταση διατυπώνεται πάντα μέσα από την προοπτική μιας μέτρησης, είτε αυτή είναι πρακτικά δυνατή είτε όχι. Η μέτρηση είναι πάντα μέτρηση ενός παρατηρήσιμου και το διάνυσμα κατάστασης αναπτύσσεται ως γραμμικός συνδυασμός των ιδιοκαταστάσεων του εν λόγω παρατηρήσιμου. Η ανάπτυξη του διανύσματος (8.2), το οποίο αναπαριστά την κατάσταση των ηλεκτρονίων του ηλίου, γίνεται μέσα από την προοπτική της μέτρησής του, η οποία αν ήταν τεχνικά δυνατή, θα είχε ως αποτέλεσμα την ανάδυση δύο ηλεκτρονίων σε ορισμένη απόσταση από τον πυρήνα και με αντίθετο σπιν. Βέβαια το διάνυσμα (8.2) δεν μπορεί να γραφεί ως ένα συμμετρικοποιημένο γινόμενο χωρικά περιορισμένων και χωριστών κυματοσυναρτήσεων. Μέσα όμως από την προοπτική που θέτει η μέτρηση (πραγματική ή νοητική), η κβαντική περιγραφή του συστήματος γίνεται και πάλι με όρους σωματιδίων, τα οποία ναι μεν δεν βρίσκονται το καθένα σε μια καλά καθορισμένη χωρική κατάσταση, θεωρούμε όμως ότι υπάρχουν ως υποσυστήματα ενός μη διαχωρίσιμου όλου και ότι αυτά θα εμφανιστούν ως κλασικά σωματίδια όταν η μέτρηση πραγματοποιηθεί.

Βέβαια τα δεδομένα που καταγράφονται ως αποτελέσματα μετρήσεων δεν πιστοποιούν άμεσα την ύπαρξη των σωματιδίων και πριν τη μέτρηση. Στην πραγματικότητα όμως δεν

πιστοποιούν ούτε την εμφάνιση σωματιδίων μετά τη μέτρηση. Όταν για παράδειγμα ένα σύστημα υποβάλλεται σε μια μέτρηση, το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι ένας αριθμός που καταγράφεται από τη μετρική συσκευή, τον οποίο ερμηνεύουμε ως τιμή ενός φυσικού μεγέθους, ώστε να την αποδίδουμε ως ιδιότητα σε ένα σωματίδιο. Όμως το ίδιο το σωματίδιο ως φορέας της ιδιότητας αυτής δεν γίνεται ποτέ αντικείμενο παρατήρησης· η ύπαρξή του είναι μια προσθήκη που δικαιολογούμε με τον ίδιο τρόπο που δικαιολογούμε την ύπαρξη των μακροσκοπικών αντικειμένων. Έτσι υποθέτουμε την ύπαρξη ενός σωματιδίου διότι το πειραματικό αποτέλεσμα που ερμηνεύουμε ως τιμή ενός φυσικού μεγέθους συνοδεύεται και από ένα σύνολο σταθερών και αναλλοίωτων ποσοτήτων, όπως η μάζα, το φορτίο και η τιμή του σπιν, οι οποίες καθορίζουν το είδος και την ένταση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του θεωρούμενου συστήματος και της μετρικής συσκευής και που η εμπειρία μας διδάσκει ότι πηγαίνουν σταθερά μαζί και θα πρέπει να εκλαμβάνονται ως ιδιότητες ενός σωματιδίου. Για κάθε κβαντικό σωματίδιο οι ποσότητες αυτές έχουν συγκεκριμένες τιμές που δεν εξαρτώνται από την κατάστασή του. Επιπλέον οι τιμές των σταθερών και αναλλοίωτων ποσοτήτων, που χαρακτηρίζουν ένα κβαντικό σωματίδιο, καθορίζουν το σύνολο των δυνατών καταστάσεων, στις οποίο αυτό μπορεί να βρεθεί. Είναι λοιπόν εύλογο να θεωρούμε ότι οι σταθερές και αναλλοίωτες αυτές ποσότητες θα χαρακτηρίζουν τα σωματίδια ακόμη κι όταν αυτά δεν βρίσκονται σε ξεχωριστές καταστάσεις. Ενδεικτικό αυτού του γεγονότος είναι το στοιχείο της προσθετικότητας που αποδίδεται στις εν λόγω ποσότητες. Για παράδειγμα γνωρίζουμε ότι ένα σύστημα n όμοιων ηλεκτρονίων έχει μάζα nm_e και φορτίο nq_e , όπως επίσης γνωρίζουμε ότι η κατάλληλη μέτρηση θα έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση n ηλεκτρονίων με μάζα m_e και φορτίου q_e το καθένα. Συνεπώς, ακόμα κι όταν η κατάσταση ενός κβαντικού σωματιδίου είναι κατάσταση υπέρθεσης κάθε δυνατού παρατηρήσιμου το σωματίδιο εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται από σταθερές και αναλλοίωτες ποσότητες, ή ισοδύναμα να φέρει ιδιότητες, οι οποίες δεν εξαρτώνται από την εκάστοτε κατάστασή του.

8.4 Η αντικειμενική γνώση της φύσης των σωματιδίων και οι περιορισμοί της

Η ανοίκεια «εικόνα» που οι κβαντικές θεωρίες δημιουργούν για τον υποατομικό κόσμο κοντράρεται με βαθιά ριζωμένες κλασικές διαισθήσεις ενισχύοντας έτσι εργαλειοκρατικές αντιλήψεις που εκλαμβάνουν τις φυσικές θεωρίες ως ένα εργαλείο συστηματοποίησης και πρόβλεψης της εμπειρίας. Έτσι λοιπόν λέγεται ότι οι κβαντικές καταστάσεις δεν μιλάνε για την αντικειμενική φύση των συστημάτων αλλά μόνο για το τι θα δούμε όταν πραγματοποιηθεί μια μέτρηση. Αυτό όμως δεν είναι ακριβές! Οι κβαντικές καταστάσεις μιλούν για τη φύση των φυσικών συστημάτων που τις καταλαμβάνουν και το κάνουν με τρόπο αντικειμενικό. Μόνο που

το αντικειμενικό δεν ταυτίζεται με το κλασικό. Όταν λέμε ότι ένα κβαντικό σύστημα βρίσκεται στην κατάσταση $|\varphi\rangle$ εννοούμε ότι δεδομένης της κατάστασης $|\varphi\rangle$ είμαστε σε θέση να δώσουμε απαντήσεις, οι οποίες αφορούν τις τιμές κάθε δυνατού παρατηρήσιμου, διότι το διάνυσμα $|\varphi\rangle$ μπορεί να γραφεί ως ένα σταθμισμένο άθροισμα των ιδιοκαταστάσεων $\{|\alpha_i\rangle\}$ οποιουδήποτε παρατηρήσιμου A , να πάρει δηλαδή τη μορφή: $|\varphi\rangle = \sum_i c_i |\alpha_i\rangle$ (8.5), όπου οι μιγαδικοί συντελεστές c_i αποδίδουν αυτό που ονομάζουμε *πλάτος πιθανότητας*, ενώ το τετράγωνό τους $|c_i|^2$ αποδίδει την πιθανότητα η μέτρηση του A να φέρει το σύστημα στην αντίστοιχη ιδιοκατάσταση $|\alpha_i\rangle$ όπου το A θα λάβει την τιμή α_i . Το διάνυσμα (8.5) δείχνει ότι αναφορικά με το παρατηρήσιμο A το σύστημα βρίσκεται σε μια κατάσταση υπέρθεσης, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι στην κατάσταση $|\varphi\rangle$ το A δεν λαμβάνει μια συγκεκριμένη (ιδιο)τιμή, η οποία να αποδοθεί στο σύστημα ως μια καλά καθορισμένη ιδιότητά του. Εν τω μεταξύ ο τελεστής A μπορεί να αναπαριστάνει οποιοδήποτε παρατηρήσιμο και επειδή είναι δυνατόν για κάθε παρατηρήσιμο το διάνυσμα κατάστασης να παίρνει τη μορφή (8.5) το σύστημα στην κατάσταση $|\varphi\rangle$ εκτός από τις τιμές της μάζας, του φορτίου ή του σπιν, οι οποίες ανήκουν στις φυσικές σταθερές του συστήματος, να μη φέρει καμιά καλά καθορισμένη ιδιότητα.

Ωστόσο το γεγονός αυτό δεν σημαίνει ότι το διάνυσμα (8.5) δεν περιγράφει την υφιστάμενη κατάσταση του συστήματος, η οποία συμβαίνει να είναι μια κατάσταση υπέρθεσης. Οι καταστάσεις υπέρθεσης είναι πραγματικές καταστάσεις, οι οποίες αφορούν το σύστημα καθ' αυτό και όχι απλώς το τι ενδέχεται να δούμε όταν μετρήσουμε. Όταν το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση υπέρθεσης αναφορικά με το παρατηρήσιμο A , η κατάστασή του *είναι-τέτοια-ώστε* το σύστημα να έχει μια καλά καθορισμένη πιθανότητα να βρεθεί σε μια ορισμένη ιδιοκατάσταση του παρατηρήσιμου A όταν πραγματοποιηθεί η κατάλληλη μέτρηση.

Βέβαια θα μπορούσε κάποιος να αντιτείνει ότι η απόδοση πιθανοτήτων στα δυνατά αποτελέσματα μιας μέτρησης δεν είναι μια πλήρης περιγραφή. Όμως μια τέτοια ετυμηγορία βασίζεται και πάλι σε διαισθήσεις, οι οποίες καλλιεργούνται και εδραιώνονται κατά την επαφή μας με τον μακρόκοσμο και δεν λαμβάνει υπόψη της τον ρόλο της μέτρησης στον υποατομικό κόσμο και το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της μέτρησης δημιουργούνται νέα στοιχεία της πραγματικότητας που δεν υπήρχαν πριν από αυτήν. Το γεγονός αυτό είναι αποφασιστικής σημασίας για την κατανόηση της φύσης των πιθανοτήτων στην περιγραφή μιας κβαντικής κατάστασης. Οι πιθανότητες, οι οποίες κατανέμονται στα δυνατά αποτελέσματα μιας μέτρησης, δεν οφείλονται στην έλλειψη της γνώσης μιας υφιστάμενης πραγματικότητας, την οποία επιδιώκουμε να αποκτήσουμε πραγματοποιώντας τη μέτρηση. Η κβαντική μέτρηση είναι μια

δυναμική διαδικασία, η οποία εξελίσσεται δημιουργικά και όχι αποκαλυπτικά. Οι πιθανότητες στη κβαντική περιγραφή οφείλονται στην έλλειψη γνώσης, η οποία πηγάζει από τη φύση κάθε συγκεκριμένης αλληλεπίδρασης που συμβαίνει στον μικρόκοσμο, όταν πραγματοποιείται μια μέτρηση. Την έκβαση τέτοιων αλληλεπιδράσεων τη γνωρίζουμε μόνο πιθανοκρατικά όχι όμως γιατί δεν γνωρίζουμε την όλη διαδικασία στις λεπτομέρειες της, αλλά διότι η ίδια η διαδικασία χαρακτηρίζεται από ένα στοιχείο τυχαιότητας, το οποίο στη γλώσσα της κβαντικής φυσικής το έχουμε ονομάσει «κατάρρευση της κυματοσυνάρτησης» ή «καταστροφή των υπερθέσεων». Το στοιχείο αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι οι μετρικές συσκευές δεν βρίσκονται ποτέ σε καταστάσεις υπέρθεσης ή καλύτερα ότι οι καταστάσεις υπέρθεσης δεν καταγράφονται από τις μετρικές συσκευές. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η σύζευξη μιας μετρικής συσκευής με ένα κβαντικό σύστημα καταλήγει πάντα σε μια ιδιοκατάσταση, η οποία αποτυπώνεται ως το αποτέλεσμα της μέτρησης, το οποίο και αποδίδουμε ως ιδιότητα στο μετρούμενο σύστημα.

Αυτό μπορούμε να κάνουμε! Αυτό όμως είναι αρκετό για να μας απομακρύνει από εργαλειοκρατικές αντιλήψεις περί της φυσικής επιστήμης. Μπορεί να υπάρχουν διαφωνίες ως προς τι είναι ένα ηλεκτρόνιο αλλά κανείς πλέον δεν αμφιβάλλει για την ύπαρξη αυτής της υποατομικής οντότητας. Ωστόσο το εγχείρημα της οντολογικής ερμηνείας της κβαντικής θεωρίας θα πρέπει να καθοδηγείται από τη θεμελιώδη σχέση της πειραματικής διαδικασίας με την κβαντική περιγραφή. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, αν θεωρούμε ότι η πλήρης περιγραφή των φυσικών συστημάτων είναι αυτή η οποία κατορθώνει να ενσωματώσει τον μέγιστο δυνατό όγκο πληροφοριών γύρω από την κατάστασή τους, τότε είναι σαφές ότι η κατανομή πιθανοτήτων πάνω στα δυνατά αποτελέσματα μιας μέτρησης συνιστά μια πλήρη περιγραφή. Η περιγραφή του συστήματος αλλάζει μετά τη μέτρηση, διότι αλλάζει και η κατάσταση του. Η αλληλεπίδραση της μετρικής συσκευής έχει ως αποτέλεσμα το σύστημα να βρεθεί σε μια ιδιοκατάσταση του A οπότε η γνώση μας αναφορικά με το παρατηρήσιμο A γίνεται συγκεκριμένη, η μετρική συσκευή κατά την αλληλεπίδραση της με το σύστημα καταγράφει μια καλά καθορισμένη ιδιότητα. Το ενδιαφέρον στοιχείο αυτής της θεώρησης είναι ότι τα κβαντικά φαινόμενα συμβαίνουν στο κλασικό όριο της κβαντικής φυσικής και ότι μόνο σε αυτό το όριο μπορεί να γίνει μια συστηματική συλλογή αισθητηριακών δεδομένων, τα οποία όμως δεν είναι τίποτα περισσότερο από τα ίχνη που αφήνουν στον μακρόκοσμο οι αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν στον μικρόκοσμο.

8.5 Η ανίχνευση και η εξατομίκευση των σωματιδίων ως σωματίδια ορισμένου είδους

Η ανίχνευση σωματιδίων είναι μια στοχευμένη διαδικασία, η οποία αποβλέπει σε σωματίδια πάντα ορισμένου είδους. Έτσι οι ανιχνευτές δεν ανιχνεύουν σωματίδια γενικά· ανιχνεύουν

σωματίδια ορισμένου είδους. Συγκεκριμένα ανιχνεύουν ιδιότητες, ή όπως αναφέρει η Brigitte Falkenburg ανιχνεύουν μονάδες κβαντωμένων μεγεθών, οι οποίες αντιστοιχούν σε πραγματικά κβάντα πεδίων και αποδίδονται σε συγκεκριμένα είδη κβαντικών σωματιδίων όπως πρωτόνιο p , νετρόνιο n , ηλεκτρόνιο e^- , ποζιτρόνιο e^+ , μόνιο μ , πόνιο π , φωτόνιο γ , κ.λ.π.³⁹³

Η ανίχνευση ενός σωματιδίου ισοδυναμεί με τη μέτρηση ορισμένων ιδιοτήτων, για τις οποίες η εμπειρία μας διδάσκει ότι πάνε σταθερά μαζί. Οι ιδιότητες αυτές λειτουργούν ταξινομητικά: αποτελούν στοιχεία ταυτότητας του είδους του σωματιδίου στο οποίο αποδίδονται. Τα υψηλής ενέργειας πειράματα που πραγματοποιούνται στα εργαστήρια πειραματικής φυσικής αποδεικνύουν του λόγου το αληθές. Σε ένα τυπικό τέτοιο πείραμα αντίθετα κινούμενες δέσμες πρωτονίων αφού επιταχύνονται ώστε να αποκτήσουν μεγάλη ενέργεια συγκρούονται στο εσωτερικό ανιχνευτών. Από τη σύγκρουση τα πρωτόνια καταστρέφονται και δημιουργούνται νέα σωματίδια, τα οποία ανιχνεύονται το καθένα ξεχωριστά ως σωματίδια κάποιου είδους από κατάλληλους ανιχνευτές, δηλαδή από ανιχνευτές σχεδιασμένους με τρόπο ώστε να μετράνε συγκεκριμένες ιδιότητες, οι οποίες αντιστοιχούν σε σωματίδια ορισμένου είδους. Οι λεγόμενες *συσκευές ιχνηλάτησης* (tracking devices) για παράδειγμα σχεδιάζονται με τρόπο ώστε να φανερώνουν τις τροχιές που διαγράφουν ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια (ηλεκτρόνια, μόνια κ.λ.π.) υπό την επίδραση ενός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Αυτού του είδους οι ανιχνευτές καταγράφουν μικρά διαδοχικά ηλεκτρικά σήματα που τα σωματίδια προκαλούν καθώς διέρχονται μέσα από τον ανιχνευτή και αλληλεπιδρούν με το υλικό του. Το μαγνητικό πεδίο εκτρέπει τα σωματίδια από την ευθύγραμμη κίνησή τους και τα εξαναγκάζει σε καμπυλόγραμμες τροχιές. Η κατεύθυνση της εκτροπής φανερώνει το είδος του φορτίου (θετικό ή αρνητικό) που φέρει το σωματίδιο ενώ η καμπυλότητα της τροχιάς που διαγράφεται σε συνδυασμό με την ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι δεδομένα που οδηγούν στον υπολογισμό της μάζας και της ορμής του σωματιδίου. Οι μετρήσεις αυτών των ιδιοτήτων βασίζονται σε ένα ημι-κλασικό μοντέλο της τροχιάς των σωματιδίων. Με βάση τον κλασικό νόμο της δύναμης Lorentz υπολογίζεται ο λόγος του φορτίου προς τη μάζα, ενώ η ανακατασκευή της τροχιάς μέσα από μία σειρά ηλεκτρικών σημάτων περιλαμβάνει λεπτομερείς υπολογισμούς, οι οποίοι βασίζονται στην κβαντική ηλεκτροδυναμική.³⁹⁴

Η παραπάνω περιγραφή αν και γίνεται σε αδρές γραμμές, μας επιτρέπει να προβούμε σε δύο διαπιστώσεις. Πρώτον είναι φανερό ότι στις συνθήκες στις οποίες εξελίσσεται η όλη πειραματική διαδικασία, τα κβαντικά σωματίδια αποκτούν κλασικά χαρακτηριστικά και ως εκ τούτου οι συνθήκες αυτές σηματοδοτούν το κλασικό όριο της κβαντικής φυσικής. Πράγματι η

³⁹³ Falkenburg, B., (2002), p239

³⁹⁴ Falkenburg, B., (2002), p239

παραγωγή διαδοχικών ηλεκτρικών σημάτων, στη βάση των οποίων ανασυγκροτείται η τροχιά ενός σωματιδίου, είναι το αποτέλεσμα διαδοχικών μετρήσεων της θέσης του. Οι διαδοχικές αυτές μετρήσεις περιορίζουν το χωρικό εύρος της κυματοσυνάρτησης του σωματιδίου ώστε η δυναμική του εξέλιξη να εμφανίζει κλασικά χαρακτηριστικά: το σωματίδιο για ένα μικρό χρονικό διάστημα εντοπίζεται από τον ανιχνευτή σε καλά καθορισμένες χωρικές περιοχές, οι οποίες στο σύνολό τους δημιουργούν την εικόνα μιας κλασικής τροχιάς. Η παρατήρηση των κβαντικών σωματιδίων γίνεται επομένως στο κλασικό όριο της κβαντικής φυσικής όπου αυτά αποκτούν εξατομικευτικά χαρακτηριστικά. Δεύτερον η εξατομίκευση ενός σωματιδίου συνοδεύεται πάντα με την αναγνώριση του είδους στο οποίο ανήκει. Οι εξατομικευτικές μέθοδοι που ακολουθούνται δεν είναι ίδιες για όλα τα είδη σωματιδίων, όπως και κάθε ανιχνευτής σωματιδίων δεν είναι κατάλληλος για κάθε είδος σωματιδίων. Για παράδειγμα οι συσκευές ιχνηλάτησης, στις οποίες αναφερθήκαμε πριν, προορίζονται για την ανίχνευση ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων και δεν είναι κατάλληλοι να ανιχνεύουν νετρόνια ή φωτόνια. Κάθε τύπος ανιχνευτή σωματιδίων σχεδιάζεται για να ανιχνεύει συγκεκριμένου τύπου ιδιότητες, οι οποίες να επαναλάβουμε ότι λειτουργούν ταξινομητικά, είναι δηλαδή ικανές να υπάγουν τον φορέα τους σε ένα συγκεκριμένο είδος. Εν κατακλείδι η πειραματική φυσική δείχνει ότι τα κβαντικά σωματίδια εξατομικεύονται σε ειδικές κάθε φορά συνθήκες, οι οποίες καθορίζονται από το είδος στο οποίο ανήκουν και πάντα εξατομικεύονται κατά είδος. Την κατά είδος εξατομίκευση αποδεικνύουν τα πειράματα που γίνονται στο πεδίο της μικροφυσικής και ως θυμηθούμε ότι το ίδιο αυτό στοιχείο βρίσκεται στην καρδιά της αριστοτελικής προέλευσης θεωρίας υποστάσεων.

Εύκολα διαπιστώνει κάποιος ότι η έννοια του είδους έχει κομβικό ρόλο στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων. Το *Καθιερωμένο Μοντέλο* (Standard Model), είναι η καλύτερη μέχρι σήμερα φυσική θεωρία που περιγράφει τα δομικά συστατικά του σύμπαντος και σύμφωνα με αυτή ο υλικός κόσμος αποτελείται από δύο μόνο *κατηγορίες* σωματιδίων, τα κουάρκ και τα λεπτόνια. Υπάρχουν έξη *είδη* κουάρκ και έξη *είδη* λεπτονίων καθώς και τα αντίστοιχα αντισωματίδιά τους. Κάθε άλλο σωματίδιο (και κατ' επέκταση σώμα) είναι ένας κατάλληλος συνδυασμός από κουάρκ και λεπτόνια, τα οποία αλληλεπιδρούν με κάποια από τις τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις. Έτσι ο κατάλογος των στοιχειωδών σωματιδίων συμπληρώνεται με τα τέσσερα σωματίδια πεδίου, δηλαδή τα σωματίδια/φορείς των αλληλεπιδράσεων. Με δεδομένη την εικόνα αυτή, εκείνο που πρέπει καταρχήν να επισημάνουμε είναι ότι η ταξινόμηση των κβαντικών σωματιδίων είναι συστατικό στοιχείο του Καθιερωμένου Μοντέλου και δεν συνιστά απλώς μια διαδικασία τακτοποίησης. Οι φυσικοί που εργάζονται στο πεδίο αυτό δεν μιλούν ποτέ για αντικείμενα γενικά. Αντιθέτως μιλάνε για ηλεκτρόνια, χαριτωμένα κουάρκ, πρωτόνια ή π^+

μεσόνια, κάνοντας δηλαδή χρήση συγκεκριμένων κάθε φορά *ταξινομητικών* (sortal) όρων, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν ο καθένας ένα ορισμένο *είδος* (kind) σωματιδίων. Το στοιχείο αυτό δεν είναι απλά ένας τρόπος του λέγειν, είναι στοιχείο της μεθόδου που ακολουθείται στα εργαστήρια πειραματικής φυσικής κατά την ανίχνευση και αναγνώριση των υποατομικών σωματιδίων. Διότι οι φυσικοί δεν *χειρίζονται* σωματίδια γενικά. Σχεδιάζουν και πραγματοποιούν πειράματα για να ανιχνεύσουν σωματίδια με βάση τις αισθητές συνέπειες της παρουσίας τους σε μια χωροχρονική περιοχή, οι οποίες όμως θα πρέπει να εντάσσονται στο πλαίσιο των δυνατοτήτων ενός είδους. Διότι η ανίχνευση ενός σωματιδίου συντελείται όταν σε κάποια πειραματικά δεδομένα *αναγνωρίζεται* ένα σχέδιο συμπεριφοράς κάποιου είδους και όταν συμβεί τα δεδομένα αυτά να αποκλίνουν από γνωστά σχέδια συμπεριφοράς οι φυσικοί, αφού αποκλείσουν το ενδεχόμενο του λάθους, υποθέτουν την ύπαρξη ενός νέου είδους σωματιδίων στον υποατομικό κόσμο. Όταν διαπιστώθηκε ότι κάποια σωματίδια συμπεριφέρονται μέσα στο μαγνητικό πεδίο ως «μεγάλα ηλεκτρόνια», δηλαδή ως σωματίδια τα οποία έχουν ίδιο φορτίο και μάζα περίπου 200 φορές μεγαλύτερη των ηλεκτρονίων, τότε υπέθεσαν ότι βρίσκονται μπροστά σε ένα νέο είδος σωματιδίων που ονόμασαν μίονια. Κατόπιν τούτων είναι εύλογο να συμπεράνουμε ότι η ανίχνευση ενός σωματιδίου και η αναγνώρισή του ως σωματίδιο ορισμένου είδους συντελούνται ταυτόχρονα και ότι τα υποατομικά σωματίδια ανιχνεύονται και εξατομικεύονται ως σωματίδια κάποιου είδους.

8.6 Τα κβαντικά σωματίδια συγκροτούνται ως σωματίδια ορισμένου είδους

Η ταξινόμηση των κβαντικών σωματιδίων σε είδη δεν συνιστά απλώς μέρος της πειραματικής δραστηριότητας. Έχει αποκτήσει θεωρητικό υπόβαθρο και η έννοια του σωματιδίου ως σωματίδιο ορισμένου είδους ορίζεται στο πλαίσιο του κβαντικού φορμαλισμού. Ας περιγράψουμε τη γενική ιδέα.

Όταν δίνεται ένα φυσικό σύστημα η θεωρία που αναλαμβάνει την περιγραφή του, μας εφοδιάζει με ένα *κανόνα* που επιτρέπει να υπολογίσουμε τις *αναμενόμενες τιμές* των παρατηρήσιμων, δηλαδή των μετρήσιμων μεγεθών, και με ένα *δυναμικό νόμο* που καθορίζει τον τρόπο με το οποίο αλλάζουν οι καταστάσεις του. Το σύνολο όλων των δυνατών καταστάσεων του συστήματος συγκροτούν τον *χώρο των καταστάσεων* του και η περιγραφή μιας κατάστασης γίνεται πάντα ως προς ένα σύστημα αναφοράς. Η μετάβαση από ένα σύστημα αναφοράς σε ένα άλλο γίνεται με βάση συγκεκριμένους χωροχρονικούς μετασχηματισμούς (*μετατοπίσεις* στο χώρο και στο χρόνο, *περιστροφές* στο χώρο κ.λ.π.), οι οποίοι αφήνουν *αναλλοίωτους* τους νόμους της θεωρίας και στο σύνολο τους συγκροτούν μια *ομάδα* με τη μαθηματική έννοια του

όρου. Η ομάδα αυτή αποτελεί την *ομάδα συμμετρίας* για την εν λόγω θεωρία.³⁹⁵ Οι καταστάσεις του συστήματος μετασχηματίζονται η μια στην άλλη σύμφωνα με μια *αναπαράσταση της ομάδας συμμετρίας*, κατάλληλης για να δράσει στον συγκεκριμένο χώρο. Έτσι ο χώρος των καταστάσεων ενός φυσικού συστήματος είναι ουσιαστικά ένας *αναπαραστατικός χώρος της ομάδας συμμετρίας* της θεωρίας.

Το 1939 ο Eugene Wigner³⁹⁶ διερευνώντας τη σχέση μεταξύ των μοναδιακών αναπαραστάσεων της ομάδας Poincaré (ομάδα συμμετρίας της ειδικής σχετικότητας), με τις εξισώσεις της κβαντικής μηχανικής κατέληξε σε μια πλήρη ταξινόμηση των στοιχειωδών σχετικιστικών συστημάτων. Η βασική ιδέα του Wigner είναι ότι ένα στοιχειώδες σύστημα στερείται εσωτερικής δομής, το οποίο σημαίνει ότι ο χώρος των καταστάσεων του δεν περιέχει υποχώρους αναλλοίωτους κάτω από τους σχετικιστικούς μετασχηματισμούς της ομάδας Poincaré. Αυτό τεχνικά σημαίνει ότι ο χώρος των καταστάσεων ενός στοιχειώδους σωματιδίου συγκροτείται πλήρως μέσα από τη δράση μιας *μη αναγώγιμης αναπαράστασης* της ομάδας Poincaré. Συνεπώς η εύρεση και η ταξινόμηση των μη αναγώγιμων αναπαραστάσεων της ομάδας Poincaré ισοδυναμεί με την εύρεση και ταξινόμηση των στοιχειωδών σωματιδίων της σχετικιστικής κβαντικής μηχανικής. Η διαδικασία ταξινόμησης γίνεται σύμφωνα με ορισμένες αναλλοίωτες ως προς τους μετασχηματισμούς της ομάδας Poincaré ποσότητες, δηλαδή ποσότητες οι οποίες θεωρούμε ότι παραμένουν αμετάβλητες καθώς τα στοιχειώδη συστήματα/σωματίδια περιέρχονται από μία κατάσταση σε μια άλλη. Εύλογα οι τιμές των αναλλοίωτων αυτών ποσοτήτων αποδίδονται στα σωματίδια ως ιδιότητες, οι οποίες όχι μόνο δεν εξαρτώνται από την εκάστοτε κατάσταση του σωματιδίου αλλά καθορίζουν και το σύνολο των δυνατών καταστάσεων του φορέα τους.³⁹⁷

Η πρωτοποριακή αυτή μέθοδος ταξινόμησης των σχετικιστικών κβαντικών σωματιδίων που για πρώτη φορά εφάρμοσε ο Wigner, έχει πλέον γενικευτεί. Οι μη αναγώγιμες αναπαραστάσεις

³⁹⁵ Η σύνδεσή της έννοιας της συμμετρίας με την έννοια του αναλλοίωτου έχει τις ρίζες της στη γεωμετρία. Ως συμμετρία ενός γεωμετρικού σχήματος ορίζεται το *αναλλοίωτο* του σχήματος κάτω από καλά καθορισμένους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς. Η ανάπτυξη της θεωρίας των ομάδων κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι μετασχηματισμοί συμμετρίας ενός σχήματος πληρούν τις προϋποθέσεις για τον σχηματισμό ομάδας, επέτρεψε τη γενίκευσή της έννοιας της συμμετρίας ώστε αυτή να σημαίνει το αναλλοίωτο κάτω από μετασχηματισμούς που δεν περιορίζονται πλέον στο πεδίο της γεωμετρίας. Η γενικευμένη έννοια της συμμετρίας επεκτείνεται ώστε να εφαρμόζεται όχι μόνο σε γεωμετρικά σχήματα και φυσικά αντικείμενα με γεωμετρικά χαρακτηριστικά αλλά και σε μαθηματικές εξισώσεις και κατ' επέκταση σε φυσικούς νόμους οι οποίοι εκφράζονται από αυτές.

³⁹⁶ Wigner, E. (1939)

³⁹⁷ Στην εργασία του Wigner (1939) η ταξινόμηση των μη αναγώγιμων αναπαραστάσεων έγινε με βάση τη μάζα, το spin και την *ομοτιμία* (parity). Δεδομένου ότι οι ποσότητες αυτές παραμένουν σταθερές σε κάθε χωροχρονικό μετασχηματισμό που περιλαμβάνεται στην ομάδα Poincaré, ο Wigner κατέληξε στην ταξινόμηση των στοιχειωδών σωματιδίων. Με αυτό τον τρόπο ένα είδος σωματιδίου χαρακτηρίζεται από αναλλοίωτες ιδιότητες οι οποίες σχετίζονται με τις χωροχρονικές του συμμετρίες. Ωστόσο μεταγενέστερες έρευνες (Tsung Dao Lee και Chen Ning Yang, 1956) έδειξαν ότι η διατήρησή της ομοτιμίας δηλαδή της ποσότητας που παραμένει αναλλοίωτη υπό τους κατοπτρικούς μετασχηματισμούς δεν ισχύει στην περίπτωση της ασθενούς αλληλεπίδρασης.

της ομάδας συμμετρίας μιας φυσικής θεωρίας αντιστοιχούν στα στοιχειώδη σωματίδια της.³⁹⁸ Σε ότι αφορά τις κβαντικές θεωρίες η συνεχιζόμενη έρευνα αφορά τα είδη συμμετρίας που χαρακτηρίζουν τους νόμους των υποατομικών αλληλεπιδράσεων. Εντούτοις οι μετατοπίσεις και οι περιστροφές στο χώρο, η μεταφορά στο χρόνο και ή τοπική συμμετρία βαθμίδας είναι μεταξύ των αδιαμφισβήτητων ειδών συμμετρίας: οι εξισώσεις που περιγράφουν την κατάσταση ενός φυσικού συστήματος παραμένουν αναλλοίωτες στους προαναφερθέντες μετασχηματισμούς. Οι εν λόγω συμμετρίες προϋποθέτουν την ισχύ καθολικών αρχών διατήρησης και συγκεκριμένα των αρχών διατήρησης της ορμής, της ενέργειας, της στροφορμής και του φορτίου, από τις οποίες απορρέουν και οι αντίστοιχες αναλλοίωτες ποσότητες της μάζας, του σπιν και του φορτίου. Ωστόσο θα πρέπει να επισημάνουμε ότι η έσχατη και κύρια ταξινομητική ιδιότητα ενός σωματιδίου, δηλαδή η ιδιότητα χάριν της οποίας υπάγεται σε ένα ορισμένο είδος και όχι σε μια ευρύτερη κατηγορία σωματιδίων είναι η τιμή της μάζας. Συγκεκριμένα όλα τα σωματίδια, των οποίων η μάζα είναι για παράδειγμα ίση με τη μάζα ενός ηλεκτρονίου, αντιστοιχούν στην ίδια μη αναγώγιμη αναπαράσταση της ομάδας Poincaré και είναι είτε ηλεκτρόνια είτε ποζιτρόνια. Το ίδιο ισχύει για κάθε ζεύγος σωματίδιο/αντισωματίδιο. Η τιμή της μάζας είναι η αναλλοίωτη ποσότητα, η οποία προδιαγράφει τις τιμές των λοιπών αναλλοίωτων του συστήματος. Όταν η μάζα ενός σωματιδίου είναι ίση με τη μάζα ενός ηλεκτρονίου τότε το σωματίδιο αυτό θα έχει σπιν $\frac{1}{2}$ και φορτίο είτε $-e$ οπότε θα είναι σωματίδιο της ύλης είτε $+e$ οπότε θα είναι σωματίδιο της αντιύλης.

Πέραν όμως των αναλλοίωτων ιδιοτήτων τα σωματίδια της κβαντικής φυσικής γίνονται και φορείς δυναμικών ιδιοτήτων, οι οποίες εξαρτώνται από την κατάσταση στην οποία βρίσκονται και μπορούν να μετρηθούν. Αναφερόμενος στις προϋποθέσεις υπό τις οποίες ένα αντικείμενο συγκροτείται ως φορέας δυναμικών ιδιοτήτων ο Mittelstaedt³⁹⁹ επισημαίνει ότι οι τιμές των παρατηρήσιμων που περιγράφουν μια ορισμένη κατάσταση θα πρέπει να μεταβάλλονται *συναλλοίωτα* (covariantly) κάτω από τους μετασχηματισμούς της ομάδας συμμετρίας της θεωρίας, με άλλα λόγια η νέα κατάσταση που διαμορφώνεται μετά από ένα μετασχηματισμό πρέπει να ανήκει στον ίδιο αναπααραστατικό χώρο, δηλαδή να χαρακτηρίζεται από τις ίδιες τιμές αναλλοίωτων. Από τη σκοπιά της μεταφυσικής η διάκριση των ιδιοτήτων σε αναλλοίωτες και δυναμικές εύλογα μας παραπέμπει στη μεταφυσική διάκριση μεταξύ εγγενών και εξωγενών

³⁹⁸ Η ομάδα συμμετρίας της κλασικής και μη σχετικιστικής κβαντικής μηχανικής είναι η γαλιλαϊκή ομάδα· οι νόμοι και των δύο θεωριών παραμένουν αναλλοίωτοι στους γαλιλαϊκούς μετασχηματισμούς. Η Castellani ορίζει το στοιχειώδες γαλιλαϊκό σωματίδιο ως το φυσικό σύστημα του οποίου οι καταστάσεις σχηματίζουν μια μη αναγώγιμη αναπαράστασή της γαλιλαϊκής ομάδας. Από τη σκοπιά της θεωρίας ομάδων οι αναλλοίωτες ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τα γαλιλαϊκά σωματίδια είναι η μάζα, η εσωτερική ενέργεια και το σπιν [Castellani, E., (1998), pp 181-94]. Η διάκριση μεταξύ κλασικών και κβαντικών γαλιλαϊκών σωματιδίων γίνεται με βάση τον τρόπο με τον οποίο τα σωματίδια αυτά γίνονται φορείς δυναμικών ιδιοτήτων και κυρίως των ιδιοτήτων της θέσης και της ορμής οι τιμές των οποίων μόνο για τα κβαντικά σωματίδια πρέπει να συμμορφώνονται με την αρχή της απροσδιοριστίας.

³⁹⁹ Mittelstaedt, P., (1994), pp 1617-8

ιδιοτήτων αντίστοιχα. Ωστόσο η ίδια αυτή διάκριση αντιστοιχεί και στη μεταφυσική διάκριση μεταξύ ουσιωδών και ενδεχομενικών ιδιοτήτων, η οποία είναι θεμελιώδης στο πλαίσιο της θεωρίας υποστάσεων. Συγκεκριμένα οι αναλλοίωτες ιδιότητες συνδέονται με τον πυρήνα της ύπαρξής τους και καθορίζουν το χώρο των καταστάσεών τους, το σύνολο δηλαδή των δυνατών καταστάσεων στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα τέτοιο σωματίδιο. Είναι επίσης ταξινομητικές ιδιότητες, διότι η τιμή τους παρέχει το κριτήριο για την υπαγωγή ενός σωματιδίου σε ένα ορισμένο είδος. Τέλος είναι αναγκαίες ιδιότητες, εφόσον ένα σωματίδιο για να παραμένει σωματίδιο του ίδιου είδους θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από το ίδιο σύνολο αναλλοίωτων ιδιοτήτων. Υπό αυτήν λοιπόν την έννοια οι αναλλοίωτες ιδιότητες είναι ουσιώδεις ιδιότητες των σωματιδίων της κβαντικής φυσικής. Κάθε άλλη ιδιότητα ανήκει στην κατηγορία των δυναμικών ιδιοτήτων, εφόσον εξαρτάται από την κατάσταση του σωματιδίου και θα εξελίσσεται με αυτή σύμφωνα με τους δυναμικούς νόμους της κβαντικής φυσικής. Συνεπώς οι δυναμικές ιδιότητες δεν είναι αναγκαίες ιδιότητες· είναι ιδιότητες που το σωματίδιο φέρει ενδεχομενικά.

Βέβαια υπάρχει μια σημαντική διαφορά στον τρόπο με τον οποίο κβαντική και κλασική μηχανική αποδίδουν δυναμικές/ενδεχομενικές ιδιότητες στα αντικείμενά τους, οι οποίες σχετίζονται με τις υλικές προϋποθέσεις της δυνατής εμπειρίας, αυτές που καθορίζουν τους φυσικούς νόμους της μέτρησης στο πλαίσιο της εκάστοτε θεωρίας. Στην κλασική φυσική ένα φυσικό αντικείμενο είναι φορέας κάθε δυνατής δυναμικής ιδιότητας, εφόσον κάθε δυναμική ιδιότητα είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων της θέσης και της ορμής, τις οποίες οι κλασικοί νόμοι της μέτρησης επιτρέπουν να αποδίδονται την ίδια χρονική στιγμή στο ίδιο αντικείμενο. Επιπλέον ο κλασικός δυναμικός νόμος ορίζει ότι όταν γνωρίζουμε τις τιμές της θέσης και της ορμής ενός αντικειμένου μια ορισμένη χρονική στιγμή θα τις γνωρίζουμε και κάθε επόμενη χρονική στιγμή. Στη βάση αυτών των δεδομένων ισχυριζόμαστε ότι σύμφωνα με την κλασική περιγραφή τα αντικείμενα συμπεριφέρονται ως άτομα, εφόσον βρίσκονται πάντα σε συνθήκες συγχρονικής και διαχρονικής ταυτότητας και ότι στην κλασική μηχανική η έννοια του αντικειμένου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την έννοια της ατομικότητας.

Την ίδια δυνατότητα δεν έχουμε στην κβαντική μηχανική. Οι κβαντικοί νόμοι της μέτρησης δεν επιτρέπουν τον ακριβή καθορισμό της θέσης και της ορμής ενός αντικειμένου την ίδια χρονική στιγμή, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι από το σύνολο των δυνατών δυναμικών ιδιοτήτων μόνο ένα υποσύνολο αποδίδεται κάθε φορά στο αντικείμενο. Πρόκειται για τις τιμές αμοιβαία *σύμμετρων* (commensurable) παρατηρήσιμων, δηλαδή παρατηρήσιμων των οποίων οι τιμές καθορίζονται μέσα από την ίδια μέτρηση. Επιπλέον η δυναμική εξέλιξη του αντικειμένου, όπως περιγράφεται από την εξίσωση του Schrödinger, δείχνει ότι με την πάροδο του χρόνου και καθώς το αντικείμενο περιέρχεται από μια κατάσταση σε μια άλλη, αλλάζει και το πλήθος των

καλά καθορισμένων δυναμικών ιδιοτήτων τις οποίες κατέχει. Τελικά το αντικείμενο τείνει να βρεθεί σε μια κατάσταση, η οποία δεν ταυτίζεται με κάποια από τις ιδιοκαταστάσεις κάποιου παρατηρήσιμου, ώστε να φέρει κάποια καλά καθορισμένη ιδιότητα. Στις καταστάσεις αυτές η εξατομίκευσή του είναι αδύνατη και ως εκ τούτου συμπεραίνουμε ότι η κβαντική δυναμική δεν περιγράφει εξατομικευμένα αντικείμενα και ότι η συγκρότηση των κβαντικών αντικειμένων δεν γίνεται με γνώμονα την ατομικότητά τους.

Το γεγονός αυτό οδηγεί τον Mittelstaedt στο συμπέρασμα ότι «Άτομα δεν υπάρχουν στην κβαντική μηχανική» και ότι «...σε αυτήν την περιοχή της πραγματικότητας ατομικά συστήματα δεν μπορούν να αναγνωρισθούν»⁴⁰⁰ και επειδή το δίλημμα κλασική – κβαντική φυσική έχει εδώ και δεκαετίες απαντηθεί υπέρ της κβαντικής φυσικής ο αφορισμός του Mittelstaedt ότι «δεν υπάρχει ο κλασικός κόσμος με τη στενή έννοια του όρου»⁴⁰¹ ακούγεται εύλογος. Ωστόσο θα πρέπει να αποφύγουμε τις παρανοήσεις. Η κλασική μηχανική είναι μια ώριμη φυσική θεωρία που περιγράφει αποτελεσματικά τα φαινόμενα του μακρόκοσμου, προβλέπει και εξηγεί με μεγάλη ακρίβεια τις καταστάσεις και τις μεταβολές των καταστάσεων μακροσκοπικών αντικειμένων. Δεν είναι όμως μια καθολικά έγκυρη θεωρία. Η εφαρμογή της περιορίζεται σε αντικείμενα που οι διαστάσεις τους ξεπερνούν κατά πολύ το μήκος κύματος de Broglie και οι ταχύτητές τους είναι πολύ μικρότερες από την ταχύτητα του φωτός. Υπό αυτήν την έννοια η κλασική μηχανική αντιπροσωπεύει το κλασικό όριο από τη μια μεριά της κβαντικής μηχανικής και από την άλλη της ειδικής σχετικότητας και ο κλασικός κόσμος υπάρχει ως το σύνολο των κοσμικών καταστάσεων που διαμορφώνονται και εξελίσσονται μέσα στα όρια ισχύος της κλασικής μηχανικής. Συνεπώς το συμπέρασμα του Mittelstaedt ότι «η έλλειψη ατόμων στη κβαντική φυσική υπονοεί ότι δεν υπάρχουν καθόλου άτομα και ότι δεν υπάρχει γνώση ατομικών αντικειμένων»⁴⁰² συνιστά μία υπερβολή. Πρώτον διότι ζούμε ανάμεσα σε αντικείμενα που συμπεριφέρονται ως άτομα και δεύτερον διότι κάθε αντικείμενο μπορεί να γίνει αντικείμενο παρατήρησης όταν αποκτά εξατομικευτικά χαρακτηριστικά. Εν κατακλείδι η εμπειρική επάρκεια της κλασικής φυσικής δεν επιτρέπει η κλασική και η κβαντική μηχανική να αντιμετωπίζονται ως δύο ασύμβατες φυσικές θεωρίες. Αντίθετα συνιστά πρόοδο κάθε βήμα προς την κατεύθυνση που εξηγεί με ποιο τρόπο ο κλασικά νοούμενος κόσμος αναδύεται μέσα από την υποκείμενη κβαντική πραγματικότητα. Το ζητούμενο είναι οι νόμοι και τα αξιώματα της κβαντικής φυσικής να εξηγούν τον τρόπο ύπαρξης των αντικειμένων γενικά είτε αυτά ανήκουν στον μακρόκομο είτε στον μικρόκομο και να δικαιολογούν την υπό όρους ακρίβεια των κλασικών περιγραφών και προβλέψεων.

⁴⁰⁰ Mittelstaedt, P., (2009), p858

⁴⁰¹ Mittelstaedt, P., (2009), p858

⁴⁰² Mittelstaedt, P., (2009), p858

8.7 Κβαντική φυσική και θεωρία υποστάσεων

Το αίτημα για μια καθολικά έγκυρη φυσική θεωρία έχει το ανάλογό του στη φιλοσοφία. Είναι το αίτημα για καθολικά εφαρμοζόμενες έννοιες. Την παρούσα εργασία απασχόλησε η έννοια του αντικειμένου σε σχέση κυρίως με την έννοια της ατομικότητας. Είναι οι έννοιες οι οποίες κατά κύριο λόγο δοκιμάζονται από τα καινοτόμα κβαντικά φαινόμενα, όπως είναι οι καταστάσεις υπέρθεσης, οι κβαντικές συσχετίσεις και συζεύξεις, η μη διαχωρισιμότητα των κβαντικών καταστάσεων. Από τη σκοπιά της φιλοσοφίας θα συνιστούσε πρόοδο ο επαναπροσδιορισμός της έννοιας του αντικειμένου σε σχέση με την έννοια της ατομικότητας. Ένα βήμα προς την κατεύθυνση αυτή είναι να απορρίψουμε την ατομικότητα ως το αποτέλεσμα της σχέσης ενός αντικειμένου με μια αρχή ατομικότητας και να την ορίσουμε ως τρόπο ύπαρξης των αντικειμένων. Τα αντικείμενα υπάρχουν ως άτομα όταν η εξατομίκευσή τους με την επιστημική της σημασία είναι δυνατή. Οι συνθήκες εξατομίκευσης εξαρτώνται από το είδος των αντικειμένων. Σε κάθε είδος αντικειμένων αντιστοιχεί ένα χώρος καταστάσεων, εντός του οποίου κάποιες καταστάσεις, αν όχι όλες, είναι ιδιοκαταστάσεις της θέσης του στις οποίες, όταν ένα αντικείμενο βρεθεί, γίνεται αντικείμενο παρατήρησης. Τα μακροσκοπικά αντικείμενα βρίσκονται πάντα σε μια ορισμένη θέση και όλες οι δυνατές καταστάσεις τους είναι ιδιοκαταστάσεις της θέσης, διότι οι συνθήκες υπό τις οποίες υπάρχουν είναι και συνθήκες ταυτότητας γι αυτά. Για να βρεθούν όμως τα αντικείμενα του υποατομικού κόσμου σε ιδιοκαταστάσεις της θέσης απαιτείται η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών· απαιτούνται για παράδειγμα συνθήκες όπου συμβαίνουν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις της θέσης έτσι ώστε το αντικείμενο καθώς κινείται να παραμένει για ένα μετρήσιμο χρονικό διάστημα σε μια στενή χωρική περιοχή διαγράφοντας μια ημι-κλασική τροχιά στο χώρο. Στις συνθήκες αυτές αναγνωρίζουμε ένα ατομικό αντικείμενο.

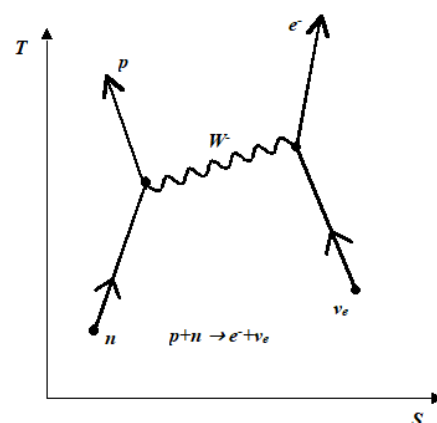
Κατόπιν τούτων προτείνεται ως κατάλληλη μεταφυσική θεωρία περί αντικειμένων η αριστοτελικής προέλευσης θεωρία υποστάσεων. Τούτο διότι θεωρούμε ότι μόνο στο πλαίσιο αυτής της μεταφυσικής προσέγγισης στην έννοια του αντικειμένου είναι δυνατή η υπό συνθήκες εξατομίκευση των αντικειμένων και ως εκ τούτου στο πλαίσιο αυτής της θεωρίας είναι δυνατή η διαμόρφωση μιας καθολικά εφαρμοζόμενης έννοιας αντικειμένου. Κλειδί στη διαμόρφωση αυτής της έννοιας είναι να δεχθούμε ότι τα αντικείμενα δεν εξατομικεύονται χάριν κάποιας γενικής αρχής ατομικότητας, στην οποία υπάγεται το αντικείμενο ώστε να είναι άτομο. *Η έννοια της εξατομίκευσης με τη μεταφυσική της σημασία ενσωματώνεται στην ίδια την έννοια του αντικειμένου ως δυνατότητα, η οποία εκπληρώνεται σε ειδικές κάθε φορά συνθήκες, οι οποίες καθορίζονται από το είδος του αντικειμένου και συνιστούν μέρος του νοήματός του.* Ο ελιγμός αυτός μας επιτρέπει να δεχθούμε ότι τα αντικείμενα δεν εξατομικεύονται και δεν υπάρχουν ως

άτομα σε όλες τις συνθήκες αλλά μόνο στις συνθήκες, οι οποίες είναι συνθήκες ταυτότητας γι' αυτά. Ο κομβικός ρόλος του είδους στη διαμόρφωση μιας ευρύτερης έννοιας αντικειμένου που να βρίσκει εφαρμογή σε κάθε πτυχή της πραγματικότητας είναι εμφανής. Και αυτός είναι ένας επιπλέον σημαντικός λόγος να στραφούμε προς την θεωρία υποστάσεων.

Ας μετρήσουμε πλεονεκτήματα! Η υπαγωγή των αντικειμένων σε ένα ορισμένο είδος εγγυάται από μεταφυσική σκοπιά την αριθμησιμότητά τους. Κάθε αντικείμενο είναι πραγμάτωση ενός ορισμένου είδους και κάθε πραγμάτωση ενός είδους σηματοδοτεί την ύπαρξη ενός αντικειμένου. Επιπλέον η έννοια του είδους εγγυάται την αριθμητική διαφορά μη διακρίσιμων αντικειμένων. Είναι φυσικά δυνατόν δύο αντικείμενα του ίδιου είδους να βρίσκονται στην ίδια κατάσταση να μοιράζονται δηλαδή τις ίδιες ακριβώς ιδιότητες και να εξακολουθούν να είναι δύο ξεχωριστά αντικείμενα, διότι αποτελούν δύο πραγματώσεις ενός ορισμένου είδους. Στην κβαντική φυσική το στοιχείο αυτό αποκτά ιδιαίτερη αξία εξ αιτίας του φαινομένου της μη διακρισιμότητας στα συστήματα πολλών-όμοιων-σωματιδίων. Τα σωματίδια τέτοιων συστημάτων ανήκουν όλα στο ίδιο είδος και βρίσκονται σε κατάσταση υπέρθεσης όπου και μοιράζονται όχι μόνο τις ίδιες αναλλοίωτες αλλά και τις ίδιες δυναμικές ιδιότητες υπό την έννοια ότι στις καταστάσεις υπέρθεσης για κάθε σωματίδιο οι αναμενόμενες τιμές κάθε δυνατού παρατηρήσιμου είναι ίσες. Όμως παρά τη μη διακρισιμότητά τους η αριθμησιμότητα είναι εξηγήσιμη στο πλαίσιο της θεωρίας υποστάσεων. Τέτοιου είδους κβαντικά συστήματα αποτελούν (ή τουλάχιστον εκδηλώνονται ως) αριθμήσιμα πλήθη σωματιδίων, διότι κάθε στοιχειώδες υποσύστημά τους μετράει ως *μία* πραγμάτωση ενός ορισμένου είδους. Οι πραγματώσεις ενός είδους παρέχουν τη μονάδα μέτρησης για κάθε πολλαπλότητα όμοιων αντικειμένων και άρα η αριθμότητά τους είναι μεταφυσικά δυνατή.

Το είδος είναι καθόλου ον, το οποίο αντιπροσωπεύει ένα καθορισμένο σχέδιο ύπαρξης. Κάθε είδος χαρακτηρίζεται από ουσιώδεις ιδιότητες, δηλαδή ιδιότητες οι οποίες αποτελούν αναγκαία και ικανή συνθήκη για την υπαγωγή ενός αντικειμένου σε ένα ορισμένο είδος. Το είδος καθορίζει επίσης τις δυνατές καταστάσεις, στις οποίες είναι δυνατόν να βρεθούν τα αντικείμενα που το πραγματώνουν και υπό την έννοια αυτή καθορίζει και τις δυνατές τιμές των ενδεχομενικών ιδιοτήτων τους. Στην πειραματική κβαντική φυσική τα σωματίδια ανιχνεύονται ως σωματίδια ορισμένου είδους με κριτήριο τις αναλλοίωτες ιδιοτητές τους οι οποίες είναι και ουσιώδεις ιδιότητες του είδους στο οποίο ανήκουν. Με δεδομένες τις αναλλοίωτες ιδιότητες ενός ορισμένου είδους, είναι δυνατόν να καθορισθεί το σύνολο των δυνατών καταστάσεων και των δυναμικών/ενδεχομενικών ιδιοτήτων που τις χαρακτηρίζουν, για κάθε σωματίδιο του εν λόγω είδους.

Επιπλέον το είδος καθορίζει το εύρος των μεταβολών, το οποίο μπορεί να υποστεί ένα αντικείμενο παραμένοντας αντικείμενο του ίδιου είδους. Δεδομένης της διάκρισης μεταξύ ουσιωδών και ενδεχομενικών ιδιοτήτων, όταν η μεταβολή ενός αντικειμένου συνίσταται στη μεταβολή μιας ουσιώδους ιδιότητάς του, τότε είναι σαφές ότι μετά τη μεταβολή δεν μπορούμε να μιλάμε για το ίδιο αντικείμενο. Το αντικείμενο πριν και το αντικείμενο μετά ανήκουν σε διαφορετικά είδη που διέπονται από διαφορετικά κριτήρια ταυτότητας και άρα είναι δύο διαφορετικά αντικείμενα. Με άλλα λόγια το αντικείμενο πριν παύει να υφίσταται και ένα νέο αντικείμενο δημιουργείται. Η καταστροφή και η δημιουργία υποατομικών σωματιδίων είναι αποτελέσματα αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν στον υποατομικό κόσμο και αποτελούν αντικείμενο μελέτης της θεωρητικής και πειραματικής φυσικής. Οι συγκρούσεις πρωτονίων στα πειράματα υψηλής ενέργειας επιφέρουν ουσιώδεις μεταβολές, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή των πρωτονίων και τη δημιουργία νέων σωματιδίων διαφορετικών ειδών. Σε θεωρητικό επίπεδο τα διαγράμματα Feynman αναπαριστούν τέτοιου είδους αλληλεπιδράσεις. Το διάγραμμα της εικόνας για παράδειγμα δείχνει πώς ένα νετρόνιο μαζί με ένα εισερχόμενο νεutrino μπορούν να μετατραπούν σε ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο ανταλλάσσοντας ένα μποζόνιο W^- , το οποίο είναι ο φορέας της ασθενούς αλληλεπίδρασης. Βέβαια το διάγραμμα αναπαριστά μία μόνο από τις δυνατές διαδικασίες πραγματοποίησης της αλληλεπίδρασης και σύμφωνα με την κβαντική ηλεκτροδυναμική κάθε δυνατή διαδικασία έχει μια ορισμένη πιθανότητα να συμβεί, η οποία μειώνεται δραματικά όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα της διαδικασίας. Στην πραγματικότητα η ίδια η διαδικασία αλληλεπίδρασης παραμένει άγνωστη. Το W^- σωματίδιο δεν είναι ανιχνεύσιμο⁴⁰³ και η δημιουργία/εκπομπή του όπως και η καταστροφή/απορρόφησή του είναι ένα τρόπος εξήγησης του φαινομένου, κατά το οποίο καταστρέφονται ένα νετρόνιο και ένα νεutrino και δημιουργούνται ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Σε κάθε περίπτωση όμως η περιγραφή τέτοιου είδους αλληλεπιδράσεων εμπλέκει ουσιωδώς την έννοια του είδους. Τα σωματίδια τα οποία καταστρέφονται και δημιουργούνται και τα σωματίδια αλληλεπίδρασης είναι όλα σωματίδια ενός ορισμένου είδους και οι μεταβολές συμβαίνουν πάντα μέσα στο πλαίσιο των δυνατοτήτων του κάθε εμπλεκόμενου είδους.



⁴⁰³ Τα σωματίδια που ανταλλάσσονται κατά τη διάρκεια μιας αλληλεπίδρασης αναφέρονται ως *εικονικά σωματίδια* (virtual particles), διότι πέραν του ότι δεν είναι ανιχνεύσιμα, η δημιουργία τους παραβιάζει την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Ωστόσο η δημιουργία ενός εικονικού σωματιδίου καλύπτεται από την αρχή της απροσδιοριστίας. Το εικονικό σωματίδιο δημιουργείται «δανειζόμενο» ένα ποσό ενέργειας ΔE για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα Δt που καθορίζεται από την ειδική σχέση απροσδιοριστίας $\Delta E \cdot \Delta t \leq \hbar$ την οποία όμως επιστρέφει όταν καταστρέφεται.

Τα είδη τέλος καθορίζουν τις συνθήκες ταυτότητας των αντικειμένων, καθορίζουν με άλλα λόγια τις συνθήκες υπό τις οποίες τα αντικείμενα επιδεικνύουν εξατομικευμένη συμπεριφορά, γίνονται δηλαδή μεμονωμένα αντικείμενα αντίληψης, σκέψης και γλωσσικής αναφοράς. Η αρχή της θεωρίας υποστάσεων, σύμφωνα με την οποία τα αντικείμενα εξατομικεύονται κατά είδος, μας αποδεσμεύει από το δίλημμα άτομα ή όχι-άτομα και επιτρέπει στα αντικείμενα μια διττή συμπεριφορά, η οποία συμμορφώνεται με την αρχή του κυματοσωματιδιακού дуΐσμού.

Η ύπαρξη αντικειμένων θεμελιώνεται στην κοινή μας πεποίθηση ότι οι ιδιότητες που παρατηρούμε στον κόσμο φέρονται από *κάτι* και ότι ο κόσμος δεν είναι ένα puzzle ιδιοτήτων, δηλαδή ιδιοτήτων που κατανέμονται στο χώρο και ανακατανέμονται με το χρόνο. Έτσι τα αντικείμενα ορίζονται πρωταρχικά και κύρια ως οι φορείς των ιδιοτήτων και κατανοούμε τις ποιοτικές μεταβολές που παρατηρούμε να συμβαίνουν στο κόσμο ως μεταβολές των ιδιοτήτων που φέρουν τα αντικείμενα. Τα κβαντικά σωματίδια παρά τις σημαντικές διαφορές τους από τα αντικείμενα του κοινού νου και τα αντικείμενα της κλασικής φυσικής, ανταποκρίνονται στο ορισμό των αντικειμένων, εφόσον φέρουν ιδιότητες και υφίστανται μεταβολές όταν οι ιδιότητές τους αλλάζουν. Γι αυτό μπορούν να θεωρούνται αντικείμενα. Αν αυτό γίνει αποδεκτό, τότε σκοπός της φιλοσοφίας είναι ο επαναπροσδιορισμός της έννοιας του αντικειμένου, ώστε αυτή να βρίσκει καθολική εφαρμογή. Προς την κατεύθυνση αυτή η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να αποτελεί μια ελάχιστη συμβολή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

A1) Έστω ότι δύο στατιστικά διακρίσιμα μποζόνια πρόκειται να κατανεμηθούν σε δύο μποζονικές καταστάσεις. Ας υποθέσουμε ότι αρχικά οι δύο διαθέσιμες καταστάσεις είναι κενές. Τότε τα δύο ενδεχόμενα είτε το σωματίδιο a_1 είτε το σωματίδιο a_2 να καταλάβει την 1^n κατάσταση είναι στατιστικά ισοδύναμα και μοιράζονται την ίδια πιθανότητα. Έτσι η πιθανότητα το a_1 να βρεθεί στην 1^n κατάσταση θα είναι $P(a_1, 1^n) = 1/2$ και ομοίως η πιθανότητα το a_2 να βρεθεί στην ίδια κατάσταση θα είναι $P(a_2, 1^n) = 1/2$. Ποια θα είναι όμως η πιθανότητα το μποζόνιο a_2 να βρεθεί στην 1^n κατάσταση όταν το μποζόνιο a_1 βρίσκεται ήδη σε αυτή; Την απάντηση στο ερώτημα αυτό δίνει η τιμή της δεσμευμένης πιθανότητας $P((a_2, 1^n)/(a_1, 1^n))$.

Σύμφωνα με τον λογισμό των πιθανοτήτων η τιμή της δεσμευμένης πιθανότητας $P(B/A)$ να συμβεί το ενδεχόμενο B υπό την προϋπόθεση ότι έχει ήδη συμβεί το ενδεχόμενο A υπολογίζεται γενικά από τον τύπο: $P(B/A) = \frac{P(A,B)}{P(A)}$ (1) όπου $P(A,B)$ είναι η πιθανότητα τα ενδεχόμενα A και B να συμβούν και τα δύο και $P(A)$ η πιθανότητα να συμβεί μόνο το A . Στην περίπτωση μας το ενδεχόμενο A ταυτίζεται με το ενδεχόμενο $(a_1, 1^n)$, το ενδεχόμενο B με το ενδεχόμενο $(a_2, 1^n)$ και το ενδεχόμενο (A,B) ταυτίζεται με το ενδεχόμενο τα σωματίδια a_1 και a_2 να βρεθούν και τα δύο στην 1^n κατάσταση. Με δεδομένο ότι $P(A,B) = 1/3$ και $P(A) = 1/2$ η δεσμευμένη πιθανότητα $P(B/A)$ το σωματίδιο a_1 να βρεθεί στην 1^n κατάσταση ενώ το σωματίδιο a_2 βρίσκεται ήδη σε αυτή προκύπτει σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο ίση με $2/3$. Διαπιστώνουμε έτσι ότι η τιμή της δεσμευμένης πιθανότητας $P((a_2, 1^n)/(a_1, 1^n))$ είναι μεγαλύτερη από την τιμή της πιθανότητας $P(a_2, 1^n)$.

Εργαζόμενοι με ανάλογο τρόπο διαπιστώνουμε την τάση που εμφανίζει το κάθε σωματίδιο να αποφεύγει τις καταστάσεις, οι οποίες δεν είναι ήδη κατειλημμένες. Αυτό επιβεβαιώνει η τιμή της δεσμευμένης πιθανότητας $P((a_2, 2^n)/(a_1, 1^n))$ το σωματίδιο a_2 να βρεθεί στην 2^n κατάσταση όταν το σωματίδιο a_1 έχει καταλάβει την 1^n κατάσταση. Την πιθανότητα αυτή τη βρίσκουμε να είναι ίση με $1/3$ δηλαδή να είναι μικρότερη από την τιμή της πιθανότητας $P(a_2, 1^n)$.

A2) Έστω ότι δύο στατιστικά διακρίσιμα φερμιόνια πρόκειται να καταλάβουν δύο φερμιονικές καταστάσεις. Ας υποθέσουμε και πάλι ότι αρχικά οι δύο διαθέσιμες καταστάσεις

είναι κενές. Τότε τα δύο ενδεχόμενα είτε το σωματίδιο α_1 είτε το σωματίδιο α_2 να καταλάβει την 1^{η} κατάσταση είναι στατιστικά ισοδύναμα και μοιράζονται την ίδια πιθανότητα. Έτσι η πιθανότητα το α_1 να βρεθεί στην 1^{η} κατάσταση θα είναι $P(a_1, 1^{\eta}) = 1/2$ και ομοίως η πιθανότητα το α_2 να βρεθεί στην ίδια κατάσταση θα είναι $P(a_2, 1^{\eta}) = 1/2$. Ωστόσο η Απαγορευτική Αρχή επιβάλλει η πιθανότητα $P((a_2, 1^{\eta}), (a_1, 1^{\eta}))$ τα δύο σωματίδια να βρεθούν στην 1^{η} κατάσταση να είναι μηδέν και η συμπληρωματική της πιθανότητα $P((a_2, 2^{\eta}), (a_1, 1^{\eta}))$ το σωματίδιο α_2 να βρεθεί στη 2^{η} κατάσταση και το α_1 στην 1^{η} θα είναι ίση με τη μονάδα. Κατόπιν τούτου, όταν το σωματίδιο α_1 έχει ήδη καταλάβει την 1^{η} κατάσταση, τότε εφαρμόζοντας και πάλι τον τύπο (1) προκύπτει ότι η δεσμευμένη πιθανότητα $P((a_2, 1^{\eta}) / (a_1, 1^{\eta}))$ το α_2 να καταλάβει την 1^{η} κατάσταση όταν το α_1 έχει ήδη καταλάβει την 1^{η} κατάσταση είναι ίση με μηδέν. Αντίστοιχα η δεσμευμένη πιθανότητα $P((a_2, 2^{\eta}) / (a_1, 1^{\eta}))$ το α_2 να βρεθεί στην 2^{η} κατάσταση όταν το α_1 βρίσκεται στην 1^{η} κατάσταση είναι ίση με τη μονάδα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Ο Quine προκειμένου να καταλήξει στον ορισμό της ασθενούς διακρισιμότητας ξεκινά από την έννοια της πλήρους μη διακρισιμότητας λέγοντας ότι για να είναι δύο αντικείμενα a και b σε κάθε περίπτωση μη διακρίσιμα, θα πρέπει για όλες τις ανοιχτές προτάσεις $r(x_1, x_2, \dots, x_n)$ και ανεξάρτητα από το πλήθος των μεταβλητών να ισχύει:

$$\forall x_1, \dots, \forall x_{i-1}, \forall x_{i+1}, \dots, \forall x_n (r(x_1, \dots, x_{i-1}, a, x_{i+1}, \dots, x_n) \leftrightarrow r(x_1, \dots, x_{i-1}, b, x_{i+1}, \dots, x_n)) \quad (1)$$

όπου $i=1, 2, \dots, n$. Συνεπώς τα a και b θα είναι μη διακρίσιμα όταν σε όλες τις δυνατές προτάσεις το a μπορεί να πάρει τη θέση του b και αντιστρόφως χωρίς να αλλάξει η αληθοτιμή της πρότασης. Κατόπιν τούτου, τα a και b θα είναι ασθενώς διακρίσιμα αν, σε αντίθεση με την (1) υπάρχει μια ανοιχτή πρόταση $r(x_1, x_2, \dots, x_n)$ για την οποία ισχύει:

$$\exists x_1, \dots, \exists x_{i-1}, \exists x_{i+1}, \dots, \exists x_n (r(x_1, \dots, x_{i-1}, a, x_{i+1}, \dots, x_n) \wedge \neg r(x_1, \dots, x_{i-1}, b, x_{i+1}, \dots, x_n)) \quad (2)$$

Ο τύπος (2) είναι ο καταρχήν ορισμός που δίνει ο Quine για την ασθενή διακρισιμότητα. Η δέσμευση όμως των $n-1$ μεταβλητών της $r(x_1, x_2, \dots, x_n)$ με υπαρκτικούς ποσοδείκτες τη μετασχηματίζει σε μια ανοιχτή πρόταση μιας μόνο μεταβλητής, την οποία μπορούμε για λόγους συντομίας να αναπαριστάσουμε με την πρόταση $r^*(x)$ όπου $r^*(x) = \exists x_1, \dots, \exists x_{i-1}, \exists x_{i+1}, \dots, \exists x_n r(x_1, \dots, x_{i-1}, x, x_{i+1}, \dots, x_n)$. Κατόπιν τούτου τα a και b είναι ασθενώς διακρίσιμα όταν η $r^*(x)$ αληθεύει για το αντικείμενο a όχι όμως και για το αντικείμενο b και έτσι ο τύπος (2) μπορεί να αντικατασταθεί από ένα συντομότερο τύπο της μορφής:

$$r^*(a) \wedge \neg r^*(b) \quad (3).$$

Η ασθενής διακρισιμότητα όπως αποδίδεται από τον τύπο (3) δεν πρέπει να συγχέεται με την κατά Quine απόλυτη διακρισιμότητα. Τα αντικείμενα a και b είναι ασθενώς διακρίσιμα όταν ικανοποιούν μια πρόταση της μορφής $r^*(x_1) \wedge \neg r^*(x_2)$ η οποία έχει μεν τα x_1 και x_2 ως μοναδικές μεταβλητές όμως δεν πρόκειται για τη σύζευξη δύο προτάσεων με μεταβλητές τα x_1 και x_2 αντίστοιχα, οι οποίες λαμβάνουν τιμές αλήθειας ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Ο ίδιος ο Quine επισημαίνει τη διαφορά κάνοντας λόγο για μια επιπλέον λανθάνουσα εμφάνιση της x_1 ή της x_2 εντός της r^* και γι αυτό θα πει ότι τελικά, ο καλύτερος τρόπος συντόμευσης του τύπου (3) θα ήταν ένας τύπος της μορφής:

$$R(a, b) \wedge R(b, a) \wedge \neg R(a, a) \wedge \neg R(b, b)$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Χωρίς να μπούμε σε πολλές τεχνικές λεπτομέρειες θα αναφέρουμε ορισμένα βασικά στοιχεία του φορμαλισμού του χώρου Fock. Έστω A ένας τελεστής ενός μονοσωματιδιακού χώρου Hilbert $\mathcal{H}_1$ που αναπαριστά ένα φυσικό μέγεθος και έστω επίσης $a_1, a_2, a_3, \dots$ το φάσμα των ιδιοτιμών του που για λόγους απλότητας το θεωρούμε διακριτό και πεπερασμένο. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο των αντίστοιχων ιδιοδιανυσμάτων που συμβολίζουμε ως $|a_1\rangle, |a_2\rangle, |a_3\rangle, \dots$, συγκροτούν μια ορθοκανονική βάση του $\mathcal{H}_1$. Όταν περνάμε στο χώρο Fock υιοθετείται ένας νέος συμβολισμός για τα διανύσματα βάσης που δεν εμπλέκει αναφορικά σύμβολα. Έτσι το $|a_1\rangle$ γράφεται $|1,0,0,\dots\rangle_A$ και θα το κατανοούμε ως το διάνυσμα που αναπαριστά την κατάσταση ενός σωματιδίου που φέρει την ιδιότητα a_1 . Ομοίως το $|a_2\rangle$ γράφεται $|0,1,0,\dots\rangle_A$ και θα το κατανοούμε ως το διάνυσμα που αναπαριστά την κατάσταση ενός σωματιδίου που φέρει την ιδιότητα a_2 κ.ο.κ.⁴⁰⁴ Στη βάση αυτού του συμβολισμού αναπαριστάνουμε την κατάσταση δύο σωματιδίων με ιδιοτιμή a_1 , με το διάνυσμα $|2,0,0,\dots\rangle_A$ ⁴⁰⁵ το οποίο θα είναι ένα νέο διάνυσμα βάσης του χώρου Fock. Παρόμοια η αναπαράσταση της κατάστασης δύο σωματιδίων με ιδιοτιμή a_1 και πέντε σωματιδίων με ιδιοτιμή a_3 , θα είναι το διάνυσμα βάσης $|2,0,5,0,\dots\rangle_A$. Στη γενική περίπτωση που σε κάθε ιδιοτιμή a_i του τελεστή A αντιστοιχεί ένα πλήθος n_i σωματιδίων θα αναπαριστάνουμε την κατάσταση του όλου συστήματος με το διάνυσμα $|n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_m\rangle_A$. Το διάνυσμα αυτό μας πληροφορεί για την πραγμάτωση της ιδιότητας a_i , καθώς και για το πλήθος n_i των σωματιδίων που φέρονται να την πραγματώνουν μετά από μια μέτρηση, χωρίς να γίνεται αναφορά σε κάποιο συγκεκριμένο σωματίδιο. Οι αριθμοί n_i ονομάζονται *αριθμοί κατάληψης* (occupation numbers) και είναι ιδιοτιμές της ομάδας των *πληθικών τελεστών* (numbers operators) $N_i^{(A)}$, δηλαδή των τελεστών οι οποίοι όταν ενεργούν στο διάνυσμα $|n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_k\rangle_A$ αναδεικνύουν το πλήθος n_i των σωματιδίων, τα οποία θα βρεθούν να κατέχουν την ιδιότητα a_i . Ισχύει δηλαδή ότι:

$$N_i^{(A)} |n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_m\rangle_A = n_i |n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_m\rangle_A$$
⁴⁰⁶

Επιπλέον κάθε πληθικός τελεστής $N_i^{(A)}$ είναι το γινόμενο δύο μη αυτοσυζυγών τελεστών, $a_i^\dagger, a_i$, στους οποίους αναφερόμαστε ως τελεστές *δημιουργίας* (creation) και *καταστροφής*

⁴⁰⁴ Ο συμβολισμός αυτός προϋποθέτει ότι το σύνολο των ιδιοτιμών είναι ένα διατεταγμένο σύνολο ώστε να μπορούμε να αναφερόμαστε στην $1^\eta, 2^\eta, \dots$ ιδιοτιμή.

⁴⁰⁵ Το διάνυσμα $|2,0,0,\dots\rangle_A$ δεν ανήκει στο χώρο $\mathcal{H}_1$ και δεν πρέπει να το συγχέουμε με το διάνυσμα $2|1,0,0,\dots\rangle_A$.

⁴⁰⁶ Είναι φανερό ότι ενώ στην περίπτωση ενός μποζονικού συστήματος δεν υπάρχει περιορισμός στις τιμές που μπορούν να λάβουν οι αριθμοί κατάληψης των ιδιοκαταστάσεων ενός παρατηρήσιμου μεγέθους, στην περίπτωση των φερμιονικών συστημάτων η Απαγορευτική Αρχή του Pauli περιορίζει τις τιμές αυτές στο 0 και 1.

(annihilation) αντίστοιχα και οι οποίοι είναι συζυγείς ο ένας του άλλου. Η εφαρμογή τους σε ένα διάνυσμα βάσης του χώρου Fock έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί ή να ελαττωθεί αντίστοιχα κατά μία μονάδα ο αριθμός κατάληψης n_i . Οι τελεστές δημιουργίας και καταστροφής, για τους οποίους ισχύει $N_i^{(A)} = a_i^\dagger a_i$, ορίζονται από τις προτάσεις:

$$a_i^\dagger | \dots n_i, \dots \rangle_A = \sqrt{n_i + 1} | \dots n_i + 1, \dots \rangle_A \quad \text{και} \quad a_i | \dots n_i, \dots \rangle_A = \sqrt{n_i} | \dots n_i - 1, \dots \rangle_A$$

και παρέχουν μια ιδιαίτερα ευκρινή περιγραφή του χώρου Fock, ως ενός χώρου που δομείται βήμα-βήμα από τα διανύσματα που αναπαριστούν *καταστάσεις κενού* (vacuum states) δηλαδή καταστάσεις όπου δεν μπορούν να βρεθούν σωματίδια. Συγκεκριμένα κάθε διάνυσμα βάσης του χώρου Fock μπορεί να προκύψει από την ενέργεια του τελεστή δημιουργίας στο διάνυσμα $|0\rangle_A = |0, 0, \dots, 0, \dots\rangle_A$ που αναπαριστά μια κατάσταση κενού. Δηλαδή το διάνυσμα $|n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_k\rangle_A$ κατασκευάζεται μέσω της εφαρμογής του $a_1^\dagger$ για n_1 φορές, του $a_2^\dagger$ για n_2 φορές κ.ο.κ. στο διάνυσμα $|0, 0, \dots, 0, \dots\rangle_A$.

Επίσης οι μεταθετικές σχέσεις των τελεστών καταστροφής και δημιουργίας του χώρου Fock στην περίπτωση των μποζονικών συστημάτων διαφέρουν από τις αντίστοιχες σχέσεις στην περίπτωση των φερμιονικών συστημάτων. Έτσι οι μεταθετικές σχέσεις των τελεστών δημιουργίας $a_i^\dagger$ και καταστροφής a_i , στην περίπτωση των μποζονίων είναι τέτοιες ώστε η δράση του τελεστή δημιουργίας $a_i^\dagger$ σε ένα διάνυσμα βάσης του χώρου Fock να αυξάνει κάθε φορά κατά μια μονάδα τον αριθμό κατάληψης n_i και η δράση του τελεστή καταστροφής a_i να μειώνει αντίστοιχα κατά μία μονάδα τον αριθμό κατάληψης n_i . Επιπλέον, όταν ο αριθμός κατάληψης n_i είναι ήδη μηδέν, τότε από τη δράση του τελεστή καταστροφής a_i προκύπτει το διάνυσμα του κενού. Στην περίπτωση όμως των φερμιονίων οι αντίστοιχες μεταθετικές σχέσεις είναι τέτοιες ώστε η δράση του τελεστή δημιουργίας $a_i^\dagger$ σε ένα διάνυσμα βάσης του χώρου Fock να αυξάνει τον αριθμό κατάληψης n_i αποκλειστικά από 0 σε 1, ενώ η δράση του τελεστή καταστροφής a_i , να ελαττώνει τον αριθμό κατάληψης n_i αποκλειστικά από 1 σε 0. Επιπλέον όταν ο αριθμός κατάληψης n_i είναι μηδέν από τη δράση του τελεστή καταστροφής a_i θα προκύπτει το διάνυσμα του κενού. Αντίστοιχα όταν ο αριθμός κατάληψης n_i είναι ένα, τότε το διάνυσμα του κενού θα προκύπτει από τη δράση του τελεστή δημιουργίας $a_i^\dagger$.

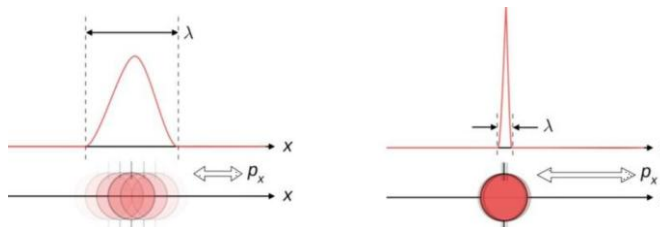
Όταν δίνεται ένα *καθορισμένο* πλήθος N σωματιδίων, τα διανύσματα $|n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_m\rangle_A$ που ικανοποιούν τη συνθήκη $\sum_i n_i = N$ είναι ιδιοκαταστάσεις του συστήματος, κάθε μια εκ των οποίων αναπαριστά μια διαμόρφωσή του, που είναι δυνατόν να προκύψει όταν τα N σωματίδια κατανέμονται στις m ιδιοκαταστάσεις του παρατηρήσιμου A . Τα διανύσματα αυτά συγκροτούν μια ορθοκανονική βάση του χώρου $\mathcal{H}_N$, ο οποίος είναι υποχώρος του χώρου Fock, εντός του

οποίου περιγράφουμε κβαντικά συστήματα πληθικότητας N . Αν για παράδειγμα το $N=2$ οι ιδιοκαταστάσεις του συστήματος θα είναι τα διανύσματα: $|1,1,0,0\dots\rangle_A$, $|1,0,1,0\dots\rangle_A$, $|1,0,0,1\dots\rangle_A$, ..., $|2,0,0,0\dots\rangle_A$, $|0,2,0,0\dots\rangle_A$, ... τα οποία συγκροτούν μια ορθοκανονική βάση στο χώρο $\mathcal{H}_2$. Θα πρέπει εντούτοις να επισημάνουμε ότι ο χώρος $\mathcal{H}_2$ δεν είναι το τανυστικό γινόμενο $\mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_1$. Στην πραγματικότητα ο χώρος $\mathcal{H}_2$ είναι ισομορφικός με τον υποχώρο του $\mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_1$, ο οποίος αποτελείται από το σύνολο των συμμετρικών ή αντισυμμετρικών διανυσμάτων, ανάλογα με το εάν η περιγραφή αφορά μποζόνια ή φερμιόνια αντίστοιχα. Έτσι ο χώρος Fock στην πληρότητά του ορίζεται ως το άμεσο άθροισμα (direct sum) όλων των υποχώρων $\mathcal{H}_0$, $\mathcal{H}_1$, $\mathcal{H}_2$, ..., εντός των οποίων περιγράφουμε καταστάσεις με κανένα, ένα, δύο, ... σωματίδια και είναι απαλλαγμένος από την πλεονάζουσα δομή των μη (αντι)συμμετρικών καταστάσεων. Σύμφωνα με τα παραπάνω το συμμετρικό διάνυσμα $\frac{1}{\sqrt{2}}(|x\rangle_1|y\rangle_2 + |y\rangle_1|x\rangle_2)$ του χώρου $\mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_1$ αντιστοιχεί στο διάνυσμα $|1,1\rangle_A$ του χώρου $\mathcal{H}_2$, όπου έχουμε υποθέσει ότι το παρατηρήσιμο A λαμβάνει μόνο τις ιδιοτιμές x και y . Το διάνυσμα $|1,1\rangle_A$ μας πληροφορεί ποιος συνδυασμός ιδιοτήτων πραγματώνεται και ποιο είναι το πλήθος των πραγματώσεων της κάθε ιδιότητας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Η τυπική διάκριση μεταξύ μιας σωματιδιακής θεωρίας και μιας θεωρίας πεδίων είναι ότι η μεν πρώτη αποδίδει ιδιότητες σε σωματίδια, η δε δεύτερη αποδίδει ιδιότητες σε σημεία του χώρου. Ωστόσο στις κβαντικές θεωρίες σε κάθε εκδοχή τους οι ιδιότητες δεν αποδίδονται με τον κλασικά νοούμενο τρόπο. Σε αντίθεση με τα κλασικά συστήματα είναι αδύνατο να γνωρίζουμε την ίδια στιγμή όλες τις δυνατές ιδιότητες ενός κβαντικού συστήματος. Οι μόνες ιδιότητες που μπορούν να αποδοθούν σε ένα κβαντικό σύστημα είναι οι σύμμετρες ιδιότητες, αυτές δηλαδή που μπορούν να αποδοθούν στο σύστημα μέσα από την ίδια πειραματική διαδικασία. Ο περιορισμός αυτός είναι συνέπεια της αρχής της απροσδιοριστίας, σύμφωνα με την οποία η απροσδιοριστία στη θέση Δx και στην ορμή Δp πρέπει να ικανοποιούν τη σχέση $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$ έτσι ώστε η θέση q και η ορμή p να μην έχουν την ίδια στιγμή ακριβείς τιμές. Η θεμελιώδης αυτή διαφορά ενσωματώνεται στον φορμαλισμό των κβαντικών θεωριών μέσω της διαδικασίας της κανονικής κβάντωσης, η οποία μπορεί να εφαρμόζεται είτε σε μια κλασική σωματιδιακή θεωρία είτε σε μια κλασική θεωρία πεδίου. Η διαδικασία έχει ως εξής:

Ορίζουμε καταρχήν έναν διανυσματικό χώρο ως αναπαραστατικό χώρο των κβαντικών καταστάσεων, οι τελεστές του οποίου προορίζονται για τις αναπαραστάσεις φυσικών μεγεθών. Βρίσκουμε στη συνέχεια δύο τελεστές $\hat{q}$ και $\hat{p}$ αυτού του χώρου που ικανοποιούν την



Σχηματική αναπαράστασή της αρχής της απροσδιοριστίας: η απροσδιοριστία της θέσης μειώνεται όταν αυξάνεται η απροσδιοριστία της ορμής και αντιστρόφως

«κανονική σχέση μετάθεσης», $[\hat{q}, \hat{p}] = i\hbar$ όταν πρόκειται για ένα σύστημα μποζονίων ή την «κανονική σχέση αντιμετάθεσης» $[\hat{q}, \hat{p}]_+ = i\hbar$, όταν πρόκειται για σύστημα φερμιονίων.⁴⁰⁷ Οι κανονικές σχέσεις (αντι)μετάθεσης επιβάλλονται προκειμένου να ισχύει η αρχή της απροσδιοριστίας. Οι τελεστές $\hat{q}$ και $\hat{p}$ εκφράζουν τους βαθμούς ελευθερίας του συστήματος και ονομάζονται αντίστοιχα «κανονική θέση» και «κανονική ορμή». Τέλος με οδηγό την κλασική χαμιλτονιανή κατασκευάζουμε τον χαμιλτονιανό τελεστή αντικαθιστώντας τις κλασικές μεταβλητές της θέσης και της ορμής με τους αντίστοιχους τελεστές. Ο χαμιλτονιανός τελεστής $\hat{H} = \hat{H}(\hat{q}, \hat{p})$ είναι ο τελεστής ενέργειας του συστήματος και καθορίζει τις επιτρεπόμενες

⁴⁰⁷ Η κανονική σχέση μετάθεσης ορίζει ότι οι τελεστές $\hat{q}$ και $\hat{p}$ δεν μετατίθενται ότι δηλαδή ισχύει $\hat{q} \cdot \hat{p} \neq \hat{p} \cdot \hat{q}$ ενώ η κανονική σχέση αντιμετάθεσης ορίζει ότι οι τελεστές $\hat{q}$ και $\hat{p}$ δεν αντιμετατίθενται ότι δηλαδή ισχύει $\hat{q} \cdot \hat{p} \neq -\hat{p} \cdot \hat{q}$

ενεργειακές καταστάσεις του. Έτσι αν το διάνυσμα κατάστασης του συστήματος $|s\rangle$ ικανοποιεί τη σχέση $\hat{H}|s\rangle = E|s\rangle$ όπου E ένας πραγματικός αριθμός, τότε το σύστημα έχει ενέργεια E και η κατάσταση $|s\rangle$ είναι ιδιοκατάσταση του συστήματος. Ένα κβαντικό σύστημα έχει καθορισμένη ενέργεια αν και μόνο αν βρίσκεται σε μια ιδιοκατάσταση. Κάθε άλλη κατάσταση είναι υπέρθεση ιδιοκαταστάσεων και στις καταστάσεις υπέρθεσης η ενέργεια δεν έχει καθορισμένη τιμή.

Μέσα από τη διαδικασία της κβάντωσης μεταβαίνουμε από την κλασική νευτώνια φυσική στην κβαντική μηχανική. Για παράδειγμα η χαμιλτονιανή ενός κλασικού σωματιδίου, το οποίο κινείται σε μια διάσταση υπό την επίδραση ενός δυναμικού $V(x)$, δίνεται από τη σχέση:

$$H = \frac{p^2}{2m} + V(x) \text{ όπου } x \text{ και } p = m \frac{dx}{dt} \text{ είναι οι μεταβλητές της θέσης και της ορμής. Αν ο}$$

διανυσματικός χώρος των κβαντικών καταστάσεων είναι ένας χώρος συναρτήσεων $\psi(x)$ και εφόσον οι τελεστές $\hat{x} = x$ και $\hat{p} = -i\hbar \frac{d}{dx}$ ικανοποιούν την κανονική σχέση μετάθεσης $[\hat{q}, \hat{p}] = i\hbar$

τότε ο χαμιλτονιανός τελεστής είναι $\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x)$. Κατόπιν τούτων οι επιτρεπτές τιμές ενέργειας ενός κβαντικού σωματιδίου θα καθορίζονται από την εξίσωση $\hat{H}[\psi(x)] = E\psi(x)$ ή

ισοδύναμα την εξίσωση $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \psi(x) + V(x)\psi(x) = E\psi(x)$ που δεν είναι άλλη από την *κυματική εξίσωση του Schrödinger!*

Ας δούμε τώρα πώς προχωράει η κβάντωση ενός κλασικού πεδίου. Πεδίο γενικά θεωρείται ο χώρος, κάθε σημείο του οποίου φέρει μια ορισμένη ιδιότητα. Η τιμή αυτής της ιδιότητας σε ένα ορισμένο σημείο ορίζει την *ένταση* του πεδίου στο εν λόγω σημείο. Η κατάσταση ενός πεδίου είναι γνωστή όταν γνωρίζουμε τη *διαμόρφωσή* του (configuration) δηλαδή την ένταση του σε κάθε σημείο του χώρου μια ορισμένη χρονική στιγμή. Συνεπώς η διαμόρφωση του πεδίου είναι μια συνάρτηση $\varphi(x,t)$, μέσω της οποίας κάθε χρονική στιγμή t και σε κάθε σημείο του πεδίου x αντιστοιχείται η τιμή της έντασής του. Κατόπιν τούτων η κβάντωση ενός κλασικού πεδίου με χαμιλτονιανή διατύπωση ακολουθεί σε γενικές γραμμές την ίδια πορεία. Παράδειγμα ενός τέτοιου πεδίου είναι το ελεύθερο σχετικιστικό πεδίο «Klein – Gordon» που ικανοποιεί τη

σχετικιστικά αναλλοίωτη⁴⁰⁸ εξίσωση: $\frac{\partial^2 \varphi(x,t)}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \varphi(x,t)}{\partial x^2} + \mu^2 \varphi(x,t) = 0$ όπου $\varphi(x,t)$ η συνάρτηση που δίνει τη διαμόρφωση του πεδίου. Σε μια τυπική θεωρία πεδίου η διαμόρφωση

⁴⁰⁸ Η εξίσωση παραμένει αναλλοίωτη στους μετασχηματισμούς της ομάδας συμμετρίας της ειδικής σχετικότητας (ομάδα Poincaré)

του πεδίου $\varphi(x,t)$, θεωρείται ως η «κανονική θέση», ενώ ο ρυθμός μεταβολής της «κανονικής θέσης» $\pi(x,t) = \frac{\partial \varphi(x,t)}{\partial t}$ ως η «κανονική ορμή». Κάθε τέτοιο σύστημα διαθέτει ένα συνεχές, μη αριθμήσιμο, πλήθος βαθμών ελευθερίας, εφόσον κάθε σημείο x του χώρου περιγράφεται από ένα ζεύγος $(\varphi(x,t), \pi(x,t))$. Τούτων δεδομένων η κανονική κβάντωση ενός πεδίου απαιτεί και πάλι την αντικατάσταση των μεταβλητών $\varphi(x,t)$ και $\pi(x,t)$ από κατάλληλους τελεστές $\hat{\varphi}(x,t)$ και $\hat{\pi}(x,t)$, που δρουν στο διανυσματικό χώρο των καταστάσεων του κβαντικού πεδίου και πρέπει να ικανοποιούν τη κανονική σχέση (αντι)μετάθεσης $[\hat{\varphi}(x,t), \hat{\pi}(x',t)]_{\mp} = i\hbar \delta(x-x')$, όπου $\delta(z)$ η δέλτα συνάρτηση του Dirac, η οποία μηδενίζεται όταν $z \neq 0$ και απειρίζεται όταν $z=0$.⁴⁰⁹ Σε ότι αφορά τις κβαντικές καταστάσεις των πεδίων, αν οι κβαντικές καταστάσεις των σωματιδίων θεωρούνται χωρικές κυματοσυναρτήσεις $\psi(x,t)$, οι κβαντικές καταστάσεις των πεδίων μπορούν να θεωρούνται ως υπερχωρικά κυματοσυναρτησιοειδή (superspatial wavefunctionals) $\psi[\varphi(x,t)]$, όπου $\varphi(x,t)$ η *διαμόρφωση* (configuration) του πεδίου, η οποία καθορίζει την τιμή της έντασης του πεδίου σε κάθε σημείο του χώρου κάθε χρονική στιγμή. Έτσι αν η ποσότητα $|\psi(x,t)|^2$ ερμηνεύεται ως η πιθανότητα να παρατηρήσουμε ένα σωματίδιο στη θέση x , η ποσότητα $|\psi[\varphi(x,t)]|^2$ ερμηνεύεται ως η πιθανότητα να παρατηρήσουμε ότι η διαμόρφωση του πεδίου είναι η $\varphi(x,t)$. Να επισημάνουμε ότι οι κβαντικές καταστάσεις πεδίων κατανέμουν πιθανότητες στις δυνατές διαμορφώσεις ενός πεδίου, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζονται *μόνο* μέσα από την προοπτική μιας μέτρησης.

Η κβάντωση ενός κλασικού πεδίου, όπως το πεδίο Klein – Gordon, μπορεί να ξεκινήσει με την ανάλυση του πεδίου σε ένα άθροισμα απλών αρμονικών κυμάτων/συνιστωσών (ανάλυση Fourier), οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να αναπαρασταθούν η κάθε μια από έναν απλό αρμονικό ταλαντωτή (AAT), ήτοι από ένα σώμα μάζας m , το οποίο είναι δεμένο στην άκρη ενός (ιδανικού) ελατηρίου σταθεράς k και εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση ορισμένης συχνότητας f . Η συχνότητα και το πλάτος της κάθε συνιστώσας είναι αντίστοιχα η συχνότητα και το πλάτος ταλάντωσης που πραγματοποιεί ο αντίστοιχος AAT. Οι τιμές της μάζας και της σταθεράς του ελατηρίου του κάθε AAT ορίζονται από τη συχνότητα ταλάντωσης και η ενέργεια του κάθε

⁴⁰⁹ Η παρουσία της δέλτα συνάρτησης στην κανονική σχέση μετάθεσης των κβαντικών πεδίων επιβάλλεται για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι δεν νοείται κβαντική θεωρία η οποία να μην ικανοποιεί μια σχέση απροσδιοριστίας η οποία στην περίπτωση ενός κβαντικού πεδίου μας λέει ότι η ένταση του πεδίου και ο ρυθμός μεταβολής της έντασης σε ένα ορισμένο σημείο του χώρου δεν μπορούν να είναι ταυτόχρονα γνωστά. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι θέλουμε σε χωρικά διαχωρισμένες περιοχές ο προσδιορισμός της έντασης στη μια και του ρυθμού μεταβολής της έντασης στην άλλη να είναι αβικτός με κάθε δυνατή ακρίβεια. Θέλουμε δηλαδή η μέτρησή της έντασης σε μια ορισμένη περιοχή να μη επηρεάζει και να μην επηρεάζεται από τη μέτρηση του ρυθμού μεταβολής της έντασης σε μια άλλη απομακρυσμένη περιοχή.

ΑΑΤ καθορίζεται από το πλάτος της ταλάντωσής του. Συνεπώς, αν το πεδίο θεωρείται ως άθροισμα απλών αρμονικών συνιστωσών, τότε το ποσό της ενέργειας που κάθε συνιστώσα συνεισφέρει στη συνολική ενέργεια του πεδίου θα είναι η ενέργεια του αντίστοιχου ΑΑΤ. Και επειδή το πλάτος ταλάντωσης των ΑΑΤ, οι οποίοι συνθέτουν ένα κλασικό πεδίο, μεταβάλλεται με συνεχή τρόπο, η κάθε συνιστώσα θα συνεισφέρει ενέργεια επίσης με συνεχή τρόπο.

Η δυνατότητα ανάλυσης ενός κλασικού πεδίου σε ένα σύστημα ΑΑΤ σημαίνει ότι η κβάντωση του πεδίου ισοδυναμεί με την κβάντωση των ΑΑΤ που το συνθέτουν και ως εκ τούτου ακολουθεί τη διαδικασία της κανονικής κβάντωσης. Αν $\psi(x)$ είναι η κυματοσυνάρτηση που περιγράφει την κατάσταση ενός κβαντωμένου ΑΑΤ και $\hat{H}(\hat{q}, \hat{p})$ ο χαμιλτονιανός τελεστής, τότε ισχύει: $\hat{H}\psi(x) = c_0\psi_0(x) + c_1\psi_1(x) + c_2\psi_2(x) + \dots$ όπου $\psi_0(x), \psi_1(x), \psi_2(x), \dots$ είναι ιδιοσυναρτήσεις του τελεστή $\hat{H}(\hat{q}, \hat{p})$, οι οποίες αποτελούν μια αριθμήσιμη ορθοκανονική βάση του χώρου των κυματοσυναρτήσεων, που συνήθως συμβολίζεται με τη σειρά $|0\rangle, |1\rangle, |2\rangle, \dots$. Οι συντελεστές $c_i, i=0, 1, 2, \dots$ καθορίζουν την πιθανότητα $|c_i|^2$ το αποτέλεσμα της μέτρησης της ενέργειας να φέρει τον ΑΑΤ σε μια από τις ιδιοκαταστάσεις $|0\rangle, |1\rangle, |2\rangle, \dots$, στις οποίες η ενέργεια έχει αυστηρά καθορισμένη τιμή που ισούται με $E/2, E(1+1/2), E(2+1/2), \dots$ αντίστοιχα. Η ποσότητα E είναι αυτό που αποκαλούμε κβάντο (κομμάτι) ενέργειας και η τιμή της εξαρτάται από τη μάζα του ταλαντωτή και τη σταθερά του ελατηρίου. Επιπλέον η κατάταξη των ιδιοκαταστάσεων γίνεται κατά αύξουσα σειρά των τιμών της ενέργεια γεγονός που δικαιολογεί τη χρήση των όρων «θεμελιώδη κατάσταση» για την ιδιοκατάσταση $|0\rangle$, «πρώτη διεγερμένη κατάσταση» για την $|1\rangle$, δεύτερη διεγερμένη κατάσταση για την $|2\rangle$ κ.ο.κ. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η θεμελιώδης κατάσταση δεν αντιστοιχεί σε κατάσταση μηδενικής ενέργειας και θα πρέπει να την κατανοούμε ως την κατάσταση με τη χαμηλότερη ενέργεια.⁴¹⁰ Το κβαντικό πεδίο μπορεί να θεωρείται ως ένα σύστημα απλών αρμονικών ταλαντωτών, των οποίων η ενέργεια μπορεί να λάβει μόνο διακριτές τιμές και άρα κάθε ΑΑΤ συνεισφέρει με διακριτό

⁴¹⁰ Η αναπαράσταση ενός κβαντικού πεδίου ως ένα σύστημα ΑΑΤ δείχνει ότι αν συμβεί όλοι οι ΑΑΤ που συνθέτουν το πεδίο να βρίσκονται στην θεμελιώδη κατάσταση (γεγονός που ερμηνεύεται ως απουσία διεγέρσεων ή κβάντων) η ενέργεια του πεδίου όχι μόνο δεν είναι μηδέν αλλά απειρίζεται δεδομένου ότι το πλήθος των ΑΑΤ ενός πεδίου είναι άπειρο (αν και αριθμήσιμο) και ότι στην θεμελιώδη τους κατάσταση οι ταλαντωτές συνεισφέρουν ο καθένας ποσό ενέργειας ίσο με $E/2$. Η ενέργεια αυτή είναι γνωστή ως «ενέργεια μηδενικού σημείου» και είναι δομικό και αναπόφευκτο στοιχείο της κβαντικής θεωρίας εφόσον συνδέεται με την αρχή της απροσδιοριστίας η οποία για τους ΑΑΤ διατείνεται ότι η κινητική και η δυναμική ενέργεια ενός ΑΑΤ δεν μπορούν να είναι την ίδια στιγμή μηδέν. Ωστόσο η άπειρη τιμή της ενέργειας ενός κενού πεδίου είναι τόσο από επιστημονική όσο και από φιλοσοφική σκοπιά ένα πρόβλημα που δημιουργεί σύγχυση και παρερμηνείες. Η αντιμετώπισή του (τουλάχιστον στο επίπεδο του φορμαλισμού) επιτυγχάνεται με τη λεγόμενη μέθοδο της «επανακανονικοποίησης». Η επανακανονικοποίηση στηρίζεται σε μια παραδοχή ή καλύτερα σε έναν περιορισμό σύμφωνα με τον οποίο αυτό που μπορούμε να μετράμε είναι μόνο τις διαφορές ενέργειας μεταξύ των διαφορετικών καταστάσεων ενός συστήματος και άρα αυτές είναι οι μόνες ποσότητες που έχουν φυσικό νόημα.

τρόπο ενέργεια στην ενέργεια του όλου συστήματος. Κατόπιν τούτων ο κατάλληλος τρόπος να αναπαραστήσουμε την κατάσταση ενός κβαντικού πεδίου είναι το διάνυσμα $|n_1, n_2, n_3, \dots\rangle$ το οποίο μας πληροφορεί για τον βαθμό διέγερσης κάθε AAT που συμβάλλει στη σύνθεση του πεδίου.

Παρά το γεγονός ότι η παραπάνω ανάλυση δεν κάνει καμία αναφορά σε σωματίδια, η αναπαράσταση του κβαντικού πεδίου ως ένα σύστημα κβαντωμένων αρμονικών ταλαντωτών είναι κατά βάση σωματιδιακή. Όπως επισημαίνει ο Hugget η εξίσωση Klein – Gordon πέραν του ότι περιγράφει μια κλασική σχετικιστική θεωρία πεδίου, εμφανίζεται επίσης και στη σχετικιστική κβαντική μηχανική. Συγκεκριμένα η εξίσωση Klein – Gordon προκύπτει μέσα από τη διαδικασία της κανονικής κβάντωσης της σχέσης ενέργειας – μάζας – ορμής του Einstein, $E^2 = p^2 + m^2$, η οποία περιγράφει την κίνηση ενός ελεύθερου σχετικιστικού σωματιδίου με μάζα ηρεμίας m . Επιπλέον και επειδή η εξίσωση Klein – Gordon είναι γραμμική εάν η κατάσταση $\varphi(x,t)$ ενός πεδίου ικανοποιεί την εξίσωση, θα την ικανοποιεί επίσης και κάθε συνιστώσα του, όμως κάθε συνιστώσα του πεδίου εάν κανονικοποιηθεί είναι η κυματοσυνάρτηση ενός ελεύθερου σωματιδίου. Αυτές οι συνιστώσες/κυματοσυναρτήσεις αντιστοιχούν σε σωματίδια με καθορισμένες ενέργειες, ίσες με το κβάντο ενέργειας του αντίστοιχου AAT. Συνεπώς *η φυσική ερμηνεία είναι ότι ένας AAT με κβάντο ενέργειας E_i στην n_i -οστή διεγερμένη κατάσταση αντιστοιχεί σε n_i σωματίδια που με τη σειρά τους αντιστοιχούν στη συνιστώσα/κυματοσυνάρτηση ενέργειας E_i .*⁴¹¹ Σύμφωνα με αυτήν την ερμηνεία η ιδιοκατάσταση $|n_1, n_2, n_3, \dots\rangle$ ενός κβαντικού πεδίου περιγράφει ένα σύστημα n_1 κβαντικών σωματιδίων με ενέργεια E_1 , n_2 κβαντικών σωματιδίων με ενέργεια E_2 κ.ο.κ. Κάθε άλλη κατάσταση ενός κβαντικού πεδίου είναι υπέρθεση ιδιοκαταστάσεων και περιγράφει το πεδίο ως ένα σύστημα με ακαθόριστο πλήθος σωματιδίων, το οποίο όμως μετά από την κατάλληλη μέτρηση είναι δυνατόν να βρεθεί σε μια ιδιοκατάσταση, όπου καθορισμένο πλήθος σωματιδίων βρίσκονται σε καθορισμένες καταστάσεις.

⁴¹¹ Hugget, N., (2005), p 268

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Αραγεώργης, Α. (2005), «Φιλοσοφία και Σύγχρονη Φυσική», *Δευκαλίων*, τόμος 23/ τεύχος 2, Εκδόσεις «Στιγμή», σελ. 117-48
2. Κάλφας, Β., (2015), *Η Φιλοσοφία του Αριστοτέλη*, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα
3. Καρακώστας, Β., (2007), «Η Πτώση της Χιουμιανής Επιγένεσης», *Νεύσις* 16 (2007), σελ. 88-107
4. Λιβάνιος, Β. (2007), «Τρόποι: οι Ιδιότητες ως επιμέρους οντότητες», *Νεύσις* 16 σελ. 108-129
5. Παναγιωτάτου, Μ., (2012), *Διερευνώντας τη δυνατότητα μιας Ρεαλιστικής Θεώρησης της Κβαντικής Φυσικής*, *phD thesis*
6. Τραχανάς, Σ., (2005), *Κβαντομηχανική Ι*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
7. Τραχανάς, Σ., (2000), *Σύγχρονη Φυσική*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
8. Adams, R. M., (1979), "Primitive Thisness and Primitive Identity", *Journal of Philosophy* 76, pp5-26
9. Allaire, B., E., (1963), "Bare Particulars", *Philosophical Studies*, vol.XIV, pp1-8
10. Arageorgis, A., (2013), "Holism and nonseparability by analogy", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 44, pp 206-214
11. Arenhart, J., R., B., - Krause, D. (2014), "Individuality, Quantum Physics, and a Metaphysics of Nonindividuals", *Individuals Across the Sciences*, Oxford University Press, pp 62-79
12. Auyang, S., (1995), *How is Quantum Field Theory Possible*, Cambridge University Press
13. Bacciagaluppi, G. (2016) "The Role of Decoherence in Quantum Mechanics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*
14. Bardles, A., (1998), "Objects or Events?: Towards an Ontology for Quantum Field Theory", *Philosophy of Science*, Vol. 66, pp170-184
15. Belousek, W. D. (2000), "Statistics, Symmetry, and the Conventionality of Indistinguishability in Quantum Mechanics", *Foundations of Physics*, Vol. 30, No. 1, pp 1-34
16. Bergmann, G., (1967), "Some remarks on the philosophy of Malebranche", *The Review of Metaphysics* Vol. 10, No. 2 pp. 207-226
17. Bigaj, T., (2015), "Dissecting weak discernibility of quanta" *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, vol.50, pp 43-53
18. Black, M., (1952), "The Identity of Indiscernibles", *Mind* 61 (242):153-164

19. Blake, M., R., (1927), "The Identity of Indiscernibles", *Philosophical Review* 36(1), pp 44-57
20. Bohr, N., (1958), *Atomic Physics and Human Knowledge*, New York: Wiley
21. Bordes, M., (1998), "Abstract Particulars in a Four-dimensional Ontological Frame", *Dialectica*, 52(1), pp3-12
22. Campbell, K., (1981), "The Metaphysics of Abstract Particulars", in P. French et al (eds), *Midwest Studies in Philosophy VI: The Foundations of Analytical Philosophy*, University of Minnesota Press, pp 477-488
23. Campbell, K. (1990), *Abstract particulars*, Oxford: Basil Blackwell
24. Carnap, R., (1967), *The logical structure of the world and Pseudoproblems in Philosophy*, Open Court Classics (2003)
25. Castellani, E., (1998), "Introduction", *Interpreting Bodies*, Princeton University Press, pp 3-17
26. Caulton, A., (2013), "Discerning 'indistinguishable' quantum systems", *Philosophy of Science*, vol.80, University of Cambridge,
27. Dalla Chiara M. L., and Toraldo di Francia, G., (1993), "Individuals, Kinds and Names in Physics" in G. Corsi et al. (eds), *Philosophy, Mathematics, Physics*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 261-283
28. Davidson, D. (1969) "The Individuation of Events", in *Essays on Actions and Event*, Oxford University Press (2001), pp 163-181
29. De Muynck, M., W., (1975), "Distinguishable- and Indistinguishable-Particle Descriptions of Systems of Identical Particles", *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 14, No. 5 pp. 327-346
30. Dieks, D. (1990), "Quantum Statistics, Identical Particles and Correlations", *Syntheses*, Vol. 82 pp 127-155
31. Dieks, D.,- Lubberdink, A., "How Classical Particles Emerge from the Quantum World", *Found Phys* (2011) 41: 1051–1064
32. Dieks, D., Versteegh, M., (2008), "Identical Quantum Particles and Weak Discernibility", *Found Phys* 38 pp 923–934
33. Dorato, G., - Morganti, M., (2011), "Grades of Individuality. A pluralistic view of identity in quantum mechanics and in sciences" *Philos Stud* (2013), 163, pp591-610
34. Dummett, M. (1981), *Frege: Philosophy of Language*, Harper & Row, Publishers, 2nd edn. London: Duckworth
35. Ellis, B., (2001), *Scientific Essentialism*, Cambridge University Press

36. Evans, G., (1978), "Can There be Vague Objects?", *Analysis* 38, p 208
37. Falkenburg, B., (2002), "Measurement and Ontology: What Kind of Evidence Can We Have for Quantum Fields?", in *Ontological Aspects of Quantum Field Theory*, ed. Kuhlmann, M., Lyre, H., Wayne, A., World Scientific Publishing
38. Fleming, G., (2002), "Comments on Paul Teller's Book, 'An Interpretative Introduction to Quantum Field Theory'", in *Ontological Aspects of Quantum Field Theory*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. pp135-144
39. Frege G. (1952), "On Sense and Reference", in P. T. Geach and M. Black (eds), *Translations from the Philosophical Writings of Gottlob Frege*, Oxford University Press
40. French, S. – Rickles, D. (2003), "Understanding Permutation Symmetry", in *Symmetries in Physics, Philosophical Reflections*, Cambridge University Press, pp 212-238
41. French, S., (1989a), "Identity and individuality in classical and quantum physics", *Australasian Journal of Philosophy*, 67:4, pp432 - 446
42. French, S., (1989b), "Why the Principle of Identity of Indiscernible Is Not Contingently True Either" *Syntheses*, 78, pp141-166,
43. French, S.,-Krause, D., (2006), "Identity in Physics: A Historical, Philosophical, and Formal Analysis", Oxford University Press
44. French, S.,-Redhead, M., (1988), 'Quantum Physics and the Identity of Indiscernibles', *British Journal for the Philosophy of Science* 39, 233–46
45. Friebe, C., (2014), "Individuality, distinguishability, and (non-)entanglement: A defense of Leibniz's principle", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, vol.48, pp89-98
46. Ghirardi, G. C., Rimini, A., and Weber (1986), "Unified Dynamics for Microscopic and Macroscopic Systems", *Physical Review*, 34, pp470-491
47. Gracia, J., E. (1988), *Individuality, an Essay on the Foundations of Metaphysics*, State University of New York Press
48. Greenberg, O. W. - Messiah, A. M. L., (1964) "Symmetrization Postulate and Its Empirical Foundation", *Physical Review*, Vol 136, No 1b
49. Halpin, F., J., (1991), "What Is the Logical Form of Probability Assignment in Quantum Mechanics?", *Philosophy of Science*, Vol. 58, No. 1, pp. 36-60
50. Hawley, K., (2006), "Weak Discernibility", *Analysis*, 66.4, pp300-3.
51. Hawley, K., (2009), "Identity and Indiscernibility", *Mind* 118 (469), pp101-119

52. Healey, R., A., (2016) "Holism and Nonseparability in Physics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2016/entries/physics-holism/>>
53. Heil, J., (2003), *From an Ontological Point of View*, Oxford University Press
54. Holton, G., (1978), "Subelectrons, Presuppositions, and the Millikan-Ehrenhaft Dispute", *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 9, pp161-224
55. Howard, D. (1985) "Einstein on Locality and Separability", *Studies in History and Philosophy of Science*, vol.16, pp171-201
56. Howard, D. (1989), "Holism, Separability and the Metaphysical Implications of the Bell Experiments", in *Philosophical Consequences of Quantum Theory*, University of Notre Dame, pp224-253
57. Hugget, N., (1999), "Atomic Metaphysics The Journal of Philosophy", Vol. 96, No. 1. pp. 5-24.
58. Huggett, N., - Norton, J., (2014), "Weak Discernibility for Quanta, the Right Way", *British Journal for the Philosophy of Science* 65 (1), pp39-58
59. Huggett, N., (2000), "Philosophical Foundation of Quantum Field Theory", *British Journal for the Philosophy of Science*, 51, pp 617-37, Ελ.Εκδ., Δευκαλίων 23, σελ.259-85,
60. Hume, D., (1738), *A Treatise of Human Nature*, Ελληνική έκδοση: *Πραγματεία για την Ανθρώπινη Φύση*, 1998, εκδόσεις Πατάκη,
61. Isham, J., C. (2008), *Lectures on Quantum Theory, Mathematical and Structural Foundations*, Imperial College Press
62. Kant, I. (1783) *Προλεγόμενα σε κάθε μελλοντική μεταφυσική*, μετ. Τζαβάρας, Γ. (1983) - Δωδώνη
63. Kaplan, I., G. (1975) "The exclusion principle and indistinguishability of identical particles in quantum mechanics", *Soviet Physics Uspekhi*, Vol 18, No 12, pp691-704
64. Karakostas, V, (2012), "Realism and Objectivism in Quantum Mechanics", *Journal for General Philosophy of Science*, 43, pp 45–65
65. Karakostas, V. (2004) "Forms of Quantum Nonseparability and Related Philosophical Consequences" *Journal for Philosophy of Science*, Vol 35, pp283-312
66. Kim J. (1976), "Events as Property Exemplifications", in Brand M., Walton D. (eds) *Action Theory*, Syntheses Library vol 97. Springer, Dordrecht, pp310-326
67. Kripke, A., S., (1972), *Naming and Necessity*, Blackwell

68. Ladyman, J. - Bigaj, T. (2010), "The Principle of the Identity of Indiscernibles and Quantum Mechanics", *Philosophy of Science* 77, pp117-136
69. Ladyman, J.- Linnebo, O.,- Bigaj, T., (2013), "Entanglement and non-factorizability", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, vol.44, pp215-221
70. Ladyman, J., (1998), "What is structural realism?", *Studies in History and Philosophy of Science*, vol.29, pp 409-424
71. Ladyman, J., (2007), "On the Identity and Diversity of Objects in a Structure", *The Aristotelian Society*, pp23-43
72. Leibniz, G. W., "Leibniz: Philosophical writings", Parkinson, G.H. R. (Editor), Morris, M. (translator) , London: *Dent*, 1973
73. Livanios, V., (2007), "Tropes, Particularity and Space-Time", *Journal for General Philosophy of Science* 38/2, 357-368
74. Locke, J. 1975 (1690). *An Essay Concerning Human Understanding*, edited by P. H. Nidditch. Oxford: Clarendon Press.
75. Loux, M., (1978a), *Substance and Attributes*, Dordrecht: Reidel
76. Loux, M., (1998), *Metaphysics" a Contemporary Introduction*, Routledge
77. Loux, M., -Crisp, T., (2017), *Metaphysics" a Contemporary Introduction*, Routledge
78. Lowe, E. J., (1994) "Vague Identity and Quantum Indeterminacy", *Analysis*, Vol. 54, No. 2, pp. 110-114
79. Lowe, E. J., (2000), "LOCKE, MARTIN AND SUBSTANCE", *The Philosophical Quarterly*, Vol. 50, No. 201, pp 499-514
80. Lowe, E. J., (2006), *The Four Category Ontology*, Oxford University Press
81. Lowe, E. J., (2007), "Sortals and the Individuation of Objects", *Mind & Language*, Vol. 22 No. 5, pp. 514–533.
82. Lowe, E. J., (2009), *More Kinds of Beings, a Further Studies of Individuation, Identity and the Logic of Sortal Terms*, Wiley - Blackwell
83. Lowe, E. J., (2015), "Non-individuals", *Individuals Across the Sciences*, A. Guay and T. Pradeu, (eds), Oxford University Press, pp50-60
84. Lowe, E., J., (1998), *The Possibility of Metaphysics: Substance, Identity, and Time*, Clarendon Press - Oxford
85. Lowe, E., J., (2003), "Individuation", *The Oxford Handbook of Metaphysics*, In Michael J. Loux & Dean W. Zimmerman (eds.), Oxford University Press (2003)
86. Lowe, E., J., (2017), "Objects and Criteria of Identity", *A Companion to the Philosophy of Language*, Wiley Blackwell, pp 990-1012

87. Margenau, H., (1944), "The Exclusion Principle and Its Philosophical Importance", *Philosophy of Science*, Vol. 11, No. 4. (Oct., 1944), pp. 187-208.
88. Martin, B., C., (1980), "Substance substantiated", *Australasian Journal of Philosophy*, vol.58, pp 3-10
89. Massimi, M., (2001), Exclusion Principle and the Identity of Indiscernibles: a Response to the Margenau's Argument", *Brit. J. Phil. Sci* 52, pp 303-330
90. Maudlin, T., (2007), *The Metaphysics within Physic*. Oxford University Press
91. Michaelson, E., - Reimer, M., "Reference", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2019 Edition)
92. Mill, J., S., *A System of Logic*, London: Longmans (1872), διαδικτυακή έκδοση eBooks@Adelaide (University of Adelaide)
93. Mirman, R. (1973), "Experimental meaning of the concept of identical particles", *Nuovo Cimento* 18B, pp 110-122
94. Mittelstaedt, P., (1994), "Constitution of Objects in Classical Mechanics and in Quantum Mechanics", *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 34, No. 8, pp1615-25
95. Mittelstaedt, P., (2009), "Cognition versus Constitution of Objects: From Kant to Modern Physics", *Found Phys.*, Vol, 39, pp 847–859
96. Morganti, M., (2009), "Inherent properties and statistics with individual particles in quantum mechanics", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, vol.40, pp223-231
97. Moore, W., (1989), *Schrödinger: Life and Thought*, Cambridge University Press
98. Muller, F. - Saunders, S. (2008), "Discerning Elementary Particles", *Philosophy of Science*, Vol. 76, No. 2, pp. 179-200
99. Muller, F. A., Seevinck ,M. P.: "Discerning Elementary Particles", *Philosophy of Science*, 76 (April 2009) pp. 179–200
100. Muynch, M., W., (1975), "Distinguishable- and Indistinguishable-Particle Descriptions of Systems of Identical Particles", *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 14, No. 5 (1975), pp. 327-346
101. Omnès R., (1994), *The Interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton University Press
102. Pauli, W. (1940), "The connection between spin and statistics" *Physical Review*, Vol 58, pp716-722
103. Pauli, W. (1940), "The connection between the Completion of an Atom with the Complex Structure of Spectra", *Z. Phys.* 31: 765 [Pauli's Exclusion Principle]

104. Post, H. R. (1963) "Individuality and Physics", *The Listener* 70, pp 534-537
105. Psillos, S., (1999), *Scientific Realism, how Science Tracks Truth*, Routledge
 (2006), "The Structure, the Whole Structure, and Nothing but the Structure?" *Philosophy of Science*, 73 pp. 560-570.
106. Quine, W. V., (1976), "Grades of Discriminability", *The Journal of Philosophy*, Vol. 73, No. 5 (Mar. 11, 1976), pp. 113-116
107. Quine, W.V., (1981), "five milestones of empiricism" in *Theories of Things*, pp 67-72, Oxford University Press
108. Rae, A., (1986), *Quantum Physics: Illusion or Reality?*, *ελ.έκδοση*. (1988)
Κβαντομηχανική, Πλάνη ή Πραγματικότητα, Κάτοπτρο
109. Redhead, M. and P. Teller: 1992, 'Particle Labels and the Theory of Indistinguishable Particles in Quantum Mechanics', *British Journal for the Philosophy of Science* 43, 201-18
110. Redhead, M., (1982), "Quantum Field Theory for Philosophers", *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol 2: *Symposia and Invited Papers*, pp. 57-99
111. Redhead, M., (1989), "The Nature of Reality", *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 40, No. 4, pp. 429-441
112. Reichenbach, H. (1958) *Space & Time*, Dover Publications, New York,
113. Reichenbach, H., (1956), *The Direction of Time*, University of California Press, Berkeley.
114. Reiner, M., Michaelson, E., (2019), "Reference", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*
115. Rosenkrantz, G., (1993), *Haecceity: an Ontological essay*, Kluwer Academic Publishers
116. Sankey, H., (2014), "Scientific Realism and Basic Common Sense", *Kairos* 10, pp 11-24
117. Saunders, S. (2006), "Are Quantum Particles Objects?" *Analysis*, Vol. 66, No. 1 (Jan., 2006), pp. 52-63
118. Saunders, S., (2003), "Physics and Leibniz Principle's" *Symmetries in Physics, Philosophical reflections*, Cambridge University Press pp289-307,
119. Saunders, S., (2015), p165 "On the Emergence of Individuals in Physics", *Individuals Across the Sciences*, A. Guay and T. Pradeu, (eds), Oxford University Press, pp165-92

120. Schrödinger, E. (1926), "On Einstein's gas theory", *Physikalische Zeitschrift*, 27th edition, pp 95-101.
121. Searle, R., J., (1958), "Proper Names", *Mind, New Series*, Vol. 67, No. 266, pp. 166-173
122. Shadmi, Y. (1978), "Teaching the exclusion principle with philosophical flavor", *American Journal of Physics* 46, pp844-488
123. Shapiro, S., (1997), *Philosophy of Mathematics: Structure and Ontology*, New York, Oxford University Press
124. Shimony, A., "Search for a Worldview Which Can Accommodate Our Knowledge of Microphysics", in J.T. Cushing and E. McMullin (eds), *Philosophical Consequences of Quantum Theory: Reflections on Bell Theorem*. Notre Dame: University of Notre Dame Press, pp25-37
125. Strawson, F., P., (1959), *Individuals: an essay in descriptive metaphysics*, reprinted in (2005) by Routledge
126. Teller, P., (1986), "Relational Holism and Quantum Mechanics", *British Journal for the Philosophy of Science* 37, pp71-81
127. Teller, P., (1989), "Relational Holism", in J. Cushing and E. McMullin (eds), *Philosophical Consequences of Quantum Theory*, University of Notre Dame Press, pp 208-223
128. Teller, P., (1995), *An Interpretive Introduction to Quantum Field Theory*, Princeton University Press
129. Toraldo di Francia, G., (1998), "A World of Individual Objects?", in *Interpreting Bodies*, Editor Castellani, E., Princeton University Press
130. Toretti, R., (1999), *The Philosophy of Physics*, Cambridge University Press, ελ. Έκδοση (2012), *Φιλοσοφία της Φυσικής*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
131. van Cleve, J., (1985), "Three Versions of the Bundle Theory", *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition*, Vol. 47, No. 1, pp. 95-107
132. van Fraassen B. - Peschard I.(2008), "Identity over time: Objectively, Subjectively", *Philosophical Quarterly* 58: pp15-35
133. Van Fraassen, B., C., (1991), *Quantum Mechanics: An Empirical View*, Oxford: Clarendon Press
134. van Fraassen, C., B., (1998), "The Problem of Indistinguishable Particles" in *Interpreting Bodies*, Princeton University Press, pp 73-92

135. van Inwagen, P., (1998), "The Nature of Metaphysics", in Contemporary Readings in the Foundations of Metaphysics (eds Laurence, S. - Macdonald, C.), *Oxford University Press*
136. Wiggings, D., (2001), *Sameness and Substance Renewed*, Cambridge University Press
137. Wigner, E. (1939), «On Unitary Representations of the Inhomogeneous Lorentz Group», *The Annals of Mathematics*, Second Series, Vol. 40, No. 1, pp. 149-204
138. Williams, D.C. (1953), "On the Elements of Being: II", *The Review of Metaphysics*, Vol. 7, No. 2, pp. 171-192
139. Wojciech H. Zurek, H. W., (2002), "Decoherence and the Transition from Quantum to Classical - Revisited", *Los Alamos Science* 27 pp 1-24
140. Worrall, J., (1989) "Structural Realism: The Best of Both Worlds?" *Dialectica* 43, pp 99-124