

Ιστορικές και μεθοδολογικές προσεγγίσεις στο έργο του Lord Rayleigh

Βασιλική Χριστοπούλου

01814

Τριμελής Επιτροπή

Επιβλέπων: Θεόδωρος Αραμπατζής, Καθηγητής
Γαβρόγλου Κώστας, Ομότιμος Καθηγητής
Τύμπας Αριστοτέλης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Μεταπτυχιακή Εργασία

ΔΠΜΣ Ιστορία και Φιλοσοφία των Επιστημών και της Τεχνολογίας



ΜΙΘΕ - ΣΕΜΦΕ

Αθήνα, Σεπτέμβρης 2016

ABSTRACT

Making the assumption of the Newtonian natural philosophy and its laws, along with their universal validity, one has to proceed to look into the logical consequences of such an assumption. Laplace at the turn of the 18th century and the beginnings of 19th examined this question in a way which symbolised the perception of the world at that time. According to this, the vast variety of the phenomena could be reduced to an ensemble of some quantitative laws which determine the behavior of an essential ontology, that of moving material particles. This mechanistic perspective along with the ontology of "matter in motion" was prevailing during the nineteenth century in the physical theories which were being proposed. At the same time there was an increasing domination of the quantification of the natural phenomena. Furthermore energy, and the principle of its conservation played a significant and unifying role, helping in shaping one unified picture of the world.

But this picture, although dominant at that time, was not escaping the objections and the problems which had been put forward both by theory and experiment. The dynamical theory of the gases, and the equipartition theorem in particular, posed such a question with intensity and as Kelvin put it "it was a cloud" over the dynamical theory as a whole. Rayleigh was involved in this matter and investigated thoroughly the equipartition theorem. Both Rayleigh and Ramsay proposed that Argon was a monoatomic gas on the grounds of Clausius theorem, but this was a result of equipartition theorem as well, and as such it was involved as a paradigm in the general discussion. Furthermore Rayleigh examined the validity of this theorem concluding that if there is a problem that lays in the general mechanics of which this theorem is a direct result. When he investigated the black body radiation, he made again the assumption of equipartition theorem and the subsequent law of Rayleigh-Jeans was in direct contradiction with the experimental facts. How Rayleigh and his works was involved in this controversy is the object of this essay. But this discussion has to be placed in its historical content and to be examined as a historical event which took place in a certain place and time and interacted with a number of factors and conditions, where the subjective ones or the social have not to be neglected.

ΣΥΝΟΨΗ

Κάνοντας την παραδοχή της Νευτώνειας φυσικής φιλοσοφίας και των νόμων της, καθώς και την παγκόσμια ισχύ των τελευταίων, κανείς θα πρέπει να διερευνήσει τις λογικές συνέπειες μιας τέτοιας παραδοχής. Ο Laplace στο γύρισμα του 18ου αιώνα και στις αρχές του 19ου θα εξετάσει αυτό το ζήτημα με ένα τρόπο που συμβολοποιεί την αντίληψη για τον κόσμο εκείνη την εποχή. Σύμφωνα με αυτή, η τεράστια ποικιλία των φαινομένων μπορεί να αναχθεί σε ένα σύνολο ποσοτικών νόμων που καθορίζουν τη συμπεριφορά μιας βασικής οντολογίας, αυτής των κινούμενων υλικών σωματιδίων. Αυτή η μηχανιστική αντίληψη με τη βασική αυτή οντολογία της "ύλης σε κίνηση" ήταν κυρίαρχη στις φυσικές θεωρίες που προτάθηκαν τον 19ο αιώνα. Την ίδια ώρα αυξάνεται η κυριαρχία της ποσοτικοποίησης των φυσικών φαινομένων. Επιπλέον η ενέργεια και η αρχή της διατήρησης της έπαιξε ένα σημαντικό και ενοποιητικό ρόλο, βοηθώντας στη σχηματοποίηση μιας ενιαίας εικόνας για τον κόσμο.

Αυτή η εικόνα, παρόλο που είναι κυρίαρχη την εποχή αυτή, δεν ήταν εκτός προκλήσεων και δεν απέφευγε τα προβλήματα που τίθενται τόσο από τη θεωρία όσο και από το πείραμα. Η δυναμική θεωρία των αερίων, και το θεώρημα της ισοκατανομής πιο συγκεκριμένα, έθετε το ζήτημα με ένταση και όπως το έθεσε και ο Kelvin "ήταν ένα σύννεφο" για τη δυναμική θεωρία συνολικά. Ο Rayleigh ασχολήθηκε με το ζήτημα και ερεύνησε διεξοδικά το θεώρημα της ισοκατανομής. Μαζί με τον Ramsay πρότειναν ότι το Αργό είναι μονοατομικό στοιχείο βασιζόμενοι στο θεώρημα του Clausius, αλλά επειδή αυτό το συμπέρασμα προέκυπτε και με εφαρμογή του θεωρήματος της ισοκατανομής, τέθηκε ως παράδειγμα για την αντίστοιχη γενική συζήτηση. Ο Rayleigh εξέτασε την ισχύ του θεωρήματος, συμπεραίνοντας ότι εάν αυτό αντιμετώπιζε πρόβλημα, τότε αυτό ήταν της γενικής μηχανικής, της οποίας ήταν άμεσο αποτέλεσμα. Όταν ερευνήσε την ακτινοβολία του μέλανος σώματος, κάνοντας την παραδοχή του θεωρήματος της ισοκατανομής, έφτασε στο νόμο Rayleigh-Jeans ο οποίος ήταν σε άμεση αντίφαση με τα πειραματικά δεδομένα. Πως εμπλέκονται ο Rayleigh και το έργο του σε αυτή τη διαμάχη είναι το θέμα του παρόντος κειμένου. Αλλά αυτή η συζήτηση πρέπει να τεθεί στο ιστορικό της πλαίσιο και να ιδωθεί ως ένα ιστορικό γεγονός που έλαβε χώρα σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο και αλληλεπιδράσε με μια σειρά από παράγοντες και συνθήκες, όπου οι υποκειμενικοί και οι κοινωνικοί παράγοντες δεν πρέπει να αγνοηθούν.

Περιεχόμενα

1	Οι Φυσικές Επιστήμες κατά τον 19ο αιώνα	3
1.1	Εισαγωγή	3
1.2	Επιστήμη και Φυσικές Επιστήμες - έννοιες και περιεχόμενα	5
1.2.1	Επιστήμη και οι κλάδοι της επιστήμης στην ιστορία	5
1.2.2	Φυσική και αναγωγισμός	7
1.3	Το θεσμικό πλαίσιο του αιώνα για τις επιστήμες	8
1.4	Το πανεπιστήμιο του Cambridge, τα πανεπιστήμια της Σκωτίας - άξονες και εκπαιδευτικά προγράμματα	12
1.4.1	Η μαθηματική ανάλυση τον 18ο και 19ο αιώνα	12
1.4.2	Το Πανεπιστήμιο του Cambridge και η εισαγωγή της ανάλυσης	15
1.4.3	Θέματα και θεματικές στο Cambridge και στα πανεπιστήμια της του Εδιμβούργου και της Γλασκώβης	17
1.5	Μια μηχανιστική εικόνα για τον κόσμο - φιλοσοφία και φυσική	19
1.5.1	Η μηχανιστική φιλοσοφία - ύλη σε κίνηση	19
1.5.2	Φυσική και μηχανοκρατία τον 19ο αιώνα - Φορμαλισμός Lagrange και μοντέλα	20
1.5.3	Μοντέλα του αιθέρα στον 19ο αιώνα. Τα μοντέλα του Thomson και του Maxwell.	22
1.5.4	Μεγάλη εικόνα και αντίρροπες τάσεις για τη μηχανοκρατία.	27
2	Το έργο του Rayleigh στα αέρια και η δυναμική θεωρία των αερίων.	28
2.1	Εισαγωγή	28
2.2	Στοιχεία από τη ζωή και το έργο του Rayleigh	29
2.3	Μεθοδολογικά στοιχεία και ερευνητική πορεία	35
2.4	Η ανακάλυψη και οι ιδιότητες του αργού -η μονοατομικότητα	39
2.4.1	Από τα εμπειρικά δεδομένα στην ανακάλυψη	39
2.4.2	Η μονοατομικότητα του αργού	43
2.5	Το θεώρημα της ισοκατανομής - το άρθρο του Waterston	46
2.6	Κινητική θεωρία των αερίων - Clausius και Maxwell και Boltzmann	48
2.7	Ο Rayleigh για το θεώρημα των Maxwell-Boltzmann	52
2.7.1	Οι αρχικές παρατηρήσεις του 1892	52

2.7.2 Μια πιο συνολική κριτική	54
2.8 Φασματοσκοπία και θεώρημα ισοκατανομής	60
2.9 Ο Rayleigh για το μέλαν σώμα	62
2.9.1 Οι εξελίξεις στο τέλος του αιώνα στη μελέτη του μέλανος σώματος .	62
2.9.2 Εισαγωγικές παρατηρήσεις και ο νόμος Rayleigh - Jeans	64
3 Το θεώρημα της ισοκατανομής - μια ανοιχτή συζήτηση. Συμπεράσματα από το έργο του Rayleigh.	69
3.1 Η φυσική σύσταση της ύλης και η κινητική θεωρία των αερίων.	69
3.1.1 Μέχρι τα μέσα του 19ου - Προτεραιότητα και θεσμοί	69
3.1.2 Clausius και Maxwell και τα μηχανικά μοντέλα	73
3.1.3 Αντιτρεψιμότητα και ο 2ος Θερμοδυναμικός νόμος	74
3.2 Το θεώρημα της ισοκατανομής το πρόβλημα και η διαμάχη.	76
3.3 Το συνέδριο του Solvay και το γράμμα του Rayleigh στον Nernst.	79
3.4 Συμπεράσματα	81
Βιβλιογραφία	84

Κεφάλαιο 1

Οι Φυσικές Επιστήμες κατά τον 19ο αιώνα

1.1 Εισαγωγή

Η ιστορία της επιστήμης συχνά αντιμετωπίζεται ως μια αφήγηση ενταγμένη στο χρόνο που προσπαθεί να περιγράψει μια πορεία γεγονότων σταθμών και αντίστοιχα μεγάλων προσωπικοτήτων που οδηγούν στο σήμερα της κάθε επιστήμης. Μια πορεία ιδωμένη από τη σκοπιά του τι επικρατεί τελικά, των "σωστών" βημάτων, δεμένη άρρηκτα με ένα προοδευτικό χαρακτήρα. Συχνά πάλι, μια τέτοια πορεία, θετικιστικά προσδιορισμένη αποκόβεται από άλλους παράγοντες, ρίχνει το βάρος μόνο στη χρονική διαδοχή χωρίς να διαλέγεται με τα υπόλοιπα ερωτήματα που προκύπτουν και παρουσιάζει τελικά τα ιστορικά γεγονότα, υποβιβάζοντας τα ως εξελίξεις στο πεδίο των ιδεών. Όμως οι κοινωνικοί παράγοντες, το ιστορικό πλαίσιο είναι αναπόσπαστες πτυχές ενός ιστορικού γεγονότος. Όπως επίσης σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν είναι εκείνος του υποκειμένου, στην ατομική και τη συλλογική του διάσταση, είτε δηλαδή του μεμονωμένου προσώπου, φυσικού φιλοσόφου, επιστήμονα κλπ, είτε της κοινότητας επιστημονικής ή ευρύτερης.

Η εισαγωγή ως εδώ προϊδεάζει για μια αναλυτική περιγραφή ιστοριογραφικών προσεγγίσεων, την πραγμάτευση της διάκρισης εσωτερικής-εξωτερικής ιστορίας¹ και την τοπο-

¹Οι όροι εσωτερική και εξωτερική ιστορία διατυπώνονται για πρώτη φορά από τον Robert Merton το 1935 και γίνονται ευρύτερα γνωστοί το 1938 στην εργασία του "*Science, Technology and Society in Seventeenth Century England*." Σε αυτή τη διάκριση και στο τι συνυποδηλώνουν αυτοί οι όροι θα επανέλθουμε και αργό-

θέτηση της παρούσας εργασίας επί αυτών. Κρίνεται όμως σκόπιμο μια τέτοια προβληματική να τεθεί παράλληλα με την ίδια την εργασία και εδώ απλά η αναφορά να περιοριστεί σε βασικά μεθοδολογικά στοιχεία. Ίσως αυτός ο διάλογος να είναι και ο πιο δύσκολος στόχος που τίθεται και εδώ και στην ιστορία των επιστημών γενικά. Ένας διάλογος τόσο στο συγκεκριμένο που εκκινεί δηλαδή από την ιστορική μελέτη κάποιου επιστημονικού γεγονότος, όσο και σε ένα επίπεδο αφαίρεσης με τις ιστοριογραφικές προσεγγίσεις.

Υπό αυτό το πρίσμα, πρωταρχικός στόχος παραμένει η αποφυγή μιας στείρας αφήγησης, ακόμα και με πιο εκλεπτυσμένους όρους ή μια συλλογή και παρουσίαση πληθώρας πληροφοριών, η απλή καταγραφή των οποίων, χωρίς να μειώνεται η σημασία της, δεν ξεφεύγει από το επίπεδο του κατακερματισμού. Η αναγνώριση αυτού του στόχου δεν εγγυάται και την επίτευξη του, τίθεται εδώ περισσότερο ως κριτήριο.

Το θέμα της παρούσας εργασίας είναι το έργο του John William Strutt, 3rd Baron Rayleigh (1842-1919), το οποίο εντάσσεται στις τρεις τελευταίες δεκαετίες του 19ου αιώνα και στις δυο πρώτες του 20ου, μια εποχή συνάμα κρίσιμη και ενδιαφέρουσα για τις φυσικές επιστήμες. Αυτό που κυρίως θα μας απασχολήσει είναι το έργο του στα αέρια και τις ιδιότητες τους και η ανακάλυψη του αργού για την οποία μαζί με το Ramsay βραβεύθηκε με Νόμπελ Φυσικής και Χημείας αντίστοιχα. Αυτό που ταυτόχρονα θα μας απασχολήσει είναι οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις του έργου του καθώς και στο πως αυτό διαλέγεται με την εποχή του και με τη μηχανοκρατική εξήγηση της φυσικής και του κόσμου, η οποία παραμένει κυρίαρχη εκείνη τη περίοδο.

Πριν εισέλθουμε όμως στο έργο του, θα επιχειρήσουμε μια αδρή σκιαγράφηση της εικόνας των φυσικών επιστημών κατά τον 19ο αιώνα, στην οποία αργότερα θα εστιάσουμε σε συγκεκριμένα σημεία ακολουθώντας και το έργο του Rayleigh, με αφορμή από αυτό αλλά και για να επιστρέψουμε σε αυτό.

τερα στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

1.2 Επιστήμη και Φυσικές Επιστήμες - έννοιες και περιεχόμενα

1.2.1 Επιστήμη και οι κλάδοι της επιστήμης στην ιστορία

Στην προσπάθεια της σκιαγράφησης αυτής της εικόνας τα βασικά ερωτήματα, προκύπτουν άμεσα. Τι είναι επιστήμη; Τι είναι οι φυσικές επιστήμες των 19ο αιώνα; Ποια τα βασικά χαρακτηριστικά τους;

Οι γενικοί ορισμοί αναμφίβολα εμπλέκουν πάντα και ευρύτερα κριτήρια προσέγγισης και για αυτό είναι δύσκολο να είναι μονοσήμαντοι. Το ερώτημα του τι είναι επιστήμη, με τη δεδομένη σημασία του, απαντάται με πολύ διαφορετικό τρόπο στην βιβλιογραφία και η αναμέτρηση με αυτό είναι αναπόδραστη. Στην παρούσα εργασία, η έννοια της επιστήμης θα χρησιμοποιηθεί με την ευρεία έννοια του όρου, χωρίς να επιχειρηθεί ένας αυστηρός ορισμός. Η χρήση του όρου *επιστήμη* με την διασταλτική του έννοια δεν σημαίνει ένα άκρατο σχετικισμό. Αν και η εκτενής πραγμάτευση του θέματος δεν είναι δυνατό, ίσως ούτε και δόκιμο να γίνει εδώ, λόγω των περιορισμών που αυτονόητα τίθενται, ένα στοιχείο έχει σημασία να αναφερθεί, ότι το περιεχόμενο των όρων δεν είναι αμετάβλητο μέσα στην ιστορία, υπόκειται σε αλλαγή και ως εκ τούτου πρέπει να προσεγγίζεται με διαλεκτικό τρόπο.²

Ακολουθώντας την ίδια λογική, η κατηγοριοποίηση της επιστημονικής σκέψης δεν μπορεί να ακολουθεί τις διαχωριστικές γραμμές που υποδεικνύονται από τους σύγχρονους επιστημονικούς κλάδους με μια ματιά απλώς και μόνο προς το παρελθόν, και αυτό γιατί η ίδια η οργάνωση της επιστήμης ήταν διαφορετική. Όπως γράφει και ο Hankins³ αν έψαχνε κανείς τις απαρχές της σύγχρονης φυσικής στον 18ο αιώνα, θα ήταν λάθος, γιατί μια τέτοια έρευνα προϋποθέτει την ύπαρξη ενός πεδίου αντίστοιχου με την σύγχρονη φυσική, στον 18ο αιώνα.

Λίγο περισσότερο από διακόσια χρόνια πριν από σήμερα, δεν υπήρχε κλάδος που να ονομάζεται φυσική, ούτε υπήρχε κάποιος που να ονόμαζε τον εαυτό του φυσικό. Στην εποχή

²Με βάση αυτή την παραδοχή, εάν κανείς ήθελε να αποφύγει την χρήση του όρου με την ευρεία έννοια, θα έπρεπε να προσδιορίζει το περιεχόμενο της στις διάφορες φάσεις της περιόδου που θα συζητηθεί εδώ.

³(Hankins T. [1989] 1998) σ.16

του Διαφωτισμού εξακολουθούμε να έχουμε τη φυσική φιλοσοφία, η οποία παραμένει τμήμα της φιλοσοφίας, με ουσιαστικό τρόπο αφού εξακολουθεί να αναμετράται με φιλοσοφικά ερωτήματα όπως την παθητικότητα ή ενεργητικότητα της ύλης, την ύπαρξη Θεού κλπ. Επιπρόσθετα ένα μεγάλο μέρος αυτού που σήμερα καλούμε φυσική, τον 18ο αιώνα ονομαζόταν "μικτά μαθηματικά" περιλαμβάνοντας την αστρονομία, την οπτική, τη στατική, την υδραυλική, τη γεωγραφία κλπ.⁴ Στον αιώνα πάλι που θα εστιαστεί η προσοχή μας, τον 19ο, και για την μεγαλύτερη διάρκεια του, πολύ λίγοι θα περιέγραφαν αυτό που κάνουν ως φυσική και αντίστοιχα τους εαυτούς τους ως φυσικούς.⁵

Σύμφωνα με τον Morus, η φυσική ως έννοια που να προσιδιάζει, έστω σε κάποιο βαθμό, με την αντίστοιχη σύγχρονη της προκύπτει στο τέλος του δέκατου όγδοου και στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα. Δεν είναι τυχαίο, όπως χαρακτηριστικά αναφέρει, ότι η ίδια η λέξη *physicist* στα αγγλικά επινοείται στα 1830. Οι αντίστοιχες λέξεις στα γαλλικά και τα γερμανικά *physicien* και *physiker* επανοηματοδοτούνται αυτή την περίοδο. Στον 19ο αιώνα, είναι και οι απαρχές των σύγχρονων θεσμών που τυποποιούν την σύγχρονη φυσική: τα εργαστήρια, τα εκπαιδευτικά προγράμματα στα πανεπιστήμια ή ακόμα και ερευνητικές δομές ή ινστιτούτα. Στην διάρκεια αυτού του αιώνα οι εκπρόσωποι της φυσικής, διεκδικούν να είναι εκείνοι που με προνομιακό τρόπο περιγράφουν και εξηγούν τη φύση όπως επίσης σε αυτή την περίοδο η φυσική προσδένεται περισσότερο με την αναπτυσσόμενη βιομηχανία και την τεχνολογία. Όλα αυτά με τη σειρά τους παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της φυσικής του 19ου αιώνα.

Τα στοιχεία που περιγράφηκαν παραπάνω δείχνουν πως άλλαξε και η ίδια η φυσική μέσα στη διάρκεια του δέκατου ένατου αιώνα. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Morus,⁶ στην αρχή του αιώνα η φυσική φιλοσοφία ήταν η ασχολία μιας ολιγάριθμης αλλά αφοσιωμένης ομάδας, ενώ προς το τέλος του αιώνα, νέοι θεσμοί σε όλη την Ευρώπη και την Αμερική, προετοίμαζαν επαγγελματίες φυσικούς που ολοένα και περισσότερο αυξάνονταν σε πλήθος.

Σε αυτή λοιπόν την πορεία που βαθμιαία η φυσική και οι άνθρωποι που επαγγελματικά ασχολούνται με αυτή αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερο κύρος, πρέπει να ληφθούν υπόψιν

⁴(Hankins T. [1989] 1998) σ.16

⁵(Morus I. 2005) σ.4-7

⁶(Morus I. 2005) σ.53

κάποια στοιχεία από το οικονομικό, κοινωνικό και πολιτισμικό επίπεδο της εποχής, πως επηρέασε και πως επηρεάστηκε από αυτούς τους παράγοντες. Αυτή η σχέση πρωτίστως πρέπει να ιδωθεί αμφίδρομα. Σε αυτά, αλλά και στο ρόλο των ίδιων των υποκειμένων, των φυσικών φιλοσόφων και των φυσικών, στους τρόπους με τους οποίους προσπάθησαν να πείσουν για το επάγγελμα τους και τη σημασία του, θα επανέλθουμε λίγο παρακάτω, χωρίς όμως να στοχεύουμε σε μια αναλυτική περιγραφή αυτής της θεματικής. Πριν από αυτά όμως κρίνεται ότι πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία σε ένα σημείο.

1.2.2 Φυσική και αναγωγισμός

Στην έως τώρα αναφορά για τις φυσικές επιστήμες τον δέκατο ένατο αιώνα έχουμε περιοριστεί στην μελέτη της φυσικής, όχι επιλεγμένης με αξιολογικούς όρους ή πολύ περισσότερο λόγω μιας αναγωγιστικής προσέγγισης. Πράγματι μια λογική που ανάγει θέματα ή και ολόκληρους διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους στη φυσική είναι αρκετά συχνό φαινόμενο ακόμα και σήμερα. Μια τέτοια προσέγγιση αδυνατεί να δει διαφορετικές ποιότητες εν γένει και τείνει σε μια ιεραρχημένη διαβάθμιση με ισχυρό αξιολογικό φορτίο.

Παρενθετικά εδώ ας αναφέρουμε για λόγους πληρότητας ότι μια τέτοια αναγωγιστική προσέγγιση έχει βαθιές ρίζες και κίνητρα. Μπορεί δηλαδή ο αναγωγισμός να προκύπτει από μια επιδίωξη απλούστευσης της βασικής οντολογίας. Έτσι η οντική προτεραιότητα της φυσικής στηρίζεται στη θέση πως ότι υπάρχει είναι φυσική οντότητα και υπάγεται στους νόμους της φύσης υπό την στενή έννοια των νόμων της φυσικής. Μπορεί πάλι το κίνητρο για τον αναγωγισμό να είναι επιστημολογικό ή μεθοδολογικό, να προκύπτουν δηλαδή από το ερώτημα του *πώς* μπορούμε να γνωρίσουμε μη φυσικές οντότητες ή από την προσπάθεια απόδοσης μιας εικόνας ενός κόσμου ενοποιημένου πάνω σε ελάχιστες δυνατές παραδοχές.⁷

Υπό αυτή την έννοια είναι όντως μια δύσκολη ισορροπία αυτή που πρέπει να κρατηθεί παρουσιάζοντας το πως η φυσική κατακτά ολοένα και περισσότερο έδαφος, χωρίς αυτό να δηλώνει ρητά ή άρρητα μια αναγωγιστική τάση ανάγνωσης της ιστορίας. Παράλληλα

⁷Για περισσότερα πάνω στο θέμα του αναγωγισμού και των κινήτρων του στην κατεύθυνση που εδώ αναλύεται βλ. (Ψύλλος Σ. 2008) σ.145-160

αυτό που καθιστά ακόμα πιο δύσκολη την προσπάθεια σε αυτή την κατεύθυνση, είναι ότι αυτό που σήμερα καλείται κλάδος της χημείας, αντιμετωπίζεται συχνά - με αναχρονιστικές συνυποδηλώσεις- ως ο φτωχός συγγενής σε σχέση με την πρωτοκαθεδρία της φυσικής στην κυρίαρχη εκδοχή της ιστορίας της επιστήμης, κάτι που οφείλεται σε πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες αλλά δεν είναι ασύνδετο και με την προβληματική του αναγωγισμού που αναφέρθηκε παραπάνω.

Το θέμα της διπλωματικής, το οποίο είναι το έργο του Rayleigh σε σχέση με τα αέρια και τις ιδιότητες τους, εμπλέκει αντικειμενικά και άμεσα και το πεδίο της χημείας, πέρα από αυτό της φυσικής. Για την ιστορία της χημείας επίσης, η μελέτη των αερίων όπως αυτή πραγματοποιείται τον δέκατο ένατο αιώνα είναι εξόχως σημαντική. Το ίδιο και η ανακάλυψη του αργού, για την οποία ο Rayleigh, μαζί με τον Ramsay, θα βραβευθούν με Νόμπελ Φυσικής και Χημείας αντίστοιχα. Λίγα χρόνια πριν από την ανακάλυψη του αργού, έχει προταθεί ο περιοδικός πίνακας, ενώ τα ευγενή αέρια δεν έχουν ακόμα ταυτοποιηθεί.

Όμως για δυο λόγους θα περιοριστούμε στο κεφάλαιο αυτό στην αναφορά του ιστορικού υποβάθρου μόνο στο πεδίο της φυσικής. Ο πρώτος από αυτούς είναι κάπως τεχνικός, επιλέγεται δηλαδή, επειδή η μελέτη της χημείας το 19ο αιώνα είναι ένα δύσκολο και απαιτητικό εγχείρημα από μόνο του και δεν μπορεί να γίνει αντικείμενο αυτής της διπλωματικής, όχι τουλάχιστον με ένα τρόπο που θα είχε να συνεισφέρει κάτι στην περαιτέρω μελέτη. Ο δεύτερος λόγος αυτής της επιλογής έχει να κάνει με το γεγονός ότι το έργο του Rayleigh, ευρύτατο στο μέγεθός του, εκτείνεται σε όλους σχεδόν τους τομείς της φυσικής της εποχής του και προσεγγίζει τα αέρια σε μεγάλο βαθμό με τα μεθοδολογικά εργαλεία από τη φυσική σκοπιά.

1.3 Το θεσμικό πλαίσιο του αιώνα για τις επιστήμες

Η εξέλιξη των θεσμών που είχαν σχέση με τις Φυσικές Επιστήμες είναι σημαντικό στοιχείο για την κατανόηση της οργάνωσης, της θέσης και του ρόλου που είχαν στην κοινωνία του 19ου αιώνα, με τις διαφοροποιήσεις του κάθε τόπου, κάτι που δεν μπορεί να παραγνωριστεί για χάρη μιας ενιαίας αφήγησης. Η ίδια αυτή οργάνωση της επιστήμης

και οι θεσμοί έπαιξαν ενεργό ρόλο στην επιστήμη.

Το νήμα του πως αλλάζουν οι θεσμοί και της κατάστασης τους σε κάθε δεδομένη περίοδο θα πιαστεί εδώ κάπως αυθαίρετα και σίγουρα αποσπασματικά.⁸ Στον δέκατο έβδομο αιώνα με τις μεγάλες αλλαγές θα σταθούμε κατά βάση σε δυο σημεία. Το πρώτο έχει να κάνει με το ποιοι ήταν οι φυσικοί φιλόσοφοι και το πως αυτοί χρηματοδοτούνταν. Ορισμένοι φυσικοί φιλόσοφοι ήταν εύποροι και μπορούσαν να διαθέτουν δικά τους χρήματα για την έρευνα τους, ενώ από την άλλη ήταν καθιερωμένος ο θεσμός της πατρωνίας, όπου ο φυσικός φιλόσοφος έθετε τον εαυτό του κάτω από την προστασία κάποιου ευγενή ή ισχυρού, αλλά σε κάθε περίπτωση εύπορου προσώπου για να εξασφαλίσει κυρίως οικονομικά μέσα αλλά και κύρος, κάτι που προσέδιδε και στον ευγενή αντίστοιχα. Το δεύτερο έχει να κάνει με την εμφάνιση εταιρειών παροδικού χαρακτήρα ή με πιο μόνιμα χαρακτηριστικά. Η επικοινωνία ανάμεσα στους φυσικούς φιλοσόφους και η συναίνεση μέσω αυτής ήταν απαραίτητο στοιχείο και έτσι ιδρύθηκαν η Accademia dei Lincei, της οποίας μέλος ήταν και ο Γαλιλαίος και η Accademia del Cimento στη Φλωρεντία. Αυτές όμως οι κατά τόπους εταιρείες που δημιουργήθηκαν δεν ήταν μόνιμοι φορείς.

Το 1660 θα ιδρυθεί η Royal Society στο Λονδίνο και έξι χρόνια αργότερα στη Γαλλία η Académie des sciences. Αυτοί οι δυο θεσμοί απέκτησαν πιο μόνιμα χαρακτηριστικά και αμφότερες έπαιξαν σημαντικό ρόλο κυρίως στο επίπεδο της καταγραφής παρατηρήσεων, ανακαλύψεων και της επικοινωνίας των επιστημόνων από διάφορα μέρη του κόσμου, με τα πρώτα επιστημονικά περιοδικά, όπως το *Philosophical Transactions* αλλά και με ανοιχτές ομιλίες των μελών.

Η Royal Society βασίστηκε κατά κύριο λόγο στην εμπειριστική φιλοσοφία του Francis Bacon ως εναλλακτική στον σχολαστικισμό και επέμεινε να αφήσει εκτός όσους αντιτίθενται στη βάση της πειραματικής φιλοσοφίας. Σε αυτό το πλαίσιο, και για έναν επιπλέον λόγο, αυτό της αξιοπιστίας που επιτυγχανόταν μόνο μέσω της ύπαρξης μαρτύρων με κοινωνικό κύρος, δινόταν ιδιαίτερη έμφαση στην επίδειξη των πειραμάτων. Από εδώ εκκινούν πολλές διαφορετικές κοινωνιολογικές προσεγγίσεις που αφορούν τον πειραματικό προσανατολισμό της Royal Society και την αγγλική κοινωνία.

⁸ Η ανάλυση που ακολουθεί εν πολλοίς στηρίχθηκε στο κεφάλαιο "Η οργάνωση της επιστήμης" στο (Bowler P, Morus I [2005] 2012) καθώς και στο (Bernal J. [1954] 1969)

Μια βασική διαφορά ανάμεσα στους δυο αυτούς θεσμούς στην Αγγλία και τη Γαλλία, ήταν η χρηματοδότηση τους και η σχέση τους με το κράτος, με τη Γαλλία να ακολουθεί ένα πιο συγκεντρωτικό μοντέλο, διορισμένων θέσεων και κρατικών χρηματοδοτήσεων ενώ στην Αγγλία οι πόροι προέρχονταν από τις δωρεές των ίδιων των μελών και αντίστοιχα υπήρχε μια οργάνωση λιγότερο συγκεντρωτική, όπου την κατεύθυνση των ερευνών την έδινε η ίδια η ομάδα.

Στον 18ο αιώνα, τα γερμανικά και τα ολλανδικά πανεπιστήμια, είχαν αρχίσει να μετασχηματίζονται και απέκτησαν έντονη δραστηριότητα γύρω από τις φυσικές επιστήμες. Από την άλλη μεριά είναι αξιοσημείωτο ότι στα πανεπιστήμια της Οξφόρδης και του Cambridge το πρόγραμμα δεν περιλαμβάνει παρά ένα μικρό μέρος των φυσικών επιστημών κάτι που θα ισχύει και στο γύρισμα του αιώνα προς τον 19ο. Στη Γαλλία η διδασκαλία των φυσικών επιστημών είναι περιορισμένη στα πανεπιστήμια, αν και πρέπει εδώ να αναφερθεί η ίδρυση τεχνικών σχολών για την εκπαίδευση μηχανικών στρατού (École des Ponts et Chaussées). Όσον αφορά τη Royal Society, έπειτα από μια περίοδο παρακμής, και κάτω από τη διεύθυνση του Banks ανέκαμψε ξανά μέσα στη διάρκεια του δέκατου όγδοου αιώνα.

Τον 19ο αιώνα η επιστήμη θα γίνει ένα αναπόσπαστο χαρακτηριστικό του βιομηχανοποιημένου πολιτισμού.⁹ Σύμφωνα πάλι με τον Bernal¹⁰ του οποίου η περιγραφή ακολουθεί το σχήμα βάσης-εποικοδομήματος, ενώ πριν η επιστήμη ήταν μέρος του εποικοδομήματος με κυρίαρχα τα ιδεολογικά στοιχεία, στον 19ο αιώνα η κατάσταση θα αλλάξει και η επιστήμη θα γίνει βασικός συντελεστής τεχνολογικής ανάπτυξης και της παραγωγής, αν και η πλήρης ενσωμάτωση της στον παραγωγικό μηχανισμό θα γίνει στον 20ο αιώνα. Αυτή η αλλαγή του ρόλου της επιστήμης σχετίζεται και με τους θεσμούς της εποχής, στους οποίους θα αναφερθούμε κάπως αναλυτικότερα, εκτός των άλλων λόγων που εισαγωγικά σε αυτή την παράγραφο περιγράφηκαν, και γιατί ο Rayleigh είχε μια άμεση εμπλοκή με αυτούς, τόσο μέσω της εκπαίδευσης που ο ίδιος έλαβε, όσο και μέσω των διοικητικών θέσεων που κατείχε και έχει ενδιαφέρον να δει κανείς ποιες κατευθύνσεις εκεί έδωσε, όπως επίσης και της απεύθυνσης σε αυτούς τους θεσμούς για να παρουσιάσει τα αποτελέσματα των ερευνών του.

⁹(Bowler P, Morus I [2005] 2012) σ. 311-317

¹⁰(Bernal J. [1954] 1969) τόμος II σ. 541-544

Ξεκινώντας αυτή τη φορά από τη Γαλλία, με τη Γαλλική Επανάσταση να ξεσπά το 1789, αξίζει να σημειωθεί αυτή την περίοδο ένα κύμα αλλαγών που χρωματίζεται από μια λογική να τεθεί η επιστήμη ως πρακτική δραστηριότητα στην υπηρεσία του έθνους. Παράλληλα αποφασιστικής σημασίας ήταν η ίδρυση, σε αυτό το κλίμα, της École Polytechnique και της École Normale Supérieure όπου η έμφαση δινόταν στην τεχνική έρευνα και αντίστοιχα στην εκπαίδευση. Αμφότερα θα ιδρυθούν το 1794.

Στη Γερμανία πάλι προωθήθηκε η εισαγωγή της επιστήμης στα πανεπιστήμια, όπου η περίοδος αυτή του μετασχηματισμού είχε αρχίσει την περίοδο του Διαφωτισμού, όπως νωρίτερα αναφέρθηκε. Στα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα η Γερμανία πήρε τη θέση της Γαλλίας στην κορυφή της Ευρώπης όσον αφορά την επιστήμη.

Στη Μεγάλη Βρετανία στην αρχή του δέκατου ένατου αιώνα η Royal Society, έπειτα από το θάνατο του Banks, άρχισε να παρακμάζει. Στα 1830 μια ομάδα νέων επιστημόνων με τον Charles Babbage (1792-1871) θα εκφραστεί ηχηρά τόσο για την αποτυχία της Κυβέρνησης όσο και για εκείνη της Royal Society να ανταποκριθούν στις νέες για τότε ανάγκες της επιστήμης. Στο βιβλίο του *Reflections on the Decline of Science in England*, ο Babbage θα αναφέρει ότι έχει μετατραπεί σε μια κλειστή εταιρεία που ελέγχει ένα σύνολο μελών, όπου η πλειοψηφία των ανώτερων στελεχών έχει μικρή ή επιφανειακή σχέση με την επιστήμη και οι οποίοι δεν είναι καν γενναιόδωροι πάτρωνες. Πάνω σε αυτή την κριτική για μια ελιτίστικη και συντηρητική RS αναδύεται η ανάγκη μεταρρύθμισης ή και ύπαρξης άλλων εταιρειών. Αυτό το μεταρρυθμιστικό πνεύμα υπάρχει αυτή την εποχή και στα εκπαιδευτικά προγράμματα και στις προσεγγίσεις στα πανεπιστήμια της Μ. Βρετανίας, δεν θα σταθούμε εδώ σε αυτό, αλλά θα είναι θέμα επόμενης παραγράφου. Το 1831 ιδρύεται η *British Association for the Advancement of Science*, όπου ανάμεσα στα ιδρυτικά μέλη είναι και ο Babbage. Η British Association ιδρύθηκε πάνω στα πρότυπα της Deutscher Naturforscher - Versammlung που ιδρύθηκε το 1822 στη Γερμανία. Η British Association δεν άργησε να γίνει ευρέως γνωστή κυρίως λόγω της συνήθειας να μεταφέρει τις συναντήσεις σε διάφορες πόλεις στην Αγγλία αλλά και στις αποικίες. Βασικές διαμάχες της εποχής θα λάβουν μέρος σε αυτές τις συναντήσεις. Η κοινότητα αυτή θα τονώσει την φυσιογνωμία της επιστήμης και θα βοηθήσει στο να καταστεί δημοφιλής, κάτι που αποτελούσε και στόχο της αλλά επίσης θα προωθήσει με τη δράση

της την οικονομική υποστήριξη της έρευνας, πετυχαίνοντας να πάρει και κρατική χρηματοδότηση για την έρευνα μελών της.

Όσον αφορά τα πανεπιστήμια στη Μεγάλη Βρετανία εξακολουθεί στο πρώτο μισό του δέκατου ένατου αιώνα η ίδια εικόνα, που θέλει τα μεν πανεπιστήμια της Σκωτίας να διδάσκουν φυσικές επιστήμες αλλά τα πανεπιστήμια της Οξφόρδης και του Cambridge να μην τις εντάσσουν ιδιαίτερα στο πρόγραμμα διδασκαλίας τους. Αυτή η εικόνα θα αλλάξει και έπειτα από κρατική παρέμβαση θα αναγκαστούν να εισάγουν τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στην δεκαετία του 1850. Αποφασιστικής σημασίας είναι οι μεταρρυθμίσεις της δεκαετίας του 1870 σε αυτή την κατεύθυνση με το Cavendish Laboratory, το οποίο ιδρύεται το 1874, κάτω από τη διεύθυνση του Maxwell, πρώτου καθηγητή του Cavendish στην πειραματική φυσική. Τον Maxwell, σε αυτή τη θέση διαδέχεται ο Rayleigh και σε αυτή θα παραμείνει από το 1879 μέχρι το 1884. Το Cavendish Laboratory γίνεται κορυφαίο ερευνητικό κέντρο στην Ευρώπη.

Κλείνοντας εδώ την περιγραφή του θεσμικού πλαισίου της εποχής θα αναφέρουμε επιγραμματικά τη Μεγάλη Έκθεση του 1851, που συμβολοποιεί με ένα τρόπο την ενότητα της επιστήμης, των εφευρέσεων και της βιομηχανίας. Η σημασία των Εκθέσεων είναι πολύ μεγάλη και ο ρόλος που παίζουν είναι καθοριστικός. Ας επανέλθουμε όμως στο πανεπιστήμιο του Cambridge του οποίου απόφοιτος είναι και ο Rayleigh.

1.4 Το πανεπιστήμιο του Cambridge, τα πανεπιστήμια της Σκωτίας - άξονες και εκπαιδευτικά προγράμματα

1.4.1 Η μαθηματική ανάλυση τον 18ο και 19ο αιώνα

Στην ενότητα αυτή παράλληλα με τη δομή των θεσμών, τη λειτουργία τους και κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους που ήδη αναφέραμε, θα εστιάσουμε περισσότερο στον τρόπο που διεξαγόταν η έρευνα και η διδασκαλία των φυσικών επιστημών -και στην πορεία αυτή- της φυσικής, με τις ομοιότητες και διαφορές που προέκυψαν από τόπο σε τόπο. Θα υπεισέλθουμε ίσως και σε κάποιες πιο ειδικές πλευρές που όμως είναι απαραίτητες για τη μελέτη του έργου του Rayleigh που θα ακολουθήσει. Όλα αυτά θα περάσουν

μέσα από το δρόμο της ανάλυσης και του πειράματος.

Τα 'μικτά μαθηματικά' στη Βρετανία αναπτύχθηκαν με διαφορετικό τρόπο στη διάρκεια του 18ου αιώνα από ότι στην ηπειρωτική Ευρώπη και κυρίως στη Γαλλία. Ο τρόπος τους βασιζόταν στον λογισμό του Νεύτωνα, στη μορφή που αυτός τον ανέπτυξε "*fluxional calculus*" - σε αντιδιαστολή με τη χρήση των διαφορικών την οποία εισήγαγε ο Leibniz - στο *Principia*. Από τα μέσα του αιώνα αυτό το χάσμα άρχισε να διευρύνεται λόγω της ανάπτυξης της ηπειρωτικής ανάλυσης. Αναζητώντας τους λόγους της απομάκρυνσης των προσεγγίσεων σε Βρετανία και Γαλλία, θα πρέπει να σταθεί κανείς στη δυσκολία που προέκυπτε λόγω των διαφορετικών τεχνικών, η μελέτη των οποίων δεν ήταν χωρίς προαπαιτούμενα, όσο και σε κοινωνικούς και πολιτισμικούς παράγοντες.¹¹

Ο όρος *ανάλυση* έχει πολύ διαφορετικό περιεχόμενο εκείνη την εποχή από ότι ο αντίστοιχος σύγχρονος όρος και μάλιστα πρέπει να διακριθούν εδώ και κάποιες διαφορετικές φάσεις της πορείας του.¹² Σύμφωνα με τον Hankins¹³, "Ο δέκατος όγδοος αιώνας όρισε την ανάλυση ως τη μέθοδο επίλυσης προβλημάτων με την αναγωγή τους σε εξισώσεις. Έτσι η ανάλυση περιλάμβανε την άλγεβρα, αλλά ειδικότερα, χρησιμοποιούσε τον διαφορικό και ολοκληρωτικό λογισμό και τις εφαρμογές τους στη μηχανική". Σύμφωνα πάλι με τον Fraser¹⁴ στην εποχή αυτή πρέπει κανείς να δει τρεις μεγάλες περιόδους: το γεωμετρικό στάδιο, όπου τα γεωμετρικά προβλήματα και αντίστοιχα οι επιλύσεις ήταν κυρίαρχες, το αναλυτικό ή αλγεβρικό στάδιο, το οποίο ξεκινά στη δεκαετία του 1740 με το έργο του Euler να είναι κομβικής σημασίας σε αυτή την κατεύθυνση και φτάνει στην πιο ολοκληρωμένη του έκφραση στο έργο του Lagrange προς το τέλος του αιώνα και τέλος το στάδιο της κλασικής ανάλυσης που ξεκινά στις αρχές του 19ου αιώνα με το έργο του Cauchy.

Στη διάρκεια του 18ου αιώνα, μαθηματικοί όπως ο Euler, D' Alembert, τα μέλη της οικο-

¹¹Για ανάλυση αυτών των λόγων βλ. (Warwick A 2003) σ.1-49 και (Morris I. 2005) σ. 22-54

¹²Εδώ δεν αναφερόμαστε στη χρήση που γινόταν στον 18ο για να περιγράψει την επιστημονική μέθοδο, σύνθεση - ανάλυση αλλά με την στενότερη έννοια του όρου στα μαθηματικά. Για την παραπάνω διάκριση και την έννοια του όρου τον 18ο αι. βλ. (Hankins T. [1989] 1998) σ. 26-32

¹³(Hankins T. [1989] 1998) σ. 26

¹⁴(Fraser C.G 1989). Να σημειωθεί επίσης εδώ ότι ο Fraser δεν αποκλείει την ανάμειξη στοιχείων από αυτές τις μεθοδολογίες.

γένειας Bernoulli¹⁵, ανέπτυξαν λοιπόν ένα νέο πεδίο μαθηματικής μελέτης, την ανάλυση, με συστηματική εφαρμογή του λογισμού του Leibniz σε ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων, με κύρια αναφορά στη μηχανική. Προς το τέλος του 18ου αιώνα ο Lagrange με το έργο του *Mécanique Analytique* (1788) θα φτάσει ακόμα σε πιο αφαιρετικό επίπεδο με τη μηχανική και τη δυναμική να αναπτύσσεται σε πλήρη αναλυτικό φορμαλισμό. Στο έργο του Lagrange και στο τι σημαίνει η εισαγωγή του για τη φυσική θα επιστρέψουμε σε επόμενη παράγραφο, όπως επίσης και στη μηχανιστική φιλοσοφία που διαπερνά και κυριαρχεί την εποχή αυτή, και είναι αναπόσπαστο στοιχείο για την καταλάβει κανείς. Εδώ ακολουθώντας και την πορεία της ανάλυσης θα γίνει μια αδρή περιγραφή του ρόλου και της προσέγγισης των φυσικών επιστημών και της φυσικής στο Πανεπιστήμιο του Cambridge και στα Πανεπιστήμια της Σκωτίας. Πριν από αυτό, αξίζει να σημειώσουμε κάτι τελευταίο, και αυτό έχει να κάνει με το ότι σε μεγάλο βαθμό παραμένει άγνωστο το πως σημαντικοί αναλυτές ήρθαν σε επαφή και έμαθαν την ανάλυση στο τέλος του 18ου και στις αρχές του 19ου. Ομοίως στις αρχές του 19ου, και εν είδει παραδείγματος, ο Ohm και ο Weber απέκτησαν τις γνώσεις τους στη μαθηματική φυσική κυρίως μέσα από τον οικογενειακό κύκλο γνωριμιών και από ιδιωτική μελέτη σε σχέση με τυπική πανεπιστημιακή εκπαίδευση.¹⁶ Από την άλλη μεριά, αναλυτές όπως ο D' Alembert, ο Euler, ο Lagrange και ο Laplace έπαιξαν καθοριστικό ρόλο σε μεγάλες ακαδημίες, όπως αυτή του Παρισιού, του Βερολίνου ή της Αγ. Πετρούπολης. Κατά κανόνα λίγα ευρωπαϊκά πανεπιστήμια δίδασκαν μαθηματικά πέρα των στοιχειωδών γνώσεων μέχρι αργά τη δεκαετία του 1760, με το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας επί της ηπειρωτικής ανάλυσης να γίνεται σε ακαδημίες παρά σε πανεπιστήμια. Αυτό που έχει νόημα να δούμε εδώ είναι πώς σε κάθε περίπτωση η διδασκαλία και η έρευνα των μικτών μαθηματικών και της ανάλυσης δεν πέραγε απαραίτητα μέσα από την τυπική πανεπιστημιακή εκπαίδευση με ένα αυστηρό τρόπο.

¹⁵Η σειρά αναφοράς δεν ακολουθεί το χρόνο. Ο Jacob Bernoulli μάλιστα ήταν από τους πρωτοπόρους που εφάρμοσε το λογισμό του Leibniz στη μηχανική.

¹⁶(Warwick A. 2003) σ. 33

1.4.2 Το Πανεπιστήμιο του Cambridge και η εισαγωγή της ανάλυσης

"Όταν στρεφόμαστε στην Αγγλία δε βρίσκουμε κανένα μεμονωμένο ίδρυμα το οποίο να μπορεί να συγκριθεί με την Ecole Polytechnique σε κάτι συγκεκριμένο. Εάν θεωρήσουμε την Ecole Polytechnique σαν μία σχολή μηχανικών και κυρίως στρατιωτικών μηχανικών μπορούμε μόνο να βρούμε την Academy at Woolich με την οποία μπορεί να συγκριθεί. Αλλά αν δούμε τη Γαλλική σχολή σαν ένα ίδρυμα στο οποίο τα ανώτερα μαθηματικά διδάσκονται με στόχο την παραγωγή δασκάλων και ερευνητών, πρέπει να τη θεωρήσουμε σαν να παίρνει τη θέση αυτή που στη χώρα μας κατέχει το πανεπιστήμιο του Cambridge."

de Morgan 1835¹⁷

Το παραπάνω απόσπασμα καταδεικνύει με έναν παραστατικό τρόπο τη σημασία του Πανεπιστημίου Cambridge τόσο γενικά όσο και στα μαθηματικά και στη φυσική στον 19ο αιώνα. Πράγματι μια επιτυχία στο Tripos (έτσι καλείται ο διαγωνισμός που δινόταν στο τέλος για την απόκτηση διπλώματος μετά τιμής (honors degree), μπορούσε να εγγυηθεί την είσοδο στην πολιτιστική ελίτ της χώρας. Συγκριτικά λίγοι από τους Wranglers¹⁸ γινόντουσαν επαγγελματίες μαθηματικοί ή άνθρωποι της επιστήμης, -δεν ήταν αυτός ο ρόλος του Tripos μόνο άλλωστε - ενώ από την άλλη λίγοι Βρετανοί που έπαιξαν ουσιαστικό ρόλο και εν πολλοίς ταυτίστηκαν με τις εξελίξεις στη φυσική επιστήμη στο δεύτερο μισό του 19ου αιώνα δεν είχαν περάσει από το Cambridge Tripos.¹⁹²⁰ Έκτος από το Cambridge Tripos, να αναφέρουμε εδώ και το Smith's Prize, τον έτερο διαγωνισμό, ο οποίος δινόταν έπειτα από το Tripos και στον οποίο λάμβαναν μέρος μόνο εκείνοι με πολύ υψηλές επιδόσεις.

Από τα μέσα του 18ου αιώνα τα 'μικτά μαθηματικά' άρχισαν να εκτοπίζουν άλλες παραδοσιακές θεματικές, όπως η θεολογία και η ηθική φιλοσοφία, ενώ προς το τέλος του αιώνα είχαν γίνει κυρίαρχα στο εκπαιδευτικό πρόγραμμα του Πανεπιστημίου, καθώς και στις εξετάσεις του Senate House (Tripos).²¹ Η προετοιμασία για αυτές τις εξετάσεις

¹⁷de Morgan 1835, 334-5 Παρατίθεται στο (Harman P. (ed.) 1984) σ.101

¹⁸Κρίνεται καλύτερο να παραμείνει αμετάφραστος ο όρος. Ο πρώτος στην κατάταξη είχε τον τίτλο του Senior Wrangler, και έπονται Second Wrangler, Third Wrangler κλπ.

¹⁹(Morus I. 2005) σ. 43-44

²⁰Το 1824 θεσμοθετείται και το Classical Tripos, σε αντιδιαστολή με το Mathematical Tripos.

²¹(Warwick A. 2003) σ. 37

ήταν μια πολύ απαιτητική διαδικασία, που κρατούσε ένα χρόνο, τον τέταρτο της προπτυχιακής εκπαίδευσης. Ακόμα η προετοιμασία σε μεγάλο βαθμό γινόταν με τη βοήθεια ιδιωτών εκπαιδευτών ("coach" ο αντίστοιχος όρος)²².

Στις αρχές του 19ου αιώνα γίνεται μια προσπάθεια να εισαχθούν στοιχεία από την ηπειρωτική μαθηματική ανάλυση. Μια από τις πρώτες τέτοιες προσπάθειες είναι αυτή του R. Woodhouse με το βιβλίο του *The principles of Analytical Calculations* το οποίο όμως έχει μικρή επίδραση.

Στην ίδια γενική κατεύθυνση κινείται και η ίδρυση της *Analytical Society* το 1812. Μια προσπάθεια, που ξεκινάει από τα κάτω, σε αντιδιαστολή δηλαδή με τους επίσημους θεσμούς και τις ηγεσίες. Η *Analytical Society* θέτει ως στόχο της, την εισαγωγή της ανάλυσης στο Cambridge και τα μέλη της, Babbage, Peacock, και Herschel δεσμεύονται σε αυτό. Μεταφράζουν το βιβλίο του Lacroix *Differential and Integral Calculus*, κάτι που αποτελεί και ιδρυτικό στόχο της *Analytical Society*, ενώ αντιλαμβάνονται ότι για να εισαχθεί η ανάλυση στο Cambridge, πέρα από τα εγχειρίδια πρέπει να μπει και στις εξετάσεις και μια επόμενη γενιά να εκπαιδευτεί στις αντίστοιχες πρακτικές. Ο Peacock, από τη θέση του εισηγητή θεμάτων θα προσπαθήσει να βοηθήσει σε αυτή την κατεύθυνση (1817). Παρόλα αυτά η εισαγωγή της ανάλυσης θα είναι μια βαθμιαία διαδικασία.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1830 και μέχρι τη δεκαετία του 1850 ο Whewell παρόλο τη διαφορετική προσέγγιση σε σχέση με τον Peacock, αναγνώρισε και συνέβαλε με τον τρόπο του στην εισαγωγή της ηπειρωτικής ανάλυσης στη διδασκαλία και την έρευνα. Συντηρητικός, υπερασπιστής της Αγγλικανικής Εκκλησίας, θα προωθήσει μια φιλελεύθερη εκπαίδευση για μια κοινωνική ελίτ ενώ θα σταθεί απορριπτικός στην αυξανόμενη σύνδεση της επιστήμης με την βιομηχανία. Θα χρησιμοποιήσει το συμβολισμό του Leibniz (d-notation) αλλά θα παραμείνει κοντά στις παραδοσιακές γεωμετρικές μεθόδους όπου αυτό μπορεί να επιτευχθεί και θα δει την ανάλυση σαν ένα χρήσιμο εργαλείο στη λύση φυσικών προβλημάτων και μόνο, μην υιοθετώντας την υπόλοιπη ατζέντα της *Analytical Society* (πολιτικές προεκτάσεις κλπ). Παράλληλα ο ίδιος θα συγγράψει ένα εγχειρίδιο προωθώντας τη χρήση αναλυτικών μεθόδων.

²²Ο ρόλος του coach θα είναι σημαντικός και για την 'αναλυτική επανάσταση' όπως συχνά αναφέρεται στην ιστορία. Βλ. (Warwick A. 2003) σ. 49-114

Αξίζει εδώ να αναφερθεί και η συμβολή του Airy, μαθητή του Peacock, ο οποίος ήρθε σε επαφή από νωρίς με την ανάλυση, την οποία εφάρμοσε και κατά τη διάρκεια της μαθητείας του, καθώς επίσης και από τη θέση του καθηγητή. Η αναφορά ως εδώ δεν πρέπει να θεωρηθεί - λόγω της αναφοράς σε συγκεκριμένα πρόσωπα- ότι αγνοεί την υπόλοιπη επιστημονική κοινότητα, παρότι δεν είναι στόχος της εργασίας μια εξαντλητική περιγραφή αυτού, και το πως αυτή στάθηκε στο θέμα της ανάλυσης. Άλλωστε όπως ήδη αναφέρθηκε καθοριστικός είναι ο ρόλος της Analytical Society, που φτιάχτηκε από τα κάτω.

Κλείνοντας, να τονίσουμε σε αυτό το σημείο ότι η είσοδος της μαθηματικής ανάλυσης στο Cambridge έγινε κυρίως στον τρόπο που την προσέγγισε ο Lagrange, ενώ δεν συμβάδισε με την κλασική ανάλυση του Cauchy που εισάγεται στις αρχές του 19ου και η οποία βασίστηκε στα όρια.

1.4.3 Θέματα και θεματικές στο Cambridge και στα πανεπιστήμια της του Εδιμβούργου και της Γλασκώβης

Στην προηγούμενη υποενότητα το βάρος δόθηκε στο πως εισήχθη η ανάλυση στο Cambridge. Εδώ θα γίνει μια προσπάθεια να παρουσιαστούν οι διάφορες θεματικές των μικτών μαθηματικών και της φυσικής και ποια προσέγγιση σε αυτές τις θεματικές ακολουθούσαν τον 19ο αιώνα τα πανεπιστήμια της Βρετανίας, και πιο συγκεκριμένα αυτό του Cambridge και της Σκωτίας.

Στο Πανεπιστήμιο του Cambridge, την πρώιμη Βικτωριανή εποχή, όπως ήδη αναφέραμε δίνεται ιδιαίτερο βάρος στα μικτά μαθηματικά εστιάζοντας σε πολλούς τομείς, όπως τη μηχανική, την υδροστατική, την υδροδυναμική, την παρατηρησιακή αστρονομία και τη γεωμετρική οπτική. Αντίθετα η μελέτη της θερμότητας, του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού βρισκόταν στο περιθώριο. Στις εξετάσεις του Tripos, εμφανιζόντουσαν σπάνια- αυτό συνέβαινε και με τους νόμους των αερίων- αλλά και όταν αυτό γινόταν (μια με δυο ερωτήσεις σε σύνολο 175 με 200)²³, δεν αφορούσε συνδέσεις ή αναλογίες ανάμεσα στη θερμότητα, τον ηλεκτρισμό ή το μαγνητισμό.²⁴ Σε αυτές τις θεματικές δεν υπήρχαν

²³ Σε αυτό το σύνολο ερωτήσεων αντιστοιχούσαν 4-5 στην κυματική θεωρία του φωτός

²⁴ Η ανάλυση ως εδώ αλλά και αυτή που ακολουθεί βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στο άρθρο του Wilson D.

μαθηματικές διαλέξεις που να δίνονταν στο Cambridge, ούτε εξεταζόταν η φύση τους. Στην πρώτη αναφορά το 1849 του *Board of Mathematical Studies* θεωρείται ότι τα μαθηματικές θεωρίες στα θέματα του ηλεκτρισμού, του μαγνητισμού και της θερμότητας μπορούν να θεωρηθούν εκτός των θεμάτων του Tripos. Αντίθετα η μελέτη της γεωμετρικής οπτικής και της φυσικής οπτικής ήταν βασικά θέματα μελέτης και εξέτασης. Περιγράφοντας τον απόφοιτο του Cambridge στα μέσα του 19ου, ο Wilson θα πει: "ότι θα ξέρει πολλά από τον Laplace, τον Fresnel και τον Young αλλά λίγα για τον Ampère τον Oersted και τον Faraday."²⁵

Τα πράγματα ήταν κάπως διαφορετικά στα πανεπιστήμια της Σκωτίας. Στο Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου και της Γλασκώβης, δινόταν έμφαση και στα μαθηματικά²⁶ αλλά και στο πείραμα, το οποίο θεωρείται βασικό για τη φυσική φιλοσοφία. Ήταν πιο κοντά σε μια βακωνική προσέγγιση, με κεντρική τη χρήση της επαγωγής και έμφαση σε ποσοτικούς νόμους (σε αυτή την προσέγγιση συνέβαλε και ο Forbes στο Εδιμβούργο). Στη Σκωτία ασχολούνταν επίσης σε πιο μεγάλο βαθμό με τον ηλεκτρισμό, με το μαγνητισμό και τη θερμότητα. Επίσης δινόταν μεγάλη έμφαση στις αναλογίες και τις συσχετίσεις και σε μια υποκείμενη ενότητα για την ανθρώπινη γνώση. Αυτό είναι ένα ενοποιητικό στοιχείο για το πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου και της Γλασκώβης (συμβάλει σε αυτό ο και Meikleham και ο Thomson). Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι και στο Cambridge ασχολούνταν με την αναλογία φωτός και ήχου αλλά όχι με μεθοδολογικού τύπου αναφορές για έρευνα και άλλων αναλογιών όπως το είδε ο Forbes ανάμεσα στο φως και την εκπεμπόμενη θερμότητα. Όσον αφορά την οπτική, είχαν κυρίως την σωματιδιακή προσέγγιση του φωτός (αν και διαβαζόταν και το εγχειρίδιο του Airy), σε αντίθεση με το Cambridge όπου οι Herschel και Airy έριχναν το βάρος στην κυματική θεωρία, για την πλήρη μελέτη της οποίας απαιτούνταν ανάλυση υψηλού επιπέδου.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1860 αρκετοί που είχαν εκπαιδευτεί και αποφοιτήσει από το Cambridge ύψωσαν την φωνή τους για να καταδείξουν ότι το πρόγραμμα του Cambridge σχετικά σταθερό από το 1848 επικεντρωνόταν στην καθαρή ανάλυση και όχι αρκετά στη μαθηματική φυσική. Ακόμα ζήτησαν να δοθεί έμφαση στον ηλεκτρισμό, στο μαγνητισμό

στο (Harman P. (ed.) 1984)

²⁵Wilson D. στο (Harman P. (ed.) 1984) σ.19

²⁶Η έμφαση στα μαθηματικά είναι μικρότερη από ότι στο Cambridge.

και τη θερμότητα. Αυτές οι μεταρρυθμίσεις τελικά ενσωματώθηκαν τα επόμενα χρόνια και κυρίως με τον κανονισμό του 1868 για το New Tripos. Ήταν επίσης βασικό σε αυτές τις αλλαγές ότι πλέον θα μπορούσε κανείς να επικεντρωθεί στα ενδιαφέροντα του, χωρίς να πρέπει ταυτόχρονα να εμβαθύνει σε όλους τους τομείς.

Μια εναλλακτική προσέγγιση λοιπόν ξεκινά στο Cambridge τη δεκαετία του 1870 με την έμφαση στην πειραματική φυσική και την ίδρυση του Cavendish Laboratory (1874), το οποίο αποκτά ιδιαίτερη σημασία ως ινστιτούτο έρευνας και διδασκαλίας, αν και δεν έχει άμεσο αντίκτυπο στο προπτυχιακό επίπεδο²⁷. Προοδευτικά εισάγονται περισσότερα μαθηματικά στο Natural Science Tripos και έτσι μετασχηματίζεται αυτός ως ο κύριος δρόμος για κάποιον που θέλει να γίνει φυσικός. Στην τελευταία δεκαετία και με την αυξανόμενη επιτυχία σε αριθμό φοιτητών, καθώς και τη στενή σύνδεση του Natural Tripos με το Cavendish Laboratory, γίνονται σημαντικά βήματα στον τομέα της πειραματικής φυσικής, και στο Cambridge και στη Βρετανία λόγω του κυρίαρχου ρόλου του.

Αυτές είναι οι συνθήκες που υπάρχουν όταν ο Rayleigh είναι φοιτητής και αποφοιτά ως Senior Wrangler και στη διαμόρφωση των οποίων, ειδικά για το Cavendish Laboratory και την πειραματική φυσική θα παίξει καθοριστικό ρόλο. Επιλέγουμε σε αυτή τη σύντομη σκιαγράφηση της θεματολογίας και του τρόπου προσέγγισης της φυσικής στα πανεπιστήμια της Βρετανίας να μην αναφερθούμε άμεσα σε αυτόν, αφού λόγω του θέματος της παρούσας εργασίας θα ακολουθήσει αναλυτικά και η βιογραφία του και στοιχεία από το έργο του και συνεπώς θα επανέλθουμε αντικειμενικά σε αυτά.

1.5 Μια μηχανιστική εικόνα για τον κόσμο - φιλοσοφία και φυσική

1.5.1 Η μηχανιστική φιλοσοφία - ύλη σε κίνηση

Κάνοντας την παραδοχή μιας παγκόσμιας ισχύος των νόμων του Νεύτωνα το επόμενο βήμα είναι να διερευνήσει κανείς τι σημαίνει μια τέτοια παραδοχή και που οδηγεί, τι λογικές συνέπειες έχει. Ο Laplace στο γύρισμα του αιώνα και τις αρχές του 19ου θα

²⁷Βλ.(Warwick A. 2003) σ.264-272

πραγματευτεί αυτό το ερώτημα με ένα τρόπο που συμβολοποιεί την αντίληψη για τον κόσμο για την εποχή ή και την εποχή όπως θα μπορούσε κανείς να πει.

"Μια διάνοια που θα γνώριζε, για μια δεδομένη χρονική στιγμή, όλες τις δυνάμεις που δρουν στη φύση, καθώς και τις θέσεις όλων των πραγμάτων που την αποτελούν, και θα ήταν σε θέση να αναλύσει αυτά τα δεδομένα, θα ενσωμάτωνε σε ένα και μοναδικό μαθηματικό τύπο τις κινήσεις των μεγαλύτερων σωμάτων μαζί με εκείνες του ελαφρύτερου ατόμου. Για αυτή τη διάνοια, τίποτε δεν θα ήταν αβέβαιο, και το μέλλον, όπως και το παρελθόν θα βρισκόταν μπροστά στα μάτια της"

Ο δαίμων του Laplace, σύνηθες θέμα της βιβλιογραφίας, συνδέεται άμεσα με την αιτιοκρατία και παραστατικά περιγράφει ένα κόσμο μηχανοκρατικό. Σε αυτό τον κόσμο η τεράστια ποικιλία των πραγμάτων αλλά και των φαινομένων μπορεί να αναχθεί πλήρως απλώς και μόνο στις συνέπειες ενός συνόλου ποσοτικών νόμων οι οποίοι καθορίζουν τη συμπεριφορά μιας βασικής οντολογίας. Αυτή η βασική οντολογία της μηχανοκρατικής θεώρησης του κόσμου είναι τα *κινούμενα υλικά σωματίδια*.

1.5.2 Φυσική και μηχανοκρατία τον 19ο αιώνα - Φορμαλισμός Lagrange και μοντέλα

Αυτή η μηχανοκρατική αντίληψη, με αυτή τη βασική οντολογία (η εν κινήσει ύλη) κυριάρχησε στις φυσικές θεωρίες και του 19ου αιώνα.²⁸ Την περίοδο αυτή αυξάνεται η κυριαρχία της ποσοτικοποίησης των φυσικών φαινομένων και η αναζήτηση μαθηματικών νόμων. Από την άλλη είναι βασικός και ταυτόχρονα ενοποιητικός ο ρόλος που παίζει η έννοια της ενέργειας και η αρχή διατήρησης της ενέργειας ως ενοποιητική αρχή. Πάνω σε αυτή την έννοια στηρίζονται νέες προσεγγίσεις και η φυσική αλλάζει. Η έννοια της ενέργειας, βοήθησε, όπως χαρακτηριστικά γράφει ο Harman, την υπαγωγή των φυσικών φαινομένων στον μηχανοκρατικό τρόπο θέασης της φύσης ενσωματώνοντας τη θερμότητα, το φως, τον ηλεκτρισμό, και τη μηχανική σε μια ενιαία εννοιολογική δομή. Η *Πραγματεία περί φυσικής φιλοσοφίας* (1867) του Thomson και του Tait που βασιζόταν στην ενέργεια και τη μηχανοκρατική εξήγηση, είναι το βασικό κείμενο του νέου πλαισίου της φυσικής, με το οποίο η ενέργεια εντάχθηκε στην εννοιολογική δομή της θεωρίας της

²⁸Για περισσότερη ανάλυση βλ. (Harman P. [1982] 1994)

μηχανικής.

Οι Thomson και Tait στην πραγματεία τους αναδιαμόρφωσαν την αναλυτική δυναμική, δίνοντας έμφαση στη φυσική βάση των γενικευμένων εξισώσεων κίνησης του Lagrange και ενσωματώνοντας την αρχή διατήρησης της ενέργειας στο πλαίσιο της.²⁹ Το βασικό μαθηματικό αξίωμα που χρησιμοποίησαν ήταν ένα θεώρημα του Thomson, το οποίο συνέδεε την μεταβολή ενός συστήματος λόγω επίδρασης κρουστικών δυνάμεων με την κινητική ενέργεια του. Αυτή η προσέγγιση έδινε τη δυνατότητα να συναχθούν γενικευμένες εξισώσεις κίνησης. Επίσης αποφευγόταν η κατασκευή ενός συγκεκριμένου μηχανικού μοντέλου αλλά δινόταν έμφαση στη φυσική πραγματικότητα. Οι Thomson και Tait έθεσαν ως κυρίαρχη την έννοια της ενέργειας, την οποία διακηρύττουν "τόσο πραγματική και άφθαρτη όσο η ύλη" και βασίστηκαν σε αυτή καθώς ο υπολογισμός της μπορούσε να γίνει χωρίς την απαραίτητη αναφορά σε κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο για το σύστημα. Σε αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητο να δούμε κάπως εποπτικά πως οι φυσικοί του 19ου αιώνα χρησιμοποιούσαν τα μοντέλα, την αναλυτική μηχανική και πως αυτά τα ενέτασσαν στο μηχανοκρατικό τρόπο θέασης του κόσμου. Οι φυσικοί λοιπόν χρησιμοποιούσαν τη μηχανοκρατική εξήγηση με τρεις τρόπους, σύμφωνα με τον Harman³⁰: α) με θεωρίες για τη διάταξη και την κίνηση των σωματιδίων της ύλης, έχοντας σαν στόχο να εξηγήσουν τα φυσικά φαινόμενα διαμέσου της κατανομής των υλικών σωματιδίων και των διασωματιδιακών δυνάμεων β) με ανάπτυξη μηχανικών μοντέλων, είτε με την απεικόνιση με τροχούς και ελατήρια, είτε με κατασκευή μηχανικών συσκευών που λειτουργούσαν ως αναπαραστάσεις φαινομένων. Πρέπει εδώ να τονίσουμε ότι η χρήση μοντέλων δεν συνεπαγόταν ευθέως την αποδοχή τους ως αναπαραστάσεις της πραγματικότητας αλλά ως κατάλληλων για την περιγραφή των φαινομένων και τέλος γ) με αποφυγή εικασιών για τη φυσική δομή του μηχανικού συστήματος και ταυτόχρονα απόρριψη της θέσης ότι υπάρχει ένα μηχανικό μοντέλο κατάλληλο για περιγραφή και καταφυγή στον αναλυτικό φορμαλισμό του Lagrange.

Ο Lagrange συνειδητοποίησε ότι δεν ήταν πάντα αναγκαίο να γνωρίζει κανείς τις εσωτερικές δυνάμεις προκειμένου να προβλέψει την εξέλιξη ενός δυναμικού συστήματος

²⁹Για τον ρόλο και την προσέγγιση των Thomson και Tait πολλά στοιχεία που εδώ αναφέρονται έχουν αντληθεί από το (Harman P. [1982] 1994) σ. 105-108

³⁰(Harman P. [1982] 1994) σ. 15

που υπόκειται στους νόμους της κίνησης. Η ελευθερία κίνησης του συστήματος περιορίζεται δραστικά από συνδέσμους, οι οποίοι οφείλονται στην αλληλεπίδραση των μερών του συστήματος αλλά περιγράφονται και λαμβάνονται υπόψη κατά τη μελέτη της κίνησης του συστήματος χωρίς να χρειάζεται κανείς να γνωρίζει πως λειτουργούν αυτές οι αλληλεπιδράσεις. Τα δυναμικά συστήματα που διέπονται από τις εξισώσεις Lagrange ικανοποιούν γενικά τις συνθήκες ώστε να έχουν μοναδικές λύσεις. Το τελευταίο είναι συμβατό με μια ντετερμινιστική προσέγγιση, με ένα κόσμο δηλαδή όπως τον παρουσίασε ο Laplace.³¹³²

1.5.3 Μοντέλα του αιθέρα στον 19ο αιώνα. Τα μοντέλα του Thomson και του Maxwell.

Εν είδει παραδείγματος για την κατασκευή μοντέλων το οποίο αποτυπώνει σημαντικά στοιχεία της φυσικής του 19ου αιώνα καθώς και τις απόψεις, με τις ευρύτερες φιλοσοφικές προεκτάσεις, βασικών ερευνητών της φυσικής του 19ου αιώνα, όπως του Thomson και του Maxwell, οι οποίοι θα διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο και σε αυτά που αργότερα θα μελετήσουμε, θα αναφερθούμε εδώ στα μοντέλα που είχαν προταθεί για τον αιθέρα.

Η έννοια του πεδίου έχει τις ρίζες της στις εργασίες του Faraday, του Thomson και του Maxwell. Η θεωρία του πεδίου αντιπαρατίθεται με ουσιαστικό τρόπο στη 'δράση από απόσταση' και οι δυνάμεις μεταξύ των σωμάτων διαδίδονται με τη μεσολάβηση κάποιας ιδιότητας του περιβάλλοντος χώρου ή αλλιώς του 'πεδίου'. Η φυσική δομή του πεδίου όταν αυτό προτεινόταν δεν ήταν μονοσήμαντα ορισμένη, αλλά μπορούσε να αναπαρασταθεί ως χώρος πλήρης δυνάμεων, ως ρευστό συνεχές ή ως σωματιδιακός αιθέρας. Ο Faraday ανέπτυξε μια θεωρία που απέδιδε την ηλεκτρική δράση στις δυναμικές γραμμές στις οποίες απέδωσε φυσική πραγματικότητα και μια θεωρία όπου η διάδοση της ηλεκτρικής δράσης γίνεται με τη μεσολάβηση των άμεσα γειτονικών σωματιδίων ενός υλικού διάχυτου στο χώρο. Ο Faraday αντιλαμβανόταν τη ρήξη που πραγματοποιούνταν,

³¹Για περισσότερη ανάλυση πάνω στην αναλυτική μηχανική του Lagrange βλ. (Torretti R. [1999] 2012) σ.104-117

³²Η αναλυτική μηχανική του Lagrange είναι ισχυρότερη από εκείνη του Νεύτωνα και έτσι εφαρμόζεται σε λιγότερες περιπτώσεις.

όπως θα φανεί και από το παρακάτω απόσπασμα:

"Οδηγήθηκα στην υποψία ότι η ίδια η κοινή επαγωγή ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μια δράση μεταξύ των παρακείμενων σωματιδίων και ότι η ηλεκτρική δράση από απόσταση (δηλαδή, η συνηθισμένη επαγωγική δράση) λάμβανε χώρα μόνο υπό την επίδραση της παρεμβαλλόμενης ύλης. Ο σεβασμός τον οποίο διατηρώ απέναντι στα ονόματα του Erpinus, του Cavendish, του Poisson και άλλων διαπρεπών ανδρών, οι θεωρίες των οποίων, πιστεύω, θεωρούν την επαγωγή ως μια δράση από απόσταση και σε ευθείες γραμμές με απέτρεπαν για πολύ καιρό από την άποψη την οποία μόλις διατύπωσα και, μολονότι έψαχνα ευκαιρίες για να αποδείξω την αντίθετη άποψη και έκανα ενίοτε πειράματα που φαίνονταν να προσεγγίζουν σημαντικά την αλήθεια του ζητήματος... μόνο πρόσφατα και βαθμιδόν με εξώθησε η απόλυτη γενικότητα του ζητήματος να επεκτείνω ακόμα περισσότερο τα πειράματα μου και να δημοσιεύσω τις απόψεις μου. Αυτή τη στιγμή πιστεύω ότι η συνηθισμένη επαγωγή είναι σε όλες τις περιπτώσεις μια δύναμη μεταξύ παρακείμενων σωματιδίων, η οποία έγκειται σε ένα είδος πολικότητας αντί να αποτελεί μια δράση είτε των σωματιδίων είτε των μαζών σε αισθητές αποστάσεις και, αν αυτό είναι αλήθεια, η διάκριση και η καθιέρωση μιας τέτοιας αλήθειας πρέπει να έχει μια από τις μεγαλύτερες συνέπειες στην παραπέρα πρόοδο της έρευνας της φύσης των ηλεκτρικών φορτίων"³³

Ο William Thomson, μετέπειτα Lord Kelvin, ήταν αυτός ο οποίος πρώτος προσέδωσε κάποιο μαθηματικό κύρος στην έννοια του ηλεκτρικού μέσου του Faraday. Το 1841 έγραψε μια εργασία στην οποία έδειξε τη μαθηματική ισοδυναμία των δυναμικών γραμμών του πεδίου, σε ορισμένα ηλεκτροστατικά προβλήματα, με τις γραμμές ροής θερμότητας σε ανάλογα θερμικά προβλήματα μέσα σε ένα απείρων διαστάσεων στερεό. Η σημασία αυτής της ακριβούς αναλογίας έγκειται ακριβώς στη συσχέτιση μιας θεωρίας στη βάση της δράσης από απόσταση με μια θεωρία στη βάση της μετάδοσης από ένα παρακείμενο σωματίδιο στο άλλο, σε ένα υλικό μέσο. Αργότερα ο Thomson μελέτησε μια αναλογία ανάμεσα στις ηλεκτρικές και τις μαγνητικές δυνάμεις και στις παραμορφώσεις που διαδίδονται σε ένα ελαστικό στερεό, βασιζόμενος στις μαθηματικές μεθόδους του Stokes. Σύμφωνα με τον Harman,³⁴ ο Thomson ήταν προσεκτικός και όπως είχε αναφέρει και στον Faraday, στόχο είχε την εύρεση μαθηματικής αναλογίας. Αυτή η μαθηματική ανα-

³³Όπως παρατίθεται στο (Cushing J. [1998] 2003) σ.245-246

³⁴(Harman P. [1982] 1994) σ. 120-126

λογία δεν συνοδευόταν κατά ανάγκη από μια φυσική θεωρία για τη διάδοση των ηλεκτρικών και μαγνητικών δυνάμεων. Έτσι η θεωρία του για τις παραμορφώσεις ενός ελαστικού στερεού, καθώς και η αναπαράσταση των μαγνητικών δυναμικών γραμμών από ένα μαγνητικό συνεχές είχαν ως στόχο την απεικόνιση και την αναλογία για τις μαθηματικές θεωρίες του πεδίου.

Αυτό που κυρίως απασχολούσε τον Thomson ήταν η σχέση της ύλης με τον αιθέρα. Ο Thomson θα κάνει διάφορες υποθέσεις για τη δομή του αιθέρα, θα το δει είτε ως ένα συνεχές ρευστό, είτε ως αποτελούμενο από διακριτά μόρια είτε θα πει ότι όλη η ύλη είναι συνεχής και η δομή της είναι επιφανόμενο αποτέλεσμα στροβιλοειδών κινήσεων ενός συνεχούς αιθέρα. Το 1889 επινοεί ένα μηχανικό μοντέλο για τον αιθέρα, του τύπου που είχε εισηγηθεί νωρίτερα ο McCullagh,³⁵ στο οποίο το μέσο αντιδρούσε μόνο με την περιστροφή των στοιχείων του και παρέμενε ασυμπίεστο. Η ελαστικότητα του αιθέρα εξηγήθηκε έτσι στη βάση μιας κυψελοειδούς δομής από μικρούς γυροστάτες.³⁶

Νωρίτερα από την πρόταση του παραπάνω μοντέλου από τον Thomson, ο Maxwell επηρεαζόμενος και από τις εργασίες τόσο του Faraday όσο και του Thomson για μια μηχανική ερμηνεία του ηλεκτρομαγνητισμού, θα προτείνει μια σειρά από μοντέλα για το φυσικό πεδίο. Αρχικά επεξεργάστηκε ένα γεωμετρικό μοντέλο που εκκινούσε από τις δυναμικές γραμμές του Faraday, τις οποίες είδε χρήσιμες για την περιγραφή της χωρικής κατανομής της δύναμης στο πεδίο αλλά η προσέγγιση του δεν ταύτισε τη φυσική δομή του πεδίου με ένα χώρο πλήρη δυνάμεων. Για εκείνον μια φυσική αναπαράσταση του πεδίου απαιτούσε πρώτα μια θεωρία για τον αιθέρα ως υπόστρωμα του πεδίου. Στο άρθρο του *On physical lines of force* περνά από τη γεωμετρία των δυναμικών γραμμών σε μια πραγμάτευση του ηλεκτρομαγνητισμού από μηχανική άποψη, δίνοντας μια συστηματική θεωρία για τη διάδοση των ηλεκτρικών και των μαγνητικών δυνάμεων στη βάση των παραμορφώσεων ενός 'μαγνητοηλεκτρικού' μέσου. Την ίδια ώρα, δηλαδή στο ίδιο άρθρο θα γράψει ότι "θα μελετήσει την φυσική σύνδεση των στροβίλων με τα ηλεκτρικά ρεύματα, ενώ ακόμα είναι σε αμφιβολία η ίδια η φύση του ηλεκτρισμού, αν είναι μια υπόσταση, δυο ή δεν έχει καμία υπόσταση και σε τι διαφέρει από την ύλη και πως συνδέεται

³⁵Ο McCullagh είχε προτείνει το 1839 ένα τύπο ελαστικού στερεού που είχε δυναμική ενέργεια η οποία εξαρτιόταν μόνο από την περιστροφή των στοιχείων του.

³⁶Για αναλυτική περιγραφή του μοντέλου βλ. (Cushing J. [1998] 2003) σ.246-251

με αυτή."³⁷

Στο μοντέλο που θα προτείνει ο Maxwell, το πεδίο περιγράφεται ως ένα ρευστό γεμάτο από περιστρεφόμενους στροβίλους. Ένας ελαστικός αιθέρας έχει μέσα του κατανεμημένα στρώματα από μικρά σωματίδια που δρουν σε μηχανική αναλογία ως ελεύθεροι τροχοί (idle wheels) που είναι ανάμεσα στους στροβίλους που αναγκάζονται να περιστρέφονται με την ίδια κατεύθυνση. Το ηλεκτρικό ρεύμα, αφού ο αιθέρας είναι ελαστικός, επιτρέπει μόνο μια μικρή πλευρική μετατόπιση αυτών των σωματιδίων και ύστερα από την περιορισμένη αρχική μετατόπιση, αυτά τα σωματίδια παραμένουν πάντα σε επαφή με τους στροβίλους και περιστρέφονται κατά την αντίθετη φορά από την πρώτη στοιβάδα των στροβίλων. Η μεταβίβαση της περιστροφής γίνεται μέσα από τους ελεύθερους τροχούς. Έτσι τίθεται σε περιστροφή η δεύτερη στοιβάδα και ούτω καθεξής. Σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος, υπάρχει μια μετατόπιση σε αντίθετη κατεύθυνση και ο αιθέρας επιστρέφει στην αρχική του θέση. Ένα σταθερό ρεύμα δεν επέφερε παραπέρα μετατόπιση. Η αρχική μετατόπιση συνδεόταν με το ηλεκτρικό πεδίο.³⁸ Το μαγνητοηλεκτρικό μέσο αναπαρίσταται ως μια κερήθρα όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1.

Ο Maxwell στο ίδιο άρθρο που προτείνει αυτό το μοντέλο δίνει και τον τρόπο με τον οποίο αυτός το προσεγγίζει. Χαρακτηριστικά εκεί θα πει:³⁹

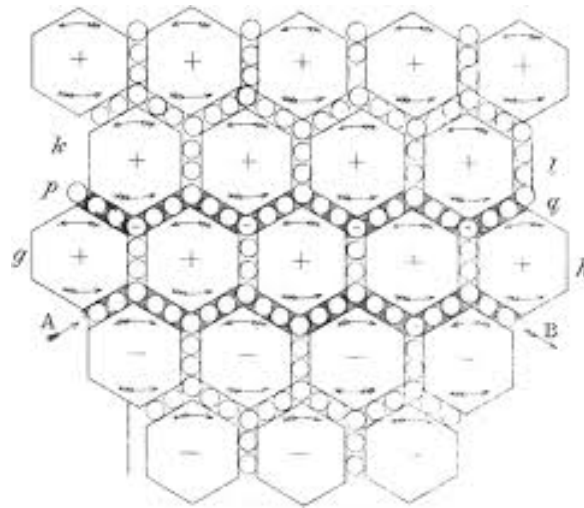
"Η σύλληψη ενός σωματιδίου του οποίου η κίνηση είναι συνδεδεμένη με εκείνη ενός στροβίλου με τέλεια επαφή κύλισης μπορεί να φαίνεται κάπως περίεργη. Δεν την παρουσιάζω ως ένα τρόπο σύνδεσης που πράγματι υπάρχει στη φύση ή ακόμα σαν εκείνον στον οποίο θα μπορούσα με τη θέληση μου να συναινέσω σαν ηλεκτρική υπόθεση. Είναι παρόλα αυτά ένας τρόπος σύνδεσης που είναι μηχανικά διανοητός και εύκολα ερευνώμενος και μπορεί να φανερώσει τις πραγματικές μηχανικές συνδέσεις μεταξύ των γνωστών ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Έτσι τολμώ να πω ότι καθένας που καταλαβαίνει τον προσωρινό χαρακτήρα αυτής της υπόθεσης, θα βρει τον εαυτό μάλλον βοηθούμενο παρά να έχει εμποδιστεί από αυτή στην έρευνα του για την πραγματική ερμηνεία των φαινομένων"

Ο Maxwell αργότερα το 1865 στο άρθρο του με τίτλο *A Dynamical Theory of the Electro-*

³⁷(Maxwell J.C. 1861) σ. 13

³⁸Το ρεύμα μετατόπισης, που αντιστοιχεί σε ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο εισάγεται σε αυτό το άρθρο από τον Maxwell.

³⁹(Maxwell J.C. 1861) σ. 27



Σχήμα 1.1: Το μοντέλο του Maxwell για τον αιθέρα

magnetic Field θα παρουσιάσει μόνο τις μαθηματικές εξισώσεις που περιέγραφαν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και δεν αναλύει τους στροβίλους και τους ενδιάμεσους τροχούς. Εκεί θα βασιστεί περισσότερο στις μεθόδους της αναλυτικής μηχανικής, και δεν θα κάνει χρήση ενός μηχανικού μοντέλου για τον αιθέρα. Στην *Πραγματεία* του θα πωσ "το πρόβλημα του καθορισμού του μηχανισμού που απαιτείται για να εδραιωθεί κάποιο συγκεκριμένο είδος σύνδεσης μεταξύ των κινήσεων των μερών ενός συστήματος, πάντα επιδέχεται ένα άπειρο αριθμό λύσεων."⁴⁰ Ο Maxwell άφησε να διαμορφωθεί η φυσική θεωρία του πεδίου ανεξάρτητα από κάποιο συγκεκριμένο μηχανικό μοντέλο. Όμως ανέπτυξε μια δυναμική ερμηνεία του ηλεκτρομαγνητισμού θεμελιωμένη στην έννοια της ενέργειας, με χρήση της αναλυτικής δυναμικής. Ακόμα θεώρησε το πεδίο ως ένα κινούμενο σύστημα το οποίο χωρίς να μπορεί πλήρως να περιγράψει, μπορούσε να μελετήσει με τη βοήθεια του φορμαλισμού του Lagrange. Υπό το ίδιο πρίσμα η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων γίνεται αντιληπτή ως ενεργειακοί μετασχηματισμοί στον αιθέρα.

⁴⁰Όπως παρατίθεται στο (Harman P. [1982] 1994) σ. 139

1.5.4 Μεγάλη εικόνα και αντίρροπες τάσεις για τη μηχανοκρατία.

Η μηχανοκρατική αντίληψη της εποχής ενώ σε μεγάλο βαθμό αποτυπώνει τη μεγάλη εικόνα της φυσικής στην εποχή εν τούτοις δεν ήταν ενιαία, ομοιόμορφη ή εκτός προκλήσεων. Η κάθε δεδομένη θεωρία της εποχής, το ηλεκτρικό πεδίο, ο φωτοφόρος αιθέρας, η θερμότητα, η κίνηση των μορίων ενός αερίου και όλες οι υπόλοιπες διαλέγονταν με μια μηχανιστική φιλοσοφική προσέγγιση στη βάση των κινούμενων υλικών σωματιδίων και αυτό διαφαίνεται και από τον τρόπο που προσπαθούσαν να εξηγήσουν τη θεωρία καθώς και από τα μοντέλα που πρότειναν για αυτό. Αυτός ο διάλογος όμως κάποιες στιγμές αποτυπώνει και κάποιες ρωγμές στο μηχανικό κοσμοείδωλο. Ερχόντουσαν αντιμέτωποι με νόμους και θεωρίες που στην πρόταση τους εμπεριείχαν και κάποια ψήγματα άρνησης του μηχανοκρατικού προγράμματος.⁴¹ Σε τέτοιες περιπτώσεις πολλές φορές ξεσπούσαν διαμάχες, συχνά επίσης γινόταν προσπάθεια να ενταχθεί η εκάστοτε δύσκολη περίπτωση σε μια μηχανοκρατική εξήγηση. Όλα αυτά έχουν τεράστιο ενδιαφέρον για να κατανοήσουμε τη φυσική της εποχής,⁴² τους δρόμους που ακολουθούσε η έρευνα, στο δεδομένο χρόνο, αλλά και τόπο που συχνά αποσιωπάται, και το πως επηρέασε και επηρεάστηκε από το ευρύτερο κοινωνικό και φιλοσοφικό πλαίσιο.

Η θεωρία των αερίων, το θεώρημα ισοκατανομής είναι πρόσφορο έδαφος για την αναζήτηση στοιχείων αντίρροπων προς το μηχανοκρατικό πρόγραμμα. Πώς στέκεται το έργο του Rayleigh σε σχέση με όλα αυτά; Πως πραγματεύεται τα αέρια; Ποια άλλα στοιχεία από την μεθοδολογική του προσέγγιση μπορούμε να αντλήσουμε από τη μελέτη του έργου του; Πώς η αυξανόμενη ποσοτικοποίηση και αναζήτηση μαθηματικών νόμων εμπλέκονται, επηρεάζουν και επηρεάζονται από το έργο του Rayleigh στα αέρια, τις ιδιότητες τους και την ανακάλυψη του αργού; Αυτά θα επιχειρήσουμε να δούμε στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

⁴¹Με την ίδια λογική που περιγράφηκε παραπάνω ούτε η ανάδειξη του μηχανοκρατικού προγράμματος έγινε με την ολοκλήρωση της Νευτώνειας σύνθεσης. Έχει τις ρίζες της εκεί αλλά η διαμόρφωση αυτής της μηχανοκρατικής αντίληψης για τον κόσμο ήταν ένα πολύ πιο σύνθετο φαινόμενο. Για περισσότερα βλ. (Harman P. [1982] 1994)

⁴²Η γενίκευση του όρου δεν συνιστά μια απλουστευτική προσέγγιση ενοποίησης αλλά τίθεται εδώ με όρους αλληλοσυσχέτισης του ειδικού με το γενικό

Κεφάλαιο 2

Το έργο του Rayleigh στα αέρια και η δυναμική θεωρία των αερίων.

2.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στο κλείσιμο του προηγούμενου κεφαλαίου αυτό που θα μας απασχολήσει κυρίως εδώ είναι το έργο του Rayleigh στα αέρια. Ο Rayleigh σε διάστημα περίπου πενήντα ετών ασχολήθηκε με ένα ευρύ φάσμα της φυσικής της εποχής του, δημοσιεύοντας 446 επιστημονικά άρθρα πάνω σε όλους σχεδόν τους τομείς της φυσικής. Στην ίδια αυτή περίοδο, πειραμάτων, επίμονων μαθηματικών και συγγραφής των άρθρων, κατείχε υψηλόβαθμες και διευθυντικές θέσεις σε μια σειρά από ιδρύματα και θεσμούς, συμβάλλοντας στις εξελίξεις αλλά επηρεαζόμενος και από αυτές. Προτού εισέλθουμε στο έργο του, όσον αφορά τα αέρια, θα παρουσιάσουμε εδώ βασικά βιογραφικά στοιχεία¹ με στόχο μια πληρέστερη εικόνα για το έργο του που θα βοηθήσει και την κατανόηση του, στοιχεία της οποίας θα γίνουν αντικείμενο μελέτης και στη συνέχεια της παρούσας εργασίας.

¹ Σε μεγάλο βαθμό τα βιογραφικά στοιχεία που παρουσιάζονται εδώ για τον Rayleigh έχουν αντληθεί από τη βιογραφία που συνέγραψε ο γιος του Robert J. Strutt, 4th Baron Rayleigh (Strutt R. [1924] 1968)

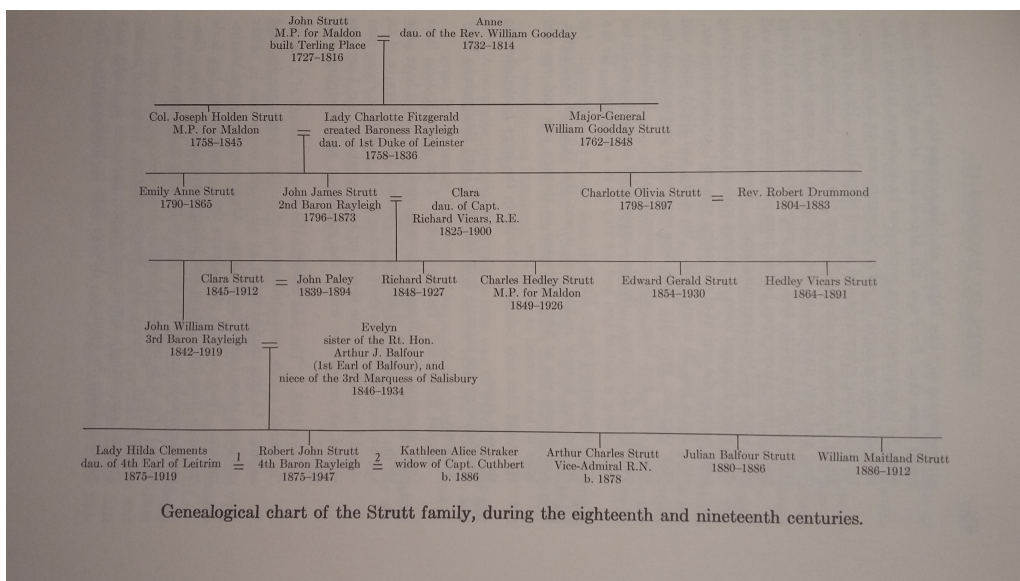
2.2 Στοιχεία από τη ζωή και το έργο του Rayleigh

Ο *John William Strutt*, μετέπειτα *3rd Baron Rayleigh*² γεννήθηκε το 1842 στην κομητεία του Essex. Ήταν ο πρωτότοκος γιος του 2nd Baron Rayleigh του Terling Place. Οι προηγούμενες γενιές της οικογένειας Strutt, ήδη από το 1660, ήταν κάτοικοι της περιοχής του Essex, οι οποίοι απέκτησαν χρήματα κυρίως από την άλεση του καλαμποκιού, αποκτώντας νερόμυλους και σταδιακά βελτιώνοντας την οικονομική και κοινωνική τους θέση. Το 1761 ο John Strutt (1727-1816), το πρώτο μέλος της οικογένειας που κατείχε δημόσιο αξίωμα στην κομητεία, αγόρασε το κτήμα του Terling Place, το οποίο αρχικά ήταν παλάτι των επισκόπων του Norwich. Αυτό είναι το μέρος όπου θα περάσει ο Rayleigh το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του και ταυτόχρονα είναι ο χώρος διεξαγωγής πληθώρας πειραμάτων του.

Ο John Strutt (1727-1816) ήταν μέλος του Κοινοβουλίου για το Maldon και απέκτησε τρεις γιους. Ο πρωτότοκος γιος πέθανε σε μικρή ηλικία, ενώ οι δυο άλλοι ακολούθησαν στρατιωτική καριέρα. Ο Joseph Holden Strutt (1758-1845) συνταγματάρχης και μέλος του Κοινοβουλίου, όπου διαδέχθηκε τον πατέρα του, ήταν σταθερός υποστηρικτής του κόμματος των Tories. Στον Joseph Holden για ανταμοιβή για τις υπηρεσίες του επρόκειτο να δοθεί τίτλος ευγενείας, τον οποίο εκείνος τελικά ζήτησε για την σύζυγο του. Έπειτα από το θάνατο εκείνης, ο τίτλος ευγενείας πέρασε στον μοναδικό γιο του, τον John James Lord Rayleigh (1796-1873), πατέρα του John William, βαθιά θρησκευόμενο και συντηρητικό. Ο John James παντρεύτηκε την Clara Elizabeth La Touche Vicars το 1842 και το Νοέμβριο του ίδιου έτους γεννήθηκε ο John William Strutt (ο οποίος μετά το θάνατο του πατέρα του πήρε τον τίτλο 3rd Baron Rayleigh).

Σε γενικές γραμμές το στενό οικογενειακό του περιβάλλον δεν είχε κάποιο ενδιαφέρον για τα μαθηματικά και τις επιστήμες παρόλο που η γιαγιά του ήταν απόγονος ενός αδελφού του Robert Boyle. Στα παιδικά του χρόνια έδειχνε ενδιαφέρον για τον κόσμο που τον περιέβαλε και ίσως αξίζει εδώ μια ιδιαίτερη αναφορά σε μια διάλεξη που είχε δοθεί στο χωριό, όπου παρουσιαζόταν ένα αυγό που επέπλεε σε αλατόνερο αλλά βυθιζόταν σε κα-

²Για λόγους απλότητας θα χρησιμοποιηθεί το όνομα Rayleigh για όλη τη διάρκεια της ζωής του αν και πιο σωστά, όπως κάνει και στη βιογραφία του ο γιος του είναι η χρήση του John Strutt μέχρι να αποκτήσει τον τίτλο και μετά η αναφορά ως Lord Rayleigh.



Σχήμα 2.1: Το γενεαλογικό δέντρο των Strutt

θαρό νερό, ένα πείραμα που τον ενθουσίασε και το οποίο επέμενε να επαναλάβει.³

Η σχολική του ζωή δεν ήταν η πλέον ομαλή λόγω της υγείας του, και η φοίτηση του από το Eton αρχικά και αργότερα από το Harrow χρειάστηκε να διακοπεί λόγω των προβλημάτων υγείας που αντιμετώπιζε. Χρονικά ανάμεσα στα δυο αυτά εκπαιδευτήρια, ο Rayleigh φοιτά στο σχολείο του Murray στο Wimbledon Common. Έπειτα από το Harrow θα βρεθεί στο σχολείο του Warner, για τέσσερα χρόνια, όπου δεν θα επιδείξει μεγάλο ενδιαφέρον για τις κλασικές σπουδές, αλλά αντίθετα θα ενδιαφερθεί ιδιαίτερα για τα μαθηματικά. Ήδη από την εποχή του Wimbledon, είχε στην κατοχή του μαγνήτες, μπουκάλια με θειικό οξύ, φώσφορο κλπ, χωρίς να λείπουν και τα μικροατυχήματα. Κλείνοντας εδώ με τα πρώιμα ενδιαφέροντα του, χωρίς προφανώς να εξαντλείται η κατηγορία, αυτό που αξίζει να σημειωθεί εδώ είναι η ενασχόληση του με τη φωτογραφία, και ειδικά με τη νέα για την εποχή τεχνική της, αυτή του υγρού κολλοδίου που είχε εισαχθεί το 1851, και η οποία συνδυαζόμενη με τα επιστημονικά του ενδιαφέροντα θα τον γοητεύει πάντα.

Το 1860 θα διαγωνιστεί, χωρίς όμως επιτυχία για μια μικρή υποτροφία στο Trinity College, στο οποίο θα εισαχθεί το 1861. Η πρώτη του επαφή με το διαφορικό λογισμό, σύμφωνα με το R. Strutt, είναι με τον Frederick Thompson, τον οποίο προσλαμβάνει ο πατέρας

³(Strutt R. [1924] 1968) σ. 13

του και ο οποίος πηγαίνει στο Terling για να τον προετοιμάσει για το Trinity College. Κατόπιν δικής του παρότρυνσης θα συνεχίσει με τον Routh την ιδιαίτερη προετοιμασία του στα χρόνια του Trinity College. Ο Edward Routh είναι η μεγαλύτερη φυσιογνωμία της εποχής στο χώρο των "coaches",⁴ έχοντας εκπαιδεύσει πολύ μεγάλο αριθμό των Senior Wranglers - ο ίδιος ήταν SW το 1854 - και των Wranglers γενικότερα και του οποίου τη συνεισφορά αναγνωρίζει και ο ίδιος ο Rayleigh.⁵ Χαρακτηριστικά θα μιλήσει για "την εξαιρετική τελειότητα με την οποία μπορούσε να εφαρμόσει τη γνώση του, σε κάθε θέμα με το οποίο καταπιανόταν".⁶ Παρά τη συνεχή προετοιμασία που είχε ο Rayleigh στα μαθηματικά πριν εισαχθεί στο Trinity College δεν ήταν στους πιο βασικούς γνώστες του θέματος ανάμεσα στους πρωτοετείς του Routh και αυτό είναι μάλλον ενδεικτικό του ανεβασμένου επιπέδου τεχνικής δυσκολίας των αρχών της δεκαετίας του 1860. Στα χρόνια που ακολούθησαν δούλεψε πολύ σκληρά πάνω στα ζητήματα της μαθηματικής ανάλυσης και όχι μόνο, αναπτύσσοντας τις δεξιότητες του να αντιμετωπίζει κάθε δεδομένο πρόβλημα. Το φθινόπωρο του 1864 θα είναι ακροατής διαλέξεων του Stokes στην οπτική, και αυτό που κυρίως θα τον ενθουσιάζει είναι οι πειραματικές επιδείξεις.

Το 1865 θα αποφοιτήσει από τις εξετάσεις του Mathematical Tripos, ως Senior Wrangler, και στη συνέχεια θα κερδίσει και το Smith's Prize. Έχοντας ήδη αποφασίσει ότι ο τίτλος ευγενείας και η γαιοκτησία του δεν πρέπει να σταθούν εμπόδιο στην επιστημονική του καριέρα, το 1866 εκλέγεται Fellow στο Trinity College. Το 1868 αγοράζει εξοπλισμό για τη διεξαγωγή πειραμάτων. Εκείνη την εποχή, δεν υπήρχε οργανωμένο πανεπιστημιακό εργαστήριο για τη διεξαγωγή πειραμάτων, ωστόσο κάποιοι καθηγητές διέθεταν πειραματικές συσκευές για δική τους χρήση και επίδειξη. Από την άλλη οι φοιτητές λάμβαναν μικρή ενθάρρυνση να ασχοληθούν με την πειραματική έρευνα. Αυτή η εικόνα αλλάζει το 1871 με την εγκαθίδρυση θέσης καθηγητή πειραματικής φυσικής και την ίδρυση λίγο αργότερα του Cavendish Laboratory, με πρώτο καθηγητή του Cavendish τον James Maxwell

⁴Από τους 990 Wranglers από το 1862 ως το 1888, το 48% των ήταν δικοί του μαθητές (συμπεριλαμβάνοντας 26 SW) ενώ από το 1865 ως το 1888 το 80% των κορυφαίων τριών Wranglers ήταν μαθητές του. Τα στοιχεία από το (Warwick A 2003) σ. 233

⁵Για τον Routh και το έργο του βλ. (Warwick A 2003) σ. 227-285 και για τον Rayleigh σε σχέση με τον Routh βλ. (Strutt R. [1924] 1968) σ. 25-36

⁶"the extraordinary perfection with which Dr. Routh was able to bring his knowledge to bear on every subject with which he was dealing." (Strutt R. [1924] 1968) σ. 28

που θα υπηρετήσει από αυτή τη θέση από το 1871 ως και το θάνατο του το 1879.

Μια από τις πρώτες έρευνες του Rayleigh που παρουσιάζεται σε ένα άρθρο στη συνάντηση του Norwich της British Association for the Advancement of Science το 1868 ήταν πειραματικού χαρακτήρα (πάνω στα γαλβανόμετρα και τη μόνιμη εκτροπή από εναλλασσόμενα ρεύματα). Η πρώιμη επίσης πειραματική δραστηριότητα γίνεται στο Terling. Την περίοδο αυτή έχει και συχνή αλληλογραφία με τον Maxwell για ερευνητικά θέματα.

Το 1871 παντρεύεται την Evelyn Balfour, αδελφή του Arthur Balfour, με την οποία θα αποκτήσει τέσσερις γιους⁷ ενώ λίγο αργότερα θα αντιμετωπίσει σοβαρά θέματα υγείας και για το λόγο αυτό θα ακολουθήσει ένα ταξίδι στην Αίγυπτο μεγάλης διάρκειας. Στην διάρκεια αυτού του ταξιδιού θα ξεκινήσει και τις εργασίες του πάνω στα θέματα του ήχου που θα οδηγήσουν τελικά στη συγγραφή του *The Theory of Sound*. Το 1873 πεθαίνει ο πατέρας του και ο Lord Rayleigh πλέον εγκαθίσταται μόνιμα στο Terling. Την ίδια χρονιά εκλέγεται Fellow της Royal Society.

Το 1879, με το θάνατο του Maxwell, μένει κενή η θέση του καθηγητή στο Cavendish Laboratory, θέση την οποία τελικά θα αναλάβει ο Rayleigh, εξαιτίας και των οικονομικών δυσκολιών που αντιμετωπίζει ο χώρος της γεωργίας στην Αγγλία αργά τη δεκαετία του 1870. Σε αυτή την περίοδο θα ηγηθεί μιας προσπάθειας να αναμορφώσει ουσιαστικά το Εργαστήριο, με συστηματική δουλειά και τη βοήθεια ενός μικρού αριθμού αρχικά ατόμων όπως του Gordon, που θα παραμείνει βοηθός του μέχρι το τέλος της ζωής του (του Gordon). Ο τρόπος που συστηματικοποίησε τη δουλειά αυτή, το ποιες συγκεκριμένες αλλαγές έκανε (πειράματα σταθερά τοποθετημένα σε πάγκους, εκπαίδευση επιστημονικής κοινότητας, γραπτές οδηγίες και εγχειρίδια κ.α) αποτελεί ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα, δεν μπορεί όμως να γίνει αντικείμενο σε αυτή την εργασία, ακριβώς λόγω του εύρους του και των παραγόντων που υπεισέρχονται στη μελέτη του. Αυτό που εδώ μπορούμε να κρατήσουμε είναι ότι το Cavendish Laboratory στα χρόνια αυτά του Rayleigh αλλάζει σε μεγάλο βαθμό, το ίδιο και η αντιμετώπιση του πειράματος στη φυσική.

Στη δεκαετία του 1870 ασχολείται με ένα ευρύ φάσμα της φυσικής, όπως προκύπτει από τον πρώτο τόμο των *Scientific Papers* που καλύπτει αυτή την εποχή (1869-1881),

⁷Ο τρίτος γιος του Julian, γεννήθηκε το 1880, ήταν ασθενικός και έζησε πέντε χρόνια. Ο τέταρτος γιος του έζησε μέχρι την ηλικία των 16 χρόνων.

κυρίως με τη θεωρία του ήχου, την οπτική των χρωμάτων, την υδροδυναμική και την ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό. Στο τέλος αυτής της δεκαετίας και στην αρχή της επόμενης, την εποχή δηλαδή που είναι καθηγητής στο Cambridge είναι και η περίοδος που θα ασχοληθεί εκτός των άλλων και με τα ηλεκτρικά πρότυπα και τον καθορισμό του Ohm. Τα πέντε χρόνια που θα παραμείνει στο Cambridge δημοσιεύει 60 άρθρα, πολύ περισσότερα από ότι τα προηγούμενα ή τα επόμενα πέντε χρόνια αντίστοιχα.

Την εποχή αυτή ο Rayleigh, αναμειγνύεται περισσότερο με τις υποθέσεις της British Association ενώ το 1882 θα διατελέσει και πρόεδρος του τομέα Α (μαθηματικά και φυσική) της συνάντησης στο Southampton. Παράλληλα θα είναι πρόεδρος της συνάντησης στο Montreal το 1884 και ο εναρκτήριο λόγος που θα εκφωνήσει⁸ είναι ενδεικτικός των γενικότερων απόψεων του. Θα αναφέρει εκεί τις εξελίξεις στη φυσική, αλλά προς το τέλος και σε αυτό θα αναφερθούμε εδώ στέκεται σε δυο σημεία.

Θα μιλήσει για την παιδαγωγική σημασία των μαθηματικών και των επιστημών, τονίζοντας ότι δεν είναι υπέρμαχος μιας ακραίας λύσης που θα εξοστράκιζε τις κλασικές σπουδές, αφού ένα πρόγραμμα αποκλειστικά επιστημονικό δεν του φαίνεται ικανοποιητικό, αλλά θα πει ακόμα πως οι γλώσσες των γαλλικών και των γερμανικών ίσως είναι πιο χρήσιμες για κάποιον σε σχέση με τις αντίστοιχες των αρχαίων ελληνικών και των λατινικών.

Το δεύτερο στοιχείο που έχει σημασία να σταθούμε εδώ είναι η απάντηση στις αντιρρήσεις που εγείρονται απέναντι στην επιστήμη στο έδαφος ότι ενισχύει τον υλισμό. Σε αυτό θα απαντήσει με ονομαστικά παραδείγματα επιστημόνων που έφεραν την αντίθετη άποψη και στάση και καταλήγει λέγοντας ότι:

"η άποψη ενός επιστήμονα έχει σημασία, αλλά όχι κάποιο παραπάνω δικαίωμα σε σχέση με τους άλλους μορφωμένους ανθρώπους να εκφέρει γνώμη για τη συμπεριφορά ενός προφήτη. Κατά βάθος ο επιστήμονας γνωρίζει ότι στις θεωρίες που κατασκευάζει υπάρχουν αντιφάσεις που δεν μπορούν να συμφιλιωθούν, και τα υψηλότερα μυστήρια της ύπαρξης, εάν είναι καθόλου προσβάσιμα από την ανθρώπινη διανόηση, απαιτούν και άλλα εργαλεία πέρα από αυτά των υπολογισμών και του πειράματος"⁹

⁸Ο λόγος του ως πρόεδρος μπορεί να βρεθεί τόσο στη βιογραφία του (ένα μέρος του), όσο και στα Scientific Papers.

⁹Scientific Papers Vol. II σ. 354

Το 1884 έπειτα από την επιστροφή του από τον Καναδά και την Αμερική, όπου θα παραμείνει δυο μήνες, παραιτείται από την θέση στο Cambridge και επιστρέφει στο Terling, ενώ στο μεσοδιάστημα η οικονομική του κατάσταση έχει βελτιωθεί. Από το 1885 έως το 1896 είναι Γραμματέας της Royal Society, ενώ από 1905 ως το 1908 θα διατελέσει πρόεδρος της. Από το 1882 ως το 1905 έδωσε πάνω από 110 διαλέξεις, ευρέως φάσματος, παρουσιάσεις θεμάτων που τον είχαν απασχολήσει και ερευνητικά κυρίως, οι οποίες συχνά συνοδεύονταν και από πειραματικές επιδείξεις.

Η ανακάλυψη του αργού ήταν ένα επεισόδιο αρκετά επίπονο στην ερευνητική του πορεία, με αμέτρητες μετρήσεις και επαναλήψεις πειραμάτων. Σε αυτή την ανακάλυψη συνεργάστηκε με τον Ramsay, οι δυο τους συνδύασαν τις πειραματικές τους δουλειές, που ανεξάρτητα είχαν ξεκινήσει και συνθέτοντας απόψεις και αποτελέσματα, έφτασαν τελικά στην ανακάλυψη ενός νέου στοιχείου που υπήρχε στην ατμόσφαιρα, του αργού και στην περιγραφή βασικών ιδιοτήτων του. Για αυτή την ανακάλυψη βραβεύθηκαν με το Νόμπελ Φυσικής ο Rayleigh του 1904 και αντίστοιχα με το Νόμπελ Χημείας ο Ramsay.

Το 1908 θα γίνει Chancellor του Πανεπιστημίου του Cambridge (από το 1688 με μια εξαίρεση τη θέση αυτή καταλαμβάνουν πρόσωπα με αξίωμα του Δούκα ή ανώτερο). Πέρα από τις ακαδημαϊκές θέσεις, αξίζει εδώ να αναφέρουμε άλλες δυο, η πρώτη είναι αυτή του *Chief Gas Examiner* - θέση που του πρότεινε ο Balfour- και η δεύτερη ως μέλος μιας επιτροπής τον καιρό του πολέμου που ασχολούνταν με όπλα και εκρηκτικά. Ο Rayleigh παρέμεινε συντηρητικός πολιτικά όλα τα χρόνια της ζωής του, συνδέθηκε φιλικά με τον Lord Salisbury και ήταν συγγενής με τον Balfour, μέσω της συζύγου του. Ο Rayleigh πέθανε το 1919 και μέχρι το τέλος της ζωής του θα παραμείνει ενεργός επιστημονικά, ενώ ο ίδιος επίβλεψε και την έκδοση του έργου που περιλαμβάνει το σύνολο των άρθρων του, το *Scientific Papers* (ο έκτος τόμος ολοκληρώθηκε έπειτα από το θάνατο του).

Στην έως τώρα αναφορά στα βιογραφικά στοιχεία του Rayleigh δεν δόθηκε ιδιαίτερο βάρος στην αναλυτική περιγραφή και πλήρη κάλυψη του επιστημονικού του έργου αφού κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατο να συμπεριληφθεί στο παρόν κείμενο. Αντίθετα σε αυτό το σκαρίφημα που επιχειρεί να περιγράψει τη ζωή και το έργο του Rayleigh προκρίνεται η αναφορά βασικών μεθοδολογικών στοιχείων που ακολουθεί έναντι μιας λεπτομερούς απαρίθμησης των δημοσιευμένων ερευνών του. Υπό αυτό το πρίσμα θα διατρέξουμε

στη συνέχεια την επιστημονική του πορεία στοχεύοντας στην ανάδειξη ορισμένων στοιχείων του τρόπου προσέγγισης που ακολουθεί - αυτό αναπόδραστα πέρνα μέσα από το έργο του - χωρίς να στοχεύουμε σε μια πλήρη, ούτε καν αναλογική παρουσίαση αυτής της πορείας. Αναμφίβολα οι παρακάτω επισημάνσεις μεθοδολογικού χαρακτήρα θα είναι αποσπασματικές και θα δώσουν μια πρώτη εικόνα, ενώ στη συνέχεια θα εστιάσουμε στο έργο του Rayleigh στα αέρια, την δυναμική θεωρία των αερίων, το θεώρημα ισοκατανομής του Maxwell και το πώς το έργο του Rayleigh στέκεται απέναντι σε αυτά, πράγμα που είναι και το θέμα του παρόντος κεφαλαίου.

2.3 Μεθοδολογικά στοιχεία και ερευνητική πορεία

Ένα γενικό χαρακτηριστικό του Rayleigh είναι ότι καταπιανόταν την ίδια περίοδο με περισσότερα από ένα ερευνητικά θέματα. Ήταν, δηλαδή, σπάνιο για εκείνον, να ασχοληθεί με ένα θέμα αποκλειστικά για μια μεγάλη χρονική περίοδο. Όπως αναφέρεται στη βιογραφία του, ο Rayleigh υποστήριζε μια τέτοια μέθοδο λέγοντας: "Πάντα μου αρέσει να έχω δυο ή τρία πράγματα να σιγοβράζουν, αν το ένα από αυτά δεν προχωράει, τότε ίσως να το κάνει το άλλο."¹⁰ Αυτό αντανakλάται και στα δημοσιευμένα άρθρα του και γίνεται άμεσα αντιληπτό στο *Scientific Papers* όπου τα άρθρα εκτίθενται με χρονολογική σειρά και είναι εύκολο να δει κανείς πως περνάει από τη μια θεματική στην άλλη. Με μια προσεκτικότερη ματιά στα ίδια άρθρα μπορεί κανείς να δει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, σε ένα άρθρο του κάνει συχνές αναφορές σε προγενέστερα, μεταξύ των οποίων έχουν παρεμβληθεί πολλά άλλα άρθρα πάνω σε άλλες θεματικές. Αν εδώ προσθέσει κανείς και το τεράστιο εύρος των θεματικών της φυσικής με τα οποία ασχολήθηκε ο Rayleigh, η όλη ερευνητική και συγγραφική του πορεία καθίσταται αρκετά δαιδαλώδης. Είναι επίσης χαρακτηριστικό για τον Rayleigh το γεγονός ότι διάβαζε αρκετά πάνω στα θέματα της φυσικής και ήταν αρκετά ενημερωμένος όχι μόνο για τις εξελίξεις στην Βρετανία, αλλά και στην υπόλοιπη Δυτική Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Πολλές φορές αυτό ήταν και το σημείο εκκίνησης μιας δικής του έρευνας, ερωτήματα τα οποία είχε εντοπίσει ως αναγνώστης. Πολλές φορές από την άλλη, όπως ήδη αναφέρθηκε, ση-

¹⁰"I always like to have two or three things simmering, if one of them does not get on [perhaps] another does." (Strutt R. [1924] 1968) σ. 164

μείο εκκίνησης μιας έρευνας του, ήταν το σημείο τερματισμού μιας άλλης παλαιότερης δικής του έρευνας.

Σύμφωνα με τον R. Strutt ήταν εύκολο για τον Rayleigh να αναπτύξει ενδιαφέρον για ένα αμφίβολο φαινόμενο, αλλά ήταν αρκετά δύσκολο να βγάλει την τελική ετυμηγορία του για αυτό, είτε υπέρ είτε κατά. Ως παράδειγμα αναφέρεται στις ακτίνες N. Ο René Blondlot, Γάλλος πειραματικός φυσικός, το 1903 κατέληξε στο συμπέρασμα ότι από τους σωλήνες εκκένωσης εκπέμπονταν ένα άγνωστο ως τότε είδος ακτινοβολίας, τις οποίες ονόμασε ακτίνες N. Το να επαναλάβει κανείς τα πειράματα ώστε να επαληθεύσει ή να διαψεύσει τον ισχυρισμό των ακτίνων N, ήταν μια εύκολη σχετικά διαδικασία και αρκετοί φυσικοί το επιχείρησαν. Ο Rayleigh δεν είδε κάτι που να τις επιβεβαιώνει,¹¹ εντούτοις έμενε ανοιχτός ότι κάτι μπορεί να υπήρχε εκεί ακόμα και όταν είχαν κατά κοινή ομολογία των φυσικών διαψευθεί.

Σύμφωνα και με τη βιογραφία που συνέγραψε ο γιος του το 1874 και το 1875 ο Rayleigh ασχολήθηκε και με πνευματιστικά φαινόμενα, στα οποία έδωσε ιδιαίτερη σημασία, αλλά μην αποδίδοντας καρπούς η έρευνα του, αργότερα τα εγκατέλειψε ως ένα συστηματικό πεδίο έρευνας. Μετέπειτα και καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του, η παραψυχολογία και τα πνευματιστικά φαινόμενα του ασκούσαν μια γοητεία, και κρατούσε πάντα ένα ανοιχτό μυαλό ως προς αυτά. Επιπρόσθετα ο Rayleigh θα διατελέσει και πρόεδρος της Society for Psychical Research, και στον προεδρικό του λόγο το 1919 θα αναφερθεί στη δική του εμπειρία και ερευνητική προσπάθεια πάνω σε τέτοια φαινόμενα τη δεκαετία του 1870. Ενώ μια αναχρονιστική ματιά θα απέκοπτε αυτό τον τομέα από την ερευνητική του πορεία, θεωρώντας το πεδίο παράπλευρο και εκτός της 'καθαρής' επιστήμης, έχει ιδιαίτερο νόημα να σταθεί κανείς στο ότι ο Rayleigh προσπάθησε να ερευνήσει τα πνευματιστικά φαινόμενα με τα ίδια μεθοδολογικά εργαλεία όπως κάνει και στους υπόλοιπους τομείς του ενδιαφέροντος του.¹²

Είναι επίσης βασικό για να κατανοήσει κανείς τον Rayleigh να δει και τα όρια που θέτει αυτός για την επιστήμη. Θα σταθεί έτσι ενάντιος όπως προαναφέρθηκε και στο απόσπασμα από τον προεδρικό λόγο του Montreal το 1884 στο να δει κανείς την επιστήμη

¹¹Ο γιος του Rayleigh γράφει ότι είναι σε θέση να το επιβεβαιώσει αυτοπροσώπως. (Strutt R. [1924] 1968) σ.359-360

¹²Για περισσότερα βλ.(Strutt R. [1924] 1968) σ.55-70

σαν τον μόνο δρόμο που οδηγεί στη λύση των βαθύτερων μυστηρίων της ύπαρξης. Για εκείνον η αληθινή πίστη και η αληθινή επιστήμη, ούτε είναι, ούτε θα μπορούσαν να είναι αντιπαραθετικές. Σε όλη του τη ζωή είναι θρησκευόμενος, χωρίς όμως να είναι τυπολάτρης.

Ο Rayleigh αναγνωρίζει τη σημασία της αναλογίας και στο πρώτο του άρθρο "*On Some Electromagnetic Phenomena Considered in Connexion with the Dynamical Theory*" του 1869 εκκινεί από τις εργασίες του Maxwell,¹³ στις οποίες αναφερθήκαμε στο πρώτο κεφάλαιο και όπου είναι κεντρικός ο ρόλος της αναλογίας, αναζητώντας περαιτέρω αναλογίες ανάμεσα στα ηλεκτρικά και μαγνητικά φαινόμενα και τα μηχανικά αντίστοιχα. Στο εισαγωγικό μέρος του άρθρου θα αναφερθεί στην προσέγγιση του Maxwell και θα πει πως η αναλογία του φαίνεται χρήσιμη τόσο γιατί είναι βοηθητική ως πιο ζωντανή απεικόνιση όσο και για την εξαγωγή ενός αδρού ποσοτικού αποτελέσματος, που το θεωρεί κάποιες φορές πιο σημαντικό από φυσική άποψη από ότι την εκλεπτυσμένη μαθηματική ανάλυση (χωρίς εδώ να μειώνει τη σημασία της ανάλυσης).¹⁴

Ο Rayleigh θα κάνει χρήση της αναλογίας και στα οπτικά με τα ακουστικά φαινόμενα. Η θεωρία για τον ήχο, όπως ήδη αναφέρθηκε είναι από τις πρώτες με τις οποίες θα ασχοληθεί, έχοντας ως αφετηρία του και τις εργασίες του Helmholtz, κρίνοντας ότι μπορεί να βελτιώσει το μαθηματικό σκέλος της προσέγγισης του.¹⁵ Με αφορμή το παραπάνω άρθρο και την εισαγωγή του να σημειώσουμε εδώ ότι συχνά προλογίζει τα άρθρα του, δίνοντας με άμεσο και εύληπτο τρόπο τις αφετηρίες των ερευνών του ή άλλες εργασίες που έχουν γίνει επί του εκάστοτε θέματος τις οποίες κρίνει ότι είναι σημαντικές για άντληση ή σύγκριση στοιχείων. Ένα τελευταίο στοιχείο που αξίζει ιδιαίτερης αναφοράς για το ίδιο άρθρο είναι ότι μελετάει το φαινόμενο στη βάση της ενέργειας. Λίγο αργότερα το 1872, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, θα ξεκινήσει τη συγγραφή του *The Theory of Sound* στο ταξίδι του στην Αίγυπτο, ένα πολύ σημαντικό έργο της εποχής του.

Το ερώτημα του γιατί ο ουρανός είναι μπλε θα απασχολήσει τον Rayleigh, ο οποίος θα εξάγει το συμπέρασμα αυτό από το νόμο ότι η σκέδαση του φωτός από μικρά σωματίδια

¹³Βλ. (Maxwell J.C. 1865)

¹⁴Scientific Papers, Vol. I σ. 1

¹⁵Βλ. την εισαγωγή στο 5^ο άρθρο "On the Theory of Resonance" *Scientific Papers* Vol. I

εξαρτάται από την αντίστροφη τέταρτη δύναμη του μήκους κύματος του φωτός. Θα σταθούμε εδώ σε δυο σημεία. Πρώτον στα ερεθίσματα του Rayleigh, που εκκινεί εκτός των άλλων και από απλές παρατηρήσεις του άμεσου περιβάλλοντός του, σε αυτή την περίπτωση το χρώμα του ουρανού σε άλλες το πέταγμα των πουλιών ή τη θαλάσσια πτήση του άλμπατρος. Το άλλο σημείο είναι πάλι μεθοδολογικού χαρακτήρα. Ο Rayleigh την μελέτη του φαινομένου αυτού, που ξεκινά να πραγματεύεται το 1871¹⁶ την προσεγγίζει από τη θεωρία του ελαστικού στερεού για το φως (elastic solid theory of light) και όχι από την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του φωτός.

Αναδεικνύεται και μέσα από αυτό το παράδειγμα ένα χαρακτηριστικό του Rayleigh να προσπαθεί να κάνει στέρεα βήματα, βλέποντας ταυτόχρονα τα όρια μέχρι τα οποία μπορεί να στηριχθεί σε μια δεδομένη θεωρία. Από την άλλη είναι σημαντικό να δει κανείς για εκείνον, ιδιαίτερα μέσα από τα τελευταία έργα και τις τοποθετήσεις του για τον αιθέρα, το πείραμα Michelson- Morley αλλά και τα πρώτα βήματα της κβαντικής μηχανικής και της σχετικότητας, πως στάθηκε σε αυτές τις ρηξικέλευθες θεωρίες που άλλαξαν τελείως την εικόνα για τον κόσμο. Απέναντι σε αυτές τις θεωρίες θα μείνει κάπως μακριά, θα επιλέξει μια συνειδητή μη εμπλοκή και κρίση, αφήνοντας ουσιαστικά το έργο αυτό σε μια νέα γενιά φυσικών, δεχόμενος ότι του ήταν δύσκολο να αλλάξει οπτική και τρόπο σκέψης και ειδικά σε μεγάλη ηλικία, κάτι που η κβαντική μηχανική και η θεωρία της σχετικότητας απαιτούσαν σχεδόν αφετηριακά. Η παραπάνω περιγραφή είναι κάπως σχηματική για τη θέση που παίρνει ο Rayleigh σε σχέση με μια νέα θεωρία και ως τέτοια αν και συμβαδίζει με τη γενική εικόνα στη βιβλιογραφία, όπως και με τη βιογραφία του R. Strutt, δεν αποφεύγει το επίπεδο της γενικότητας. Επίσης στέκεται μόνο στο επίπεδο της άποψης του Rayleigh, και της πρακτικής με την πολύ στενή έννοια του όρου. Την ίδια ώρα το έργο του και οι προκλήσεις που συνάντησε απαιτούν μια πιο συγκεκριμένη μελέτη. Όσο αυτό αφορά το θέμα των αερίων, αυτό θα επιχειρήσουμε παρακάτω, κυρίως πως αντιμετωπίζει τη δυναμική θεωρία και το θεώρημα ισοκατανομής.

Κλείνοντας εδώ αυτή τη σύντομη διαδρομή στο έργο του Rayleigh, κρίνεται αναγκαίο να αναφερθούμε στο πείραμα ως ένα βασικό και αναπόσπαστο στοιχείο των ερευνών του. Το είδαμε και στο βιογραφικό σκαρίφημα από τη σκοπιά των θεσμών, του εργα-

¹⁶Βλ. "On the Light from the Sky, its Polarization and Colour" *Scientific Papers* Vol. I

στηρίου του Cavendish. Ως συμπλήρωμα όσων έχουν εκεί ειπωθεί, να πούμε εδώ πως όταν ανέλαβε το εργαστήριο προώθησε τη χρήση των εκεί συσκευών και εν γένει του εξοπλισμού. Ήταν πάντα οικονόμος και έπαιρνε κάτι καινούργιο μετά από σκέψη και εφόσον υπήρχε ανάγκη. Παρόλα αυτά ο πειραματικός εξοπλισμός ήταν κάτι στο οποίο έδινε χρήματα. Στο Cavendish όταν ο εξοπλισμός δεν επαρκούσε για τα πειράματα σε σχέση με τα ηλεκτρικά πρότυπα, προχώρησε στην αγορά και άλλων συσκευών και οργάνων. Αν πάει κανείς και πέρα από το θεσμικό, στο ίδιο το πεδίο των δικών του ερευνών στο συμπέρασμα που αβίαστα καταλήγει είναι ότι το πείραμα ήταν οργανικό στοιχείο των ερευνών του και τα *Scientific Papers* το μαρτυρούν ακόμα και με μια επιφανειακή ανάγνωση τους ή ξεφύλλισμα. Η σχέση αυτή του πειράματος με τις έρευνες του σε μια εποχή στην Αγγλία, και όχι μόνο, όπου ο ρόλος του πειράματος παρουσιάζει τομές αλλά και σε μια εποχή αυξημένης ποσοτικοποίησης αποτελεί ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα.

2.4 Η ανακάλυψη και οι ιδιότητες του αργού -η μονοατομικότητα

2.4.1 Από τα εμπειρικά δεδομένα στην ανακάλυψη

Η ανακάλυψη του αργού αποτελεί ένα σημαντικό σταθμό στην επιστημονική πορεία του Rayleigh και είναι ίσως το πιο διάσημο επεισόδιο της. Παράλληλα ήταν, όπως μαρτυρείται και στη βιογραφία του, μια επίμονη και επίπονη διαδικασία. Αυτό που καθιστά αυτό το γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό πέρα από την ίδια την ανακάλυψη είναι το πως αυτή προέκυψε, από μια ασυμφωνία πειραματικών αποτελεσμάτων και όχι άμεσα από κάποια θεωρία και κάποια αντίστοιχη πρόβλεψη της. Επίσης έχει ιδιαίτερη σημασία το πως αντιμετώπισε αυτή την ασυμφωνία ο Rayleigh, ποια ήταν η μεθοδολογική αντιμετώπιση του ως προς τα σφάλματα που υπεισέρχονταν, στο θέμα της ακρίβειας αλλά και της επεξεργασίας και εξαγωγής συμπερασμάτων που τον οδηγούσαν σε ανακάλυψη στοιχείου. Για όλα αυτά κανείς πρέπει να σταθεί και στο ρόλο της μέτρησης, του πειράματος, της ακρίβειας και των ποσοτικών νόμων την δεδομένη εποχή στην Αγγλία. Καθένα από αυτά και η σχέση του με την ανακάλυψη του αργού, ιδωμένη αμφίδρομα είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα για την ιστορία και φιλοσοφία της επιστήμης. Εξίσου σημαντικό είναι και το

πως ο Rayleigh έφτασε στο συμπέρασμα της μονοατομικότητας για το αργό, πως αυτό συνδέεται με τον περιοδικό πίνακα αλλά και πως εμπλέκεται με την δυναμική θεωρία των αερίων και το θεώρημα της ισοκατανομής. Σε αυτό είναι που θα σταθούμε κάπως περισσότερο από την ανακάλυψη του αργού για λόγους που θα γίνουν κατανοητοί στη συνέχεια της εργασίας.

Τα πρώτα βήματα της έρευνας που τελικά θα οδηγούσε στην ανακάλυψη του αργού έγιναν το 1882 και το εναρκτήριο σημείο αυτής ήταν η θέληση του Rayleigh να εξετάσει αν τα σχετικά ατομικά βάρη του οξυγόνου και του υδρογόνου απέκλειαν από τον λόγο 16:1 που απαιτούσε ο νόμος του Prout.¹⁷ Για να το κάνει αυτό προχώρησε στο να μετρήσει τις πυκνότητες, βασιζόμενος στο ότι μπορούσαν να μετρηθούν οι αντίστοιχοι όγκοι με τη μέθοδο του ευδιομέτρου. Θα καταλήξει στην τιμή 15.882 για το λόγο των πυκνοτήτων μέσα από μια πορεία επαναλαμβανόμενων πειραμάτων όπου αντιμετώπιζει συστηματικά και τυχαία σφάλματα, όπου ο τρόπος αντιμετώπισης του παρουσιάζεται αναλυτικά από τον ίδιο στα αντίστοιχα άρθρα του.¹⁸

Αφού έχει ολοκληρώσει τις μετρήσεις για τις πυκνότητες του υδρογόνου και του οξυγόνου, στη συνέχεια θα ασχοληθεί με την πυκνότητα του αζώτου. Εκεί θα έρθει αντιμέτωπος με μια ασυμφωνία των πειραματικών δεδομένων την οποία δεν μπορεί να τη θέσει εντός των πειραματικών σφαλμάτων, και θα την αποδώσει αρχικά στο χαρακτήρα του αερίου. Η ασυμφωνία αυτή προκύπτει μεταξύ των τιμών που προκύπτουν από δυο διαφορετικές μεθόδους παρασκευής. Για αυτή την ασυμφωνία που είναι της τάξης του 1/1000 μερών θα ζητήσει με ένα άρθρο του 1892 τη βοήθεια της χημικής κοινότητας για να προτείνει πιθανές αιτίες.¹⁹

Η μια μέθοδος παρασκευής βασίστηκε στην απομόνωση του αζώτου από τον ατμοσφαιρικό αέρα, όπου το οξυγόνο απομακρυνόταν με τη βοήθεια πυρακτωμένου χαλκού και το υδρογόνο με την βοήθεια του οξειδίου του χαλκού. Το διοξείδιο του άνθρακα είχε ήδη αφαιρεθεί με χρήση ποτάσας. Τέλος το αέριο διερχόταν από θειικό οξύ, ποτάσα και φω-

¹⁷Την αναφορά των κινήτρων του την κάνει ο ίδιος ο Rayleigh στην εισαγωγή του άρθρου "On the Relative Densities of Hydrogen and Oxygen". (1888) *Scientific Papers* v. III

¹⁸"On the Relative Densities of Hydrogen and Oxygen". (1888) *Scientific Papers* v. III "On the Relative Densities of Hydrogen and Oxygen II". (1892) *Scientific Papers* v. III

¹⁹βλ. "Density of Nitrogen" (1892) *Scientific Papers* v. IV

σφορικό ανυδρίτη.²⁰ Η δεύτερη μέθοδος, την οποία ακολούθησε ο Rayleigh θέλοντας να διασταυρώσει τα αποτελέσματα του²¹ - πάντα προσεκτικός στα βήματα του - συνίσταται στη διέλευση αέρα από υγρή αμμωνία και στη συνέχεια από πυρακτωμένο μέταλλο. Τη δεύτερη αυτή μέθοδο όπως αναφέρει στο ίδιο άρθρο του τη συνέστησε ο Ramsay και την έκρινε ιδιαίτερα βολική. Όμως ήταν κατά 1/1000 ελαφρύτερο το άζωτο από ότι από την πρώτη μέθοδο.

Με μεθοδικό συλλογισμό δίνει δυο πιθανές εκδοχές ή το πρώτο άζωτο είναι βαρύτερο ή το δεύτερο ελαφρύτερο. Αν αυτό οφείλεται για την πρώτη περίπτωση σε προσμείξεις οξυγόνου, θα έπρεπε να είναι της τάξης του 1%, το οποίο πιστεύει πως είναι τεράστιο και θα έπρεπε μέσω των μεθόδων του να το ανιχνεύσει και επιπλέον είναι σε συμφωνία με τις μετρήσεις του Leduc, άρα αυτή η εκδοχή θα έπρεπε να αποκλειστεί. Αν πάλι οι προσμείξεις είναι στο άζωτο με τη μέθοδο της αμμωνίας η αναζήτηση μιας πιθανής πρόσμειξης του φαίνεται να υποδεικνύει ως αρχικά πιθανότερη εκείνη του υδρογόνου, όμως την αποκλείει μέσω επόμενου πειράματος.²²

Μια επόμενη σειρά πειραμάτων όπου θα αντικαταστήσει τον αέρα στη μέθοδο της αμμωνίας με οξυγόνο για να μεγενθύνει τη διαφορά ή εσκεμμένα θα αφήσει μεγαλύτερη ποσότητα υδρογόνου για να δει αν μπορεί να διαφύγει της δέσμευσης και άρα να αλλάξει το αποτέλεσμα δίνουν αρνητικά αποτελέσματα για μια εξήγηση. Θα ακολουθήσει διάφορες μεθόδους τόσο για παρασκευή "ατμοσφαιρικού" όσο και "χημικού" αζώτου από το 1892 ως το 1894^{23 24} και παίρνοντας μέσες τιμές από διαφορετικά πειράματα πάνω σε αυτές τις μεθόδους κατέληξε ότι αυτή η διαφορά της μιας μέσης τιμής από την άλλη (τάξης 0.5%) δεν είναι αποτέλεσμα κάποιου σφάλματος του πειράματος. Σε αυτό το στάδιο²⁵, έχοντας αποκλείσει τις γνωστές προσμείξεις εξέτασε την περίπτωση η διαφορά

²⁰Για πλήρη περιγραφή της μεθόδου βλ. "Density of Nitrogen" (1892) *Scientific Papers* v. IV

²¹Ακόμα και αν αυτά ήταν σε συμφωνία (1/10000 μερών) με το αποτέλεσμα του Leduc λίγα χρόνια πριν και στο οποίο αναφέρεται επίσης στο άρθρο του.

²²Τα πειράματα αυτά είναι δυο και τα αναφέρει αναλυτικά στο "On the Densities of the Principal Gases" (1893) *Scientific Papers* v. IV

²³Διεξάγει πειράματα παρασκευής με διαφορετικούς τρόπους για το ατμοσφαιρικό άζωτο και για το χημικό άζωτο. Βλ. τα άρθρα "Density of Nitrogen Gas" και "Argon, a New Constituent of the Atmosphere" *Scientific Papers* v. IV

²⁴Οι χαρακτηρισμοί 'ατμοσφαιρικό' και 'χημικό' άζωτο ανήκουν στον ίδιο τον Rayleigh

²⁵Βλ. "Argon, a New Constituent of the Atmosphere" *Scientific Papers* v. IV σ. 135

του βάρους να προκύπτει ως αποτέλεσμα της διάστασης του N_2 σε άτομα. Για να ελεγχθεί αυτή η υπόθεση και τα δυο αέρια υπεβλήθησαν στη μέθοδο της ηλεκτρικής εκκένωσης, με το βάρος τους να μένει αμετάβλητο. Στην ίδια κατεύθυνση ένα δεύτερο πείραμα, που βασίστηκε στην υπόθεση της σύντομης ζωής των προϊόντων της διάστασης κατά τα πρότυπα του όζοντος, έδωσε επίσης αρνητικά αποτελέσματα, αφέθηκε οκτώ μήνες ένα δείγμα 'χημικού' αζώτου αλλά το βάρος παρέμεινε αμετάβλητο. Σε αυτό το σημείο η υπόθεση ενός άλλου συστατικού στον αέρα ήταν η πιο πιθανή αλλά και πάλι έπρεπε να αντιμετωπίσει το αντεπιχείρημα του ότι μέχρι τότε δεν είχε πέσει στην αντίληψη παρά την ποσότητα του στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Για να αποφανθούν κατά πόσο ήταν μείγμα ή όχι, η πιο γνωστή μέθοδος ήταν αυτή της διάχυσης. Πέρα όμως από αυτό, ήθελαν και να απομονώσουν το άγνωστο αέριο. Στην προσπάθεια του ο Rayleigh να βρει με ποιο τρόπο, θα απαντήσει το ερώτημα του μείγματος ή όχι, θα ρωτήσει τον Dewar,²⁶ και αυτός θα τον κατευθύνει στο πείραμα του Cavendish, δημοσιευμένο από το 1795, για το οποίο οι Rayleigh και Ramsay είναι ιδιαίτερα επαινετικοί και μάλιστα παραθέτουν ένα απόσπασμα του όπου περιγράφει το αντίστοιχο πείραμα. Με αυτό τον τρόπο, και χωρίς εδώ να έχει ιδιαίτερο νόημα να επαναλάβουμε την τεχνική του πειράματος, απομόνωσαν αρχικά μικρές ποσότητες του αερίου, αρχικά της τάξης του 1cm^3 . Η ανάλυση του φάσματος του, απάντησε αρνητικά για την ύπαρξη αζώτου.

Μια άλλη μέθοδος απομόνωσης για το άγνωστο αέριο ήταν βασισμένη στη χρήση πυρακτωμένου μαγνησίου και είχε τεθεί σε εφαρμογή από τον Ramsay και η οποία ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματική όσον αφορά τις ποσότητες που απομονώνονταν, καταφέροντας να έχουν απομόνωση σε μεγάλη κλίμακα.

Σε όλη αυτή την πορεία, οι Ramsay και Rayleigh, και ενώ στην αρχή ανεξάρτητα ξεκίνησαν τις έρευνες τους, συνεργάστηκαν στενά, είχαν συνεχή αλληλογραφία και ανταλλάσσαν απόψεις στο σχεδιασμό πειραμάτων και στα αποτελέσματα αυτών, χωρίς αυτό να μειώνει τη προσωπική συνεισφορά του καθενός και τον ιδιαίτερο ρόλο που έπαιξε.²⁷

²⁶Για το που αποτάνθηκε υπάρχει μια συζήτηση αφού ο Ramsay υποστηρίζει ότι εκείνος προσανατόλισε τον Rayleigh προς το πείραμα του Cavendish. Ο R. Strutt στη βιογραφία διαψεύδει τον ισχυρισμό. Για περισσότερα βλ. (Strutt R. [1924] 1968) σ.194-195

²⁷Στο άρθρο του "Argon" θα αναφερθεί σε αυτό το θέμα και θα πει πως ενώ αρχικά οι εργασίες τους ήταν

Πάνω σε αυτή τη βάση θα προτείνουν μαζί με τον Ramsay, σε μια κοινή δημοσίευση το 1895, την ύπαρξη ενός νέου στοιχείου στην ατμόσφαιρα, το οποίο θα ονομάσουν αργό βασιζόμενοι στον χαρακτήρα του αερίου που προέκυψε μετά από μια σειρά πειραμάτων σχεδιασμένων για τη μελέτη των ιδιοτήτων του. Είχε προηγηθεί η ανακοίνωση της ανακάλυψης, στη συνάντηση της Οξφόρδης, της British Association το 1894, την οποία είχε κάνει ο Rayleigh. Ενα κρίσιμο βήμα προς την ανάδειξη του αερίου σε νέο στοιχείο, ήταν η μονοατομικότητά του.

2.4.2 Η μονοατομικότητα του αργού

Το πείραμα του Cavendish και τα αποτελέσματα της φασματοσκοπίας επί του δείγματος, που υποδείκνυαν τη μη παρουσία αζώτου²⁸ ήταν τα πρώτα στέρεα βήματα προς την κατεύθυνση της ανακάλυψης ενός νέου στοιχείου. Αυτό που ήταν καθοριστικό σε αυτή την πορεία, ήταν η μέτρηση του λόγου C_p/C_v που υπέδειξε τη μονοατομικότητά του.

Η εξέταση του άγνωστου αερίου ώστε να εξακριβωθεί η θεμελιώδης ή σύνθετη φύση του έγινε με πειράματα πάνω στην ταχύτητα του ήχου σε αυτό. Η ταχύτητα του ήχου συνδέεται σύμφωνα με τον Rayleigh με τον λόγο C_p/C_v μέσω της σχέσης:

$$n\lambda = v = \sqrt{\frac{e}{d}(1 + at)\frac{C_p}{C_v}}$$

όπου v η ταχύτητα του ήχου, n η συχνότητα, λ το μήκος κύματος, e η ισοθερμική ελαστικότητα, d η πυκνότητα, $(1 + at)$ η διόρθωση για τη θερμοκρασία, C_p η ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση και C_v η ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο. Χρησιμοποιώντας τη σχέση

$$\lambda^2 d : \lambda'^2 d' :: 1.408 : x$$

μπορούσε να υπολογίσει με βάση τις τιμές σε ένα αέριο τις αντίστοιχες σε ένα άλλο. Έτσι τα λ και d αναφέρονται στον αέρα, όπως και η τιμή 1.408 που έχει προκύψει ως μέση τιμή από προγενέστερους μελετητές και πειράματα²⁹. Έτσι με μετρήσεις του μήκους σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητες, στη συνέχεια συνεργάστηκαν και το τελικό έργο που δημοσιεύουν κοινά πρέπει να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα της συνεργασίας τους με ισάξιο μερίδιο του καθενός.

²⁸Για την πλήρη ανάλυση του φάσματος του αργού βλ. "Argon, a New Constituent of the Atmosphere" *Scientific Papers* v. IV σ. 168-170 και επίσης υπάρχει και σχηματική απεικόνιση στο άρθρο του "Argon" σ. 199

²⁹Αναφέρει τους Röntgen(1.4053), Wüllner (1.4053), Kayser (1.4106) και Jamin και Richard (1.41)

κύματος λ' μπορεί κανείς, και αυτό κάνει ο Rayleigh, να καταλήξει σε τιμές για το λόγο C_p/C_v στο αργό, αφού μετρήσεις για την πυκνότητα του έχουν προηγηθεί. Στο πείραμα του ελέγχει τις τιμές που προκύπτουν και για άλλα αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα και τις συγκρίνει με τις τιμές που έχουν βρει άλλοι ερευνητές, ώστε να εδραιώσει την αξιοπιστία του πειράματός του, όπως χαρακτηριστικά αναφέρει και ο ίδιος.

Με πέντε πειράματα καταλήγει μέσω της μεθοδολογίας που περιγράφηκε σε μια μέση τιμή για το λόγο C_p/C_v που είναι 1.644. Αυτός ο λόγος όμως είναι αυτός που έχει προβλεφθεί για τα μονοατομικά στοιχεία, και πρακτικά για τους ατμούς υδραργύρου. Όπως και αναφέρεται στο ίδιο το άρθρο, αν ξεκινήσει κανείς από το νόμο του Clausius, και εαν K είναι η μεταφορική ενέργεια για το μόριο του αερίου και H η ολική κινητική ενέργεια του, τότε ισχύει με βάση τον Clausius

$$\frac{K}{H} = \frac{3(C_p - C_v)}{2C_v}$$

Εαν τώρα αυτός ο λόγος είναι ίσος με $1\frac{2}{3}$ τότε με βάση τον τύπο $K = H$ και άρα το μόριο έχει μόνο μεταφορική κινητική ενέργεια, ένδειξη μονοατομικότητας. Ένα συμπέρασμα που θεωρούνταν γνωστό για τους ατμούς υδραργύρου και ο Rayleigh με τον Ramsay υποστηρίζουν και για το αργό. Αυτό το εκτιμούν αφού η μόνη εναλλακτική, που πάλι αναφέρουν περιγράφοντας αναλυτικά τα μεθοδικά βήματα της σκέψης τους, είναι ακόμα και αν είναι διατομικό το αργό ή πολυατομικό, να μην υπάρχει σχετική κίνηση από τα άτομα, ούτε περιστροφή όπως αναφέρει το άρθρο,³⁰ κάτι που χαρακτηρίζουν απίθανο και που προϋποθέτει σφαιρικότητα για αυτό το σύνθετο γκρουπ ατόμων.

Με βάση λοιπόν την ισχυρή υπόθεση ότι το αργό είναι μονοατομικό, βασιζόμενοι στο λόγο των ειδικών θερμοτήτων υπό σταθερή πίεση και όγκο, καταλήγουν στο ότι το αργό είναι ένα νέο στοιχείο αφού η μονοατομικότητα από μόνη της αφήνει μόνο περιθώριο κάτι να είναι στοιχείο ή μείγμα στοιχείων, αποκλείοντας ένωση. Με βάση αυτό και το νόμο του Avogadro, καταλήγουν και στο ατομικό βάρος του αργού το οποίο εκτιμούν 40. Σύμφωνα με το χαρακτηριστικό τρόπο του Rayleigh να αργεί να τελεσιδικήσει σε κάποια απόφαση, στο άρθρο αν και ισχυρά κλείνουν προς την υπόθεση του ενός στοιχείου, αναφέρουν επιχειρήματα υπέρ και κατά και αφήνουν στο τέλος το ερώτημα ανοιχτό λέγοντας "Το ερώτημα συνεπώς πρέπει να παραμείνει ανοιχτό."

³⁰Βλ. "Argon, a New Constituent of the Atmosphere" *Scientific Papers* v. IV σ.181

Το άρθρο αρχικά αντιμετωπίστηκε με σκεπτικισμό και επιθετικότητα από την κοινότητα των χημικών, ενώ σε αυτές τις αντιδράσεις αναφέρεται και ο ίδιος ο Rayleigh σε επόμενο άρθρο του.³¹ Εκεί εκτός των άλλων και αναφερόμενος στην μονοατομικότητα ως συμπέρασμα που προέκυψε από τον λόγο των C_p/C_v θα πει χαρακτηριστικά:³²

"Είχα την πρόθεση να πω κάτι για την επιχείρηση του καθορισμού του λόγου των ειδικών θερμοτήτων, αλλά ο χρόνος δεν θα το επιτρέψει. Το αποτέλεσμα είναι, χωρίς αμφιβολία, πολύ περίεργο. Πράγματι, έχω δει κάποιες ενδείξεις ότι οι ανώμαλες ιδιότητες του αργού, έφεραν και ένα είδος κατηγορίας εναντίον μας. Αλλά είχαμε τις καλύτερες των προθέσεων επί του θέματος. Τα γεγονότα ήταν πολλά για εμάς, και το μόνο που μπορούμε να κάνουμε τώρα είναι να απολογηθούμε για εμάς και για το αέριο."

Μια από τις βασικές συνέπειες που είχε είναι η ανακάλυψη του αργού είναι ότι δημιουργούσε πρόβλημα στον περιοδικό πίνακα, αφού δεν ήταν εύκολη η κατάταξη του σε αυτόν. Τα ευγενή αέρια θα ταυτοποιηθούν και θα εισαχθούν σε αυτόν σε μεταγενέστερο χρόνο. Τα προβλήματα που προκύπτουν στον περιοδικό πίνακα τα είδε και ο Rayleigh και αναφέρεται σε αυτά, χωρίς όμως να συνεχίζει ιδιαίτερα προς αυτή την κατεύθυνση. Θέτει όμως τον προβληματισμό ότι το πρόβλημα της ένταξης του αργού στον περιοδικό πίνακα εγείρει αμφιβολίες κατά πόσο η περιοδική κατάταξη είναι πλήρης. Ο Rayleigh άλλωστε, όπως έχουμε και εισαγωγικά αναφέρει, είδε την ανακάλυψη του αργού από τη φυσική σκοπιά. Όπως γράφει και ο R. Strutt, παραθέτοντας τα λόγια του Rayleigh, "Βρήκα ότι η μόνη χημεία που θυμάμαι είναι είτε ότι ήξερα σαν παιδί, είτε ότι διάβασα μόλις για τον άμεσο σκοπό".³³

Ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων συνδέθηκε άμεσα και με το θεώρημα της ισοκατανομής, ένα θεώρημα που έγινε αντικείμενο διαμάχης ανάμεσα στους φυσικούς εκείνης της εποχής και το οποίο έχει άμεση σχέση με την κατασκευή μηχανοκρατικών μοντέλων για το επίπεδο της μοριακής φυσικής. Ο Rayleigh, αν και όπως είδαμε σε αυτή την παράγραφο, και στην οποία ακολουθήθηκε η μεθοδολογία με την οποία παρουσίασε μαζί με το Ramsay την ανακάλυψη του αργού, στήριξε το επιχείρημα του στο νόμο του Clausius,

³¹Βλ. "Argon" *Scientific Papers* v. IV

³²"Argon", *Scientific Papers* v. IV σ. 200

³³(Strutt R. [1924] 1968) σ. 222

που μπορεί να προκύψει και χωρίς την καταφυγή στο θεώρημα ισοκατανομής, εντούτοις πραγματεύεται το θεώρημα αυτό σε μια σειρά από άλλα άρθρα του που κατηγοριοποιούνται στην συλλογή *Scientific Papers* στην δυναμική θεωρία των αερίων. Σε ένα από αυτά τα άρθρα του, που δημοσιεύει λίγο αργότερα το 1900 θα γράψει για το αργό και τη μονοατομικότητα του:

"Οι δυσκολίες που συνδέονται με την εφαρμογή του νόμου της ίσης κατανομής, της ενέργειας σε συγκεκριμένα αέρια είναι από καιρό αισθητή. Στην περίπτωση του αργού και του ηλίου και των ατμών υδραργύρου, ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων (1.67) περιορίζει τους βαθμούς ελευθερίας για κάθε μόριο στους τρεις, που απαιτούνται για την μεταφορική κίνηση. Η τιμή (1.4) που μπορεί να εφαρμοστεί για τα πρωτεύοντα διατομικά αέρια, δίνει χώρο για τρία είδη μεταφορικής και δυο περιστροφής. Τίποτα δεν μένει για περιστροφή γύρω από την ευθεία που ενώνει τα άτομα, ή τη σχετική κίνηση των ατόμων σε αυτή την ευθεία. Ακόμα και αν θεωρήσουμε τα άτομα ως απλά σημεία, των οποίων η περιστροφή δεν έχει νόημα, θα έπρεπε και πάλι να υπάρχει ενέργεια του είδους που προαναφέρθηκε τελευταία και το ποσό της (με βάση αυτό το νόμο) δεν θα έπρεπε να είναι κατώτερο."³⁴

Λόγω αυτής της σύνδεσης με τα μηχανοκρατικά μοντέλα, και εν γένει με το μηχανοκρατικό τρόπο θέασης της φύσης του θεωρήματος της ισοκατανομής, το οποίο ο Thomson (Lord Kelvin) θα χαρακτηρίσει ως ένα "από τα δυο σύννεφα που σκιάζουν την ομορφιά και την καθαρότητα της δυναμικής θεωρίας", καθίσταται καίριο το ερώτημα του πως ο Rayleigh πραγματεύεται αυτό το θεώρημα και αυτό θα δούμε αναλυτικότερα στη συνέχεια.

2.5 Το θεώρημα της ισοκατανομής - το άρθρο του Waterston

Η πρώτη εμφάνιση του θεωρήματος της ισοκατανομής γίνεται σε ένα άρθρο του Waterston το 1845, το οποίο προτάθηκε στην Royal Society, έμεινε όμως αδημοσίευτο, κρίνοντας ως "τίποτα παρά ανοησίες, ακατάλληλο ακόμα και για ανάγνωση μπροστά στην

³⁴"The Law of Partition of Kinetic Energy" *Scientific Papers* v. IV σ. 451

Εταιρία"³⁵ μέχρι ο Rayleigh να το ανασύρει από τα αρχεία, να αναγνωρίσει τη σημασία του και να προωθήσει τη δημοσίευση του το 1892, η οποία συνοδεύτηκε από ένα εισαγωγικό δικό του σημείωμα.³⁶ Την εποχή εκείνη ήταν γραμματέας της Royal Society. Το άρθρο του Waterston είχε τίτλο "*On the Physics of Media that consists of perfectly Elastic Molecules in a State of Motion*", και ο Waterston δεν έκανε καμία μετέπειτα προσπάθεια για δημοσίευση έπειτα από την αρχική απόρριψη από τον κριτή της RS, κάτι που εντυπωσιάζει τον Rayleigh, ο οποίος μάλιστα θα σταθεί στο εισαγωγικό σημείωμα σε αυτή την απόρριψη και θα εκφέρει δυο συμπεράσματα.

Πρώτον ότι έρευνες ιδιαίτερα υποθετικές φτάνουν στο φως κυρίως μέσα από άλλα κανάλια και όχι από τις επιστημονικές εταιρίες που είναι πιο σκεπτικές προς το αβέβαιο και δεύτερον ότι ίσως είναι καλύτερο για ένα νέο και άρα μη αναγνωρίσιμο επιστήμονα να λειτουργεί βηματικά, πρώτα να αποκτά αναγνώριση μέσω δουλειών μικρότερου βεληνεκούς και μετά να ανοίγεται σε πιο ρηξικέλευθες έρευνες. Όπως επίσης λέει ότι αν ο Waterston είχε αναφέρει τα σημεία εκκίνησης των ερευνών του σε άλλους προηγούμενους μελετητές θα ήταν πιο δύσκολο να είχε απορριφθεί. Αυτά τα σημεία έχουν αναμφίβολα ένα ενδιαφέρον για την ιστορία της επιστήμης, για την εποχή και το ρόλο των εταιριών ιδωμένα βέβαια μέσα από το πρίσμα των προσωπικών απόψεων του Rayleigh την ίδια ώρα που και αυτά δίνουν μια εικόνα της ευρύτερης στάσης και προσέγγισης του.

Επιστρέφοντας στο άρθρο του Waterston, αυτό που εκεί γράφει και είναι αυτό που έχει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι ότι: "σε μεικτά μέσα, η μέση τιμή του τετραγώνου της ταχύτητας του μορίου είναι αντιστρόφως ανάλογη ως προς το ειδικό βάρος των μορίων".³⁷ Ο Rayleigh θα πει πως η απόδειξη που δίνει είναι, αναμφίβολα, μη ικανοποιητική, αλλά όπως θα πει το ίδιο ισχύει και για την αντίστοιχη απόδειξη που δίνει ο Maxwell δεκαπέντε χρόνια αργότερα. Το θεώρημα ισοκατανομής της ενέργειας, δηλαδή, η ενέργεια που αντιστοιχεί σε κάθε βαθμό ελευθερίας να είναι ίση, στην αρχική της διατύπωση από τον

³⁵"the paper is even nothing but nonsense, unfit for reading before the Society" από "Introduction to Waterston's Memoir" *Scientific Papers* v.III σ. 559

³⁶Ο Thomson (Lord Kelvin) εξαίρει τη σημασία και το ενδιαφέρον αυτού του εισαγωγικού σημειώματος στο "On the Dynamical Theory of Heat and Light" (1900) σ.8

³⁷"Introduction to Waterston's Memoir" *Scientific Papers* v.III σ. 560

Waterston, ουσιαστικά είδε μόνο τη μεταφορική κίνηση, περιορίστηκε έτσι στους τρεις βαθμούς ελευθερίας και σύμφωνα με αυτό η πρόβλεψη του λόγου των ειδικών θερμοτήτων θα ήταν 1.67 για όλα τα αέρια.³⁸

2.6 Κινητική θεωρία των αερίων - Clausius και Maxwell και Boltzmann

Στην περιγραφή της έρευνας για την μονοατομικότητα του αργού αναφερθήκαμε στον νόμο του Clausius. Στο εισαγωγικό σημείωμα για το άρθρο του Waterston, ο Rayleigh αναφέρεται στη συνεισφορά των Krönig και Clausius και επίσης λέει ότι με βάση τον περιορισμό στη μεταφορική κίνηση για την πραγμάτευση από τον Waterston, μια προτεραιότητα για ευρύτερη προσέγγιση πρέπει να αποδοθεί στον Clausius. Το 1857 ο Clausius θα πει πως συμμερίζεται την άποψη του Krönig ότι σε ένα αέριο τα μόρια δεν ταλαντώνονται γύρω από δεδομένες θέσεις ισορροπίας αλλά κινούνται με σταθερή ταχύτητα σε ευθείες γραμμές μέχρι να συγκρουστούν με άλλα, θα προσθέσει όμως ότι για εκείνον περιστροφικές και ευθύγραμμες κινήσεις πρέπει να ληφθούν υπόψιν αφού η ενέργεια που αντιστοιχεί στη μεταφορική κίνηση είναι μικρή για να αντιπροσωπεύει τη συνολική.³⁹ Στο ίδιο άρθρο προχωράει και στη διατύπωση του νόμου του, που ήδη έχουμε αναφέρει προηγούμενα, βασιζόμενος σε επιχειρήματα από τη θερμοδυναμική και ιδιαίτερα το νόμο του Mariotte και του Gay Lussac. Σύμφωνα με το νόμο του Clausius, και σε αυτό θα σταθούμε εδώ, αφού η απόδειξη κρίνεται ότι μπορεί να παραληφθεί, ο λόγος της μεταφορικής κινητικής προς την ολική ενέργεια είναι σταθερός για δεδομένο λόγο ειδικών θερμοτήτων.

Σε επόμενο άρθρο του το 1858⁴⁰ θα πραγματευτεί αναλυτικά την έννοια της μέσης ελεύθερης διαδρομής, και για την οποία θα χρησιμοποιήσει στατιστικά επιχειρήματα. Με αυτό τον τρόπο απαντά στην κριτική που έχει δεχθεί ως τότε, προσπαθώντας να δώσει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα. Η μέση ελεύθερη διαδρομή είναι η απόσταση την οποία θα μπορούσε να διανύσει κατά μέσο όρο, πριν εισέλθει το κέντρο βάρους του στη σφαίρα

³⁸Όλα αυτά αναφέρονται στο εισαγωγικό σημείωμα του Rayleigh.

³⁹Για περισσότερα, όπως και την απόδειξη του νόμου του βλ. (Clausius R. 1857)

⁴⁰(Clausius R. 1858)

δράσης ενός άλλου μορίου.⁴¹

Ενώ ο Clausius είχε εισάγει μόνο την έννοια της μέσης ταχύτητας, ο Maxwell εκτός των άλλων ασχολήθηκε και με την κατανομή των ταχυτήτων στα μόρια. Στο πρώτο άρθρο του στο αντικείμενο της δυναμικής θεωρίας των αερίων, με τίτλο "*Illustrations of the Dynamical Theory of Gases*" (1860), το οποίο είχε παρουσιαστεί ένα χρόνο νωρίτερα στην British Association, διατύπωσε για πρώτη φορά την κατανομή των ταχυτήτων με βάση τη θεωρία σφαλμάτων, υποστηρίζοντας ότι οι ταχύτητες κατανέμονται στα σωματίδια σύμφωνα με τον ίδιο κανόνα όπως συμβαίνει για τα σφάλματα με τις παρατηρήσεις. Στο άρθρο αυτό, αναφέρεται στους προηγούμενους μελετητές του θέματος, στον Bernoulli, στον Joule, στον Krönig και τον Clausius και εισαγωγικά θέτει ότι ενώ ο Clausius καθόρισε τη μέση ελεύθερη διαδρομή από τη μέση απόσταση των σωματιδίων και από εκείνη των κέντρων των σωματιδίων σε σύγκρουση, αποστάσεις που δεν μπορεί να επιβεβαιωθούν, υπάρχουν φαινόμενα, όπως η εσωτερική τριβή των αερίων, η θερμική αγωγιμότητα, ή η διάχυση που δείχνουν την πιθανότητα ενός καθορισμού της μέσης ελεύθερης διαδρομής.

Στόχος του όπως χαρακτηριστικά λέει είναι να θεμελιώσει την έρευνα του σε αυστηρές μηχανικές αρχές, και για αυτό "θα παρουσιάσει τους νόμους κίνησης ενός άπειρου πλήθους μικρών, σκληρών και τέλεια ελαστικών σφαιρών που αλληλεπιδρούν μόνο στη σύγκρουση".⁴² Οι εργασίες του Maxwell λοιπόν ξεκινούν από την υπόθεση των ελαστικών σφαιρών που συγκρούονται. Αν μια τέτοια υπόθεση αντιστοιχεί στις ιδιότητες των αερίων, "θα έχει βρεθεί μια σημαντική αναλογία που μπορεί να οδηγήσει σε πιο ακριβή γνώση των ιδιοτήτων της ύλης", όπως ο ίδιος χαρακτηριστικά γράφει λίγο παρακάτω. Επίσης θέτει ότι εναλλακτικά θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει μια έννοια σωματιδίων, ως κέντρα δυνάμεων, που η δύναμη γίνεται αισθητή μόνο σε πολύ μικρή απόσταση. Αργότερα θα εγκαταλείψει τη μεθοδολογία αυτή, αλλά έχει ιδιαίτερη σημασία το πως τοποθετήθηκε απέναντι στην όλη προβληματική της δυναμικής θεωρίας των αερίων και το τι ερωτήματα έθεσε προς απάντηση σε όλη αυτή την πορεία. Είναι επίσης σαφές από

⁴¹Απαντώντας στο γιατί η διάχυση είναι αργή, κάτι που δεν προέκυπτε από τις αρχικές επεξεργασίες του, ασχολήθηκε με τις διαμοριακές δυνάμεις, τις οποίες θεώρησε ελκτικές σε μεγάλες αποστάσεις και απωστικές σε μικρές. Η σφαίρα δράσης ορίζεται από την απόσταση που εναλλάσσονται αυτά τα είδη.

⁴²(Maxwell J.C 1860) σ. 377

το ίδιο το άρθρο ότι αναζητά μια εξήγηση στο πλαίσιο της μηχανοκρατίας.

Στο ίδιο άρθρο θέτει και τις βάσεις για το θεώρημα της ισοκατανομής, στην πρόταση VI διατυπώνοντας ότι "δυσωστήματα σωματιδίων κινούνται στο ίδιο δοχείο, να αποδειχθεί ότι η μέση ενέργεια του κάθε σωματιδίου θα γίνει η ίδια και για τα δυο συστήματα"⁴³ και παράλληλα αντιμετωπίζει το ιξώδες των αερίων με δυναμικό τρόπο, και φτάνει στο συμπέρασμα ότι ο συντελεστής του ιξώδους είναι ανεξάρτητος από την πυκνότητα, και αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Ο Maxwell θα ασχοληθεί με το λόγο των ειδικών θερμότητων, και θα βρει εκεί μια αντίφαση με τα πειραματικά δεδομένα. Αντίθετα με τον Clausius ο οποίος πέρα από τον νόμο που προαναφέρθηκε, για τον λόγο των ειδικών θερμότητων καταφεύγει στην πειραματική μέθοδο, ο Maxwell αναζητά την αντιστοιχία με το μηχανικό μοντέλο και αναγνωρίζει πως η πειραματική τιμή για τα διατομικά 1.408 δίνει τιμή για το λόγο της ολικής προς την μεταφορική κινητική ίσο με 1.634, αντί για 2, όπως θα έπρεπε πάνω στην υπόθεση των σκληρών ελαστικών σωματιδίων, και στη βάση του προηγούμενου συμπεράσματος, ότι η μέση μεταφορική είναι ίση με τη μέση περιστροφική κινητική ενέργεια, στους τρεις άξονες.⁴⁴

Στο έργο του *On the Dynamical Theory of Gases* (1867), εγκαταλείπει την υπόθεση των σκληρών ελαστικών σφαιρών, θεωρώντας "τα μόρια μικρά σωματίδια ή ομάδες μικρότερων μορίων, που απωθούν το ένα το άλλο με μια δύναμη η διεύθυνση της οποίας περνά πολύ κοντά από το κέντρο βάρους των μορίων και το μέγεθος της δίνεται ως συνάρτηση της απόστασης από κέντρα βάρους". Εισαγωγικά πάλι θέτει και το λόγο αυτής της αλλαγής, που είναι τα αποτελέσματα των πειραμάτων στο ιξώδες του αέρα. Ακόμα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι αυτή η δύναμη είναι αντίστροφη της πέμπτης δύναμης της απόστασης.⁴⁵

Επιπρόσθετα επαναδιατυπώνει την κατανομή των ταχυτήτων, πάλι εστιάζοντας στη συλλογική συμπεριφορά, αυτή τη φορά όμως για "δυσωστήματα που δρα το ένα πάνω στο άλλο σύμφωνα με οποιοδήποτε Νόμο Δύναμης". Το 1868 ο Boltzmann γενίκευσε το θεώρημα της ισοκατανομής και για την περίπτωση ενός πεπερασμένου αριθμού υλικών

⁴³"Prop. VI. Two systems of particles move in the same vessel; to prove that the mean vis viva of each particle will become the same in the two systems"

⁴⁴Για περισσότερα βλ. (Maxwell J.C 1860) αλλά και τα άρθρα (Brush S. 2003) και (Garber E. 1978)

⁴⁵(Maxwell J.C 1867) σ. 29

σημείων σε κατάσταση ισορροπίας. Ο Boltzmann υποστήριξε ακόμα ότι ανεξάρτητα από την αρχική κατάσταση ενός αερίου, η τελική κατάσταση ισορροπίας θα περιγράφεται από τον νόμο της κατανομής των ταχυτήτων του Maxwell.

Στη συνέχεια ο Maxwell, εφορμώντας από τις εργασίες του Boltzmann, στο άρθρο του *On Boltzmann's Theorem on the Average Distribution of Energy in a System of Material Points* θα πραγματευτεί το θέμα στη βάση της ενέργειας και με χρήση γενικευμένων συντεταγμένων και της αναλυτικής δυναμικής του Lagrange θα γενικεύσει το συμπέρασμα για οποιοδήποτε σύστημα με πεπερασμένο ή άπειρο αριθμό βαθμών ελευθερίας. Ο Maxwell θα είναι προσεκτικός στη διατύπωση των αρχικών παραδοχών που θα κάνει⁴⁶ και θα πει για το θεώρημα του Boltzmann, δηλαδή για την ισοκατανομή:⁴⁷

" Τα υλικά σημεία μπορεί να δρουν το ένα στο άλλο σε όλες τις αποστάσεις, και σύμφωνα με κάθε νόμο που είναι συμβατός με τη διατήρηση της ενέργειας, και μπορούν επίσης να ενεργούν και δυνάμεις εξωτερικές στο σύστημα δεδομένου ότι είναι συμβατό με το νόμο.

Η μόνη υπόθεση η οποία είναι απαραίτητη για την ευθεία απόδειξη είναι ότι το σύστημα, αν αφεθεί μόνο του σε μια συγκεκριμένη κατάσταση κίνησης, αργά ή γρήγορα θα περάσει από κάθε φάση που είναι συμβατή με την εξίσωση της ενέργειας."

Η φάση στην οποία αναφέρεται ο Maxwell καθορίζεται από την θέση και την ορμή που κατέχει ένα σωματίδιο μια δεδομένη στιγμή. Η συζήτηση για το πως στέκονται οι Maxwell και Boltzmann απέναντι στο πρόγραμμα της μηχανοκρατικής εξήγησης, όπως και το ίδιο το θεώρημα της ισοκατανομής θα γίνει αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο, αφού εδώ προηγηθεί το ποια είναι η θέση του Rayleigh για το θεώρημα της ισοκατανομής, καθώς επίσης και στο τι προβλήματα προέκυπταν για αυτό από τα πειραματικά δεδομένα, τόσο από το λόγο των ειδικών θερμοτήτων στο οποίο έχουμε ήδη αναφερθεί όσο και από τη φασματοσκοπία. Όλα αυτά τα προβλήματα που προέκυπταν δυσκόλευαν την προσπάθεια κατασκευής μηχανικών μοντέλων και εν γένει ένταξης της μοριακής και κινητικής θεωρίας στο μηχανοκρατικό τρόπο θέασης της φύσης.

⁴⁶ Στην εισαγωγή του άρθρου εξηγεί τους λόγους για τους οποίους γίνεται η έμφαση στις παραδοχές. Σύμφωνα με εκείνον λοιπόν γίνεται ώστε να μπορεί κανείς να δει με καθαρότητα που βασίζεται ότι προτείνει σε ένα τόσο σημαντικό θέμα και να είναι πιο εύκολη η παρακολούθηση του από όσο το δυνατόν περισσότερους. Η μελέτη από κάθε άποψη είναι ζητούμενο, ειδικά για ένα θέμα μη πλήρως γνωστό.

⁴⁷ (Maxwell J.C. 1876) σ. 714

2.7 Ο Rayleigh για το θεώρημα των Maxwell-Boltzmann

2.7.1 Οι αρχικές παρατηρήσεις του 1892

Την ίδια χρονιά που δημοσιεύεται το άρθρο του Waterston, ο Rayleigh θα ασχοληθεί με το θεώρημα ισοκατανομής και τη συζήτηση που είχε προκύψει για αυτό ανάμεσα στους ερευνητές της εποχής. Στο άρθρο του *Remarks on Maxwell's Investigation Respecting Boltzmann's Theorem*, θα επιχειρήσει να εκθέσει την δική του αρχική θέση επί του θέματος, απαντώντας κυρίως στις κριτικές που έχει δεχθεί το θεώρημα και η τεκμηρίωση του, όπως αυτή γίνεται στο άρθρο του Maxwell *On Boltzmann's Theorem on the Average Distribution of Energy in a System of Material Points*, από τον W. Thomson και τον Bryan. Στην εισαγωγική του τοποθέτηση θα πει πως το ζήτημα αυτό είναι όντως πολύ δύσκολο, και πως επίσης δεν είναι πολύ σίγουρος για την ορθότητα των λεγομένων του αλλά από την άλλη πιστεύει πως για την ίδια την πραγμάτευση του ζητήματος καλό είναι να επιχειρήσει μια πρώτη απάντηση στις κριτικές που έχει δεχθεί το θεώρημα.

Αρχικά θα απαντήσει στην κριτική του Bryan, ότι δηλαδή λανθασμένα ο Maxwell ανάγει την κινητική ενέργεια σε ένα άθροισμα τετραγώνων όρων που περιέχουν συνιστώσες της ορμής. Ο Rayleigh θα πει πως αυτή η κριτική παραβλέπει πως ο Maxwell αναφέρεται σε δεδομένη διαμόρφωση. Παρόλα αυτά γράφει πως ίσως να υπάρχει μια ένσταση σε αυτή την κατεύθυνση για το κατά πόσο ισχύει το συμπέρασμα, όταν δεν υπάρχει πλήρης καθορισμός των παραμέτρων, ένα ζήτημα που χρήζει επιπλέον εξέτασης για τον Rayleigh ο οποίος παραδέχεται ότι το επιχείρημα περιλαμβάνει ένα στοιχείο αμετάβλητου στο συμπέρασμα.

Το παράδειγμα που θα χρησιμοποιήσει είναι εκείνο με τις μπάλες ενός μπιλιάρδου, όπου αντιπροσωπεύουν ελαστικά σωματίδια που δεν χάνουν ενέργεια. Το θεώρημα των Maxwell - Boltzmann έχει αντίστοιχα την παραδοχή ότι το σωματίδιο ξεκινώντας από ένα σημείο θα περάσει από αυτό, αργά ή γρήγορα, κινούμενο προς όλες τις κατευθύνσεις, και συνεπώς όλες οι κατευθύνσεις είναι το ίδιο προτιμητέες. Για τον Rayleigh δεν υπάρχει τίποτα το αντιφατικό ανάμεσα στην παραδοχή και το συμπέρασμα. Θα συνεχίσει όμως λέγοντας πως ο Maxwell γενικεύοντας την υπόθεση του, θα θέσει όχι μόνο ότι το σύστημα σε μια δεδομένη διαμόρφωση θα περάσει από κάθε δυνατό σύστημα ταχυτήτων

που είναι συμβατό με την αρχή της διατήρησης της ενέργειας, αλλά πως θα περάσει από κάθε διαμόρφωση που είναι συμβατή με την ίδια συνθήκη για την ενέργεια. Αυτό στο παράδειγμα του μπιλιάρδου θα σημαίνει ότι σε κάθε σημείο του τραπεζιού θα φτάσει η μπάλα, αργά ή γρήγορα, και απουσία δυναμικής ενέργειας, κάθε σημείο του τραπεζιού θα καταληφθεί για τον ίδιο χρόνο μακροπρόθεσμα, άρα όλα τα σημεία όπως και οι διευθύνσεις είναι ισοπίθανες. Για τον Rayleigh πάλι το πρόβλημα δεν είναι σε κάποια εσωτερική αντίφαση, αλλά στις αρχικές παραδοχές, οι οποίες για τον εκείνον σίγουρα δεν ισχύουν με γενικό τρόπο και για αυτό αναφέρει και ένα αντιπαράδειγμα. Το ερώτημα για εκείνον εμπλέκει την έννοια της πιθανότητας και το κατά πόσο μπορεί κανείς να παραβλέψει τέτοιες περιπτώσεις ως εξαιρετικά απίθανες προς χάρη ενός γενικού κανόνα.

Στη συνέχεια θα προτείνει ένα εναλλακτικό τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος από αυτόν που κάνει ο Maxwell, τον οποίο θεωρεί ευκολότερο. Και οι δυο βασίζονται και αναφέρονται στο *Treatise* των Thomson και Tait. Ο Maxwell ακολουθεί το φορμαλισμό του Lagrange με γενικευμένες συντεταγμένες και κάνει χρήση της συνάρτησης της δράσης μιας συνάρτησης των αρχικών και τελικών συντεταγμένων και της ενέργειας όπως και της ποσότητας E που είναι το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας.⁴⁸ Ο Rayleigh θα κάνει χρήση της χαμιλτονιανής αρχής και συνεπώς της ποσότητας S ,⁴⁹ που ορίζεται ως

$$S = \int_{t'}^t (T - V) dt$$

και συνδέεται με τη δράση A μέσω της ακόλουθης σχέσης

$$S = \frac{1}{2}A - \int_{t'}^t V dt$$

Θεωρώντας την ποσότητα $t - t'$ σταθερή και με χρήση της S αντί για την με σταθερή την E και μετά από κατάλληλες πράξεις επιβεβαιώνει το συμπέρασμα του Maxwell.

Αυτό λοιπόν που έχει σημασία να τονιστεί εδώ, είναι ότι ο Rayleigh στην αρχική του αντιμετώπιση δεν απαντάει με γενικό τρόπο για την αποδοχή του θεωρήματος, αυτό είναι κάτι που το θεωρεί μια δύσκολη υπόθεση, αλλά αυτό που κάνει είναι να απαντήσει

⁴⁸Για περισσότερα βλ. Thomson & Tait *Treatise on Natural Philosophy* §330. Σε αυτό αναφέρεται στο άρθρο του και ο Maxwell.

⁴⁹Ο τρόπος του βασίζεται κατά αναφορά του ίδιου στο Thomson & Tait *Treatise on Natural Philosophy* §319

σε κριτικές που του φαίνεται να βάζουν με λάθος τρόπο και οπτική το συγκεκριμένο θεώρημα. Ακόμα χρησιμοποιεί ένα παράδειγμα κοινό, με τις μπάλες του μπιλιάρδου, που δείχνει όμως με ένα ξεκάθαρο τρόπο το πως υπάγει την εξήγηση που προσπαθεί να δώσει για το θεώρημα της ισοκατανομής και αντίστοιχα για την εξήγηση του μοριακού επιπέδου ενός αερίου στη μηχανική.

Στο τέλος αυτού του άρθρου του 1892, ο Rayleigh σε μια υποσημείωση γραμμένη το 1901, θα καθοδηγήσει τον αναγνώστη σε μια πιο ολοκληρωμένη πραγμάτευση επί του θέματος που θα κάνει το 1900 στο άρθρο του *The Law of Partition of Kinetic Energy*.

2.7.2 Μια πιο συνολική κριτική

Οι βασικές θέσεις του Rayleigh δεν έχουν αλλάξει στα σημεία που ως τώρα αναφέρθηκαν πάνω στο θεώρημα της ισοκατανομής όταν το 1900 δημοσιεύει το άρθρο του *The Law of Partition of Kinetic Energy*. Προλογίζοντας το, αναφέρεται στην διαμάχη που έχει ξεσπάσει επί του θέματος και κάνει λόγο για τις κριτικές ή ενστάσεις που έχει δεχθεί το άρθρο του 1879 του Maxwell από τους Thomson (Kelvin), Bryan και σε μικρότερο βαθμό από εκείνον και τον Boltzmann, προκρίνοντας ότι αυτές του Thomson είναι οι πιο θεμελιακές. Εδώ θα κάνει μια διάκριση και θα τονίσει ότι αναφέρεται σε ενστάσεις ως προς τη δυναμική και τη στατιστική και όχι στο πως τα αποτελέσματα μπορούν να συμφιλιωθούν με μια κινητική θεωρία της ύλης.

Ο Kelvin, αμφισβητεί την γενικότητα με την οποία τίθεται το θεώρημα, την απόδειξη που προτείνεται και φτάνει στο σημείο να το χαρακτηρίσει ανεξήγητο ("inexplicable")⁵⁰. Για να καταδείξει το λάθος του θεωρήματος εξέτασε μια περίπτωση ως δοκιμασία αποφασιστικού χαρακτήρα για το θεώρημα. Ο Rayleigh ουσιαστικά θα ξεκινήσει από αυτή την περίπτωση και θα καταρρίψει τον ισχυρισμό του Kelvin. Ας τη δούμε λίγο πιο αναλυτικά, με βάση τον τρόπο που την παραθέτει ο Rayleigh:

"Ας θεωρήσουμε ένα σύστημα που αποτελείται από τρία σώματα, A, B, C, που μπορούν να κινηθούν σε μια ευθεία KHL.

-Το σώμα B είναι ένας απλός ταλαντωτής με ένα ελατήριο τόσο σκληρό ώστε όταν έχει

⁵⁰Με βάση ένα απόσπασμα που παρατίθεται από τον Rayleigh στο "The Law of Partition of Kinetic Energy" *Scientific Papers* v. IV σ.433

σχεδόν όλη την ενέργεια του συστήματος να είναι μικρή ή απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας.

- Τα Α και C έχουν ίσες μάζες .

- Στο σώμα C δεν ασκούνται δυνάμεις, πέρα από όταν χτυπάει με το Β ή το L που είναι σταθερό φράγμα.

- Στο Α δεν ασκούνται δυνάμεις, πέρα από όταν χτυπάει με το Β, ή όταν βρίσκεται σε μικρότερη απόσταση από την ΗΚ, όπου δέχεται δύναμη απώθησης από το φράγμα απώθησης Κ, σύμφωνα με κάποιο νόμο ή σταθερή, όταν το Α είναι ανάμεσα στο Κ και το Η, αλλά γίνεται άπειρα μεγάλη όταν το Α φτάσει στο Κ και γίνεται άπειρη πέρα από αυτό.

Υποθέτουμε τα σώματα Α,Β,С να κινούνται πέρα δώθε. Οι συγκρούσεις μεταξύ του Β και των όμοιων σωμάτων Α, С εξισώνουν και διατηρούν ίση τη μέση κινητική ενέργεια του Α αμέσως πριν και μετά τις κρούσεις με αυτή του С. Έτσι όταν οι χρόνοι που το Α βρίσκεται ανάμεσα στο Η και το Κ συμπεριλαμβάνονται στη μέση τιμή, το μέσο άθροισμα της δυναμικής και κινητικής ενέργειας του Α είναι ίσο με τη μέση κινητική ενέργεια του С. Αλλά η δυναμική ενέργεια του Α σε κάθε σημείο του ΗΚ είναι θετική, αφού σύμφωνα με την υπόθεση, η ταχύτητα Α μειώνεται κατά την κίνηση από το Η στο Κ και αυξάνεται από το Κ στο Η. Άρα η μέση κινητική ενέργεια στο Α είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του С".

Ο Rayleigh αναφέρει ότι αυτό κλόνισε την πίστη πολλών ερευνητών στο θεώρημα. Επιπρόσθετα αναφέρει ότι ο Poincaré μελετώντας μια ειδική περίπτωση του προβλήματος του Kelvin έφτασε σε ένα συμπέρασμα που εναρμονίζεται με τον νόμο του Maxwell, ενώ ο Bryan κατέλειξε ότι δεν μπορεί να προκύψει κανένα γενικό συμπέρασμα για την κατανομή της ενέργειας για μεμονωμένο σύστημα, από το νόμο για την κατανομή σε ένα μεγάλο αριθμό συστημάτων. Αρχικά ο Rayleigh θα αναιρέσει το επιχείρημα του Kelvin, υποστηρίζοντας ότι η παραδοχή πάνω στην οποία στηρίζεται ο νόμος του Maxwell (το σύστημα να περάσει από κάθε φάση συμβατή με την συνθήκη για την ενέργεια), αν και δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις, εντούτοις εφαρμόζεται στο πρόβλημα του Kelvin και άρα ο ισχυρισμός του τελευταίου καταρρίπτεται.

Για το δεδομένο πρόβλημα θα εισάγει μια επιπλέον υπόθεση, ότι η απωθητική δύναμη

ασκείται σε ένα στρώμα κοντά στο Η μόνο και μετά κατά την κίνηση μέχρι το Κ δεν υφίσταται δυνάμεις. Θα διακρίνει δυο υποθετικά σενάρια για τη δύναμη F , i) να είναι τόσο ισχυρή ώστε το Η να λειτουργεί ως ακλόνητο φράγμα και ii) να είναι αρκετά ισχυρή ώστε να παράγει το ίδιο αποτέλεσμα εκτός από την περίπτωση όπου το Α φτάνει σχεδόν με όλη την ενέργεια του συστήματος. Τότε περνάει προς το Κ, κινείται αργά, επιστρέφει στο Η, όμως ο συνολικός χρόνος που βρίσκεται ανάμεσα στο Η και το Κ δεν είναι μικρός. Στις δυο αυτές περιπτώσεις η υπόθεση του Kelvin ζητά η μέση ολική ενέργεια να είναι ίδια, κάτι όμως που δεν ισχύει, απεναντίας στην περίπτωση (ii) η μέση ολική είναι μεγαλύτερη από ότι στην (i), αφήνοντας το περιθώριο για μέσες ίσες κινητικές.

Στη συνέχεια θα αναφερθεί σε ένα άλλο πρόβλημα που τέθηκε από τον Kelvin, για ένα σωματίδιο που κινείται σε δυο διαστάσεις -όπως η μπάλα μπιλιάρδου- και με την ύπαρξη δυναμικής ενέργειας. Μια απάντηση, ικανοποιητική για αυτό είχε δοθεί από τον Boltzmann, ο Rayleigh όμως θέλει να αντιμετωπίσει το ζήτημα από γενική αφετηρία, και όχι με τη στενότητα ενός συγκεκριμένου παραδείγματος. Θα ξεκινήσει πάλι από την αναλυτική του Lagrange και τη χαμιλτονιανή αρχή και με μεθοδικά βήματα που θα επαναλάβουμε κάπως πιο σύντομα εδώ θα επιβεβαιώσει τον ισχυρισμό του Maxwell.

Η θέση ενός σώματος σε καρτεσιανές συντεταγμένες για δυο διαστάσεις είναι (x, y) σε χρόνο t και για ένα προγενέστερο χρόνο t' είναι (x', y') . Αντίστοιχα οι συνιστώσες της ταχύτητας είναι (u, v) και (u', v') . Έτσι οι δυο φάσεις σε χρόνους t και t' είναι (x, y, u, v) και (x', y', u', v') . Έτσι:

$$S = \int_{t'}^t (T - V) dt$$

με $T = \frac{1}{2}u^2 + \frac{1}{2}v^2$ την κινητική ενέργεια και V τη δυναμική. Προκύπτει λοιπόν

$$\delta S = \int_{t'}^t (\delta T - \delta V) dt \Rightarrow$$

$$\delta S = u\delta x + v\delta y - u'\delta x' + v'\delta y'$$

που είναι ισοδύναμη με τις σχέσεις

$$u' = \frac{-dS}{dx'}, \quad u = \frac{dS}{dx}$$

$$v' = \frac{-dS}{dy'}, \quad v = \frac{dS}{dy}$$

Αν τώρα υποθέσουμε ότι όχι μόνο ένα αλλά τεράστιο πλήθος από όμοια σωματίδια που κινούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο κάτω από τη συνθήκη V και κατανέμονται στην t σε όλες τις πιθανές φάσεις (x, y, u, v) . Η γενική μορφή για τον νόμο της κατανομής θα ήταν

$$f(x, y, u, v) dx dy du dv$$

και ο αριθμός των σωματιδίων ανά εύρος φάσης θα προέκυπτε με την αντίστοιχη ολοκλήρωση. Μια τέτοια κατανομή θα ήταν στη γενική περίπτωση ασταθής, λόγω των φυσικών κινήσεων των σωματιδίων. Το ερώτημα είναι ποιες κατανομές είναι σταθερές. Η γενικότητα της συνάρτησης κατανομής περιορίζεται από το πέρασμα του σωματιδίου από τη μια φάση στην άλλη. Για να το εξηγήσει δίνει μια σειρά από παραδείγματα και μελετά την περίπτωση της κίνησης σε μια διάσταση ώστε να γίνει πιο εύκολα κατανοητός. Ακολουθώντας τα ίδια βήματα έχουμε:

Ένα σώμα κινείται σε μια ευθεία. Την t η φάση είναι (x, u) και σε ένα προγενέστερο χρόνο οι αντίστοιχες εκφράσεις με τονούμενες μεταβλητές. Η δυναμική ενέργεια υποτίθεται να μεταβάλλεται με γνωστό τρόπο. Ο αριθμός των σωματιδίων τη στιγμή t στο όριο της φάσης $dx du$ είναι $f(x, u) dx du$ και το ερώτημα πότε η κατανομή είναι σταθερή γίνεται πότε είναι ίδια για την t' με αυτή για t . Ισχύει όμως

$$dx du = dx dx' \frac{du}{dx'}$$

$$dx' du' = dx' dx \frac{du'}{dx}$$

Τα δεύτερα μέλη είναι και τα δυο ίσα με $d^2 S / dx dx'$ και άρα

$$dx du = dx' du'$$

Εαν επιπλέον υποτεθεί η ενέργεια E σταθερή, τότε από τα δυο τελευταία προκύπτει η μόνη σταθερή κατανομή είναι η $f(E) dx du$ με την f αυθαίρετη συνάρτηση. Η μόνη προϋπόθεση που έχει τεθεί είναι αυτή που έχει θέσει και ο Maxwell. Τότε για να είναι σταθερή η κατανομή πρέπει να είναι όπως είναι η τελική μορφή και αυτό είναι ικανή και αναγκαία συνθήκη. Επιστρέφει έτσι στο πρόβλημα των δυο διαστάσεων και εύκολα τώρα

φτάνει στο αντίστοιχο συμπέρασμα. Αυτή η κατανομή καταλήγει στο θεώρημα της ισοκατανομής πάνω στη βάση της συμμετρίας. Όσο για την προϋπόθεση, την παραδοχή που κάνει ο Maxwell, αυτή παραβιάζεται κατά τον Rayleigh από συγκεκριμένες περιπτώσεις στις οποίες έχει ήδη αναφερθεί στο άρθρο που περιγράψαμε στην προηγούμενη υποπαράγραφο.

Η όλη μελέτη έγινε όπως θα τονίσει ο Rayleigh για *ένα μεγάλο αριθμό σωματιδίων σε μια δεδομένη χρονική στιγμή*. Όμως πιστεύει ότι μπορεί κρατώντας μόνο την ίδια παραδοχή του Maxwell να επεκταθεί και για την περίπτωση του *ενός συστήματος για μέσο χρόνο*. Υπό αυτό το πρίσμα αντιμετωπίζει το θεώρημα της ισοκατανομής, όπως είδαμε και νωρίτερα, ο Kelvin σε μια σειρά από προβλήματα που θέτει.

Όσον αφορά το κατά πόσο μπορεί η κινητική ενέργεια να αναχθεί σε ένα άθροισμα τετραγώνων όρων που περιέχουν συνιστώσες της ορμής, ο Rayleigh θα διαφωνήσει και με την προσέγγιση του Boltzmann που σε αυτό το σημείο διαφοροποιείται από τον Maxwell, επαναλαμβάνοντας τα ίδια επιχειρήματα με αυτά που είχε χρησιμοποιήσει και στην απάντηση του στον Bryan, το 1892, μόνο που τώρα το κάνει αναλυτικότερα.

Εαν αυτό εφαρμοστεί στα αέρια, και θεωρώντας ότι κάθε μόριο έχει κάποιους βαθμούς ελευθερίας, το όλο σύστημα είναι αυτό που θεωρείται ότι είναι σε μια δεδομένη διαμόρφωση και άρα η κατανομή της ταχύτητας είναι για όλα τα μόρια σε όλα τα συστήματα. Για να εφαρμόζεται η ίδια στατιστική και για όλα τα μόρια ενός συστήματος, πρέπει κανείς να δεχθεί ότι η στατιστική για όλα τα συστήματα είναι ίδια, για δεδομένη διαμόρφωση. Αν η διαμόρφωση αλλάξει, θα υπάρξει αλλαγή της δυναμικής ενέργειας και αντίστοιχα της κινητικής που κατανέμεται στους βαθμούς ελευθερίας. Στην περίπτωση ενός αερίου, η δυναμική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί σταθερή και έτσι μπορεί να δεχθεί κανείς την ίδια κατανομή για κάθε διαμόρφωση.

Κλείνοντας θα αναφερθεί σε δυο άλλα σημεία που αφορούν την κινητική θεωρία της ύλης. Χωρίς να διεκδικεί κάποια απόλυτη αλήθεια για τις απόψεις του, θα κάνει δυο επισημάνσεις. Η πρώτη από αυτές αφορά το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής. Θα πει πως αυτός είναι σε δύσκολη θέση και αυτό συνίσταται στην έννοια της αντιστρεψιμότητας. Το πρόβλημα προκύπτει γιατί η δυναμική αντιμετώπιση ενός συστήματος και οι εξισώσεις Lagrange επιτρέπουν την αντιστροφή της χρονικής παραμέτρου. Το δεύτερο από

αυτά είναι το θέμα των ειδικών θερμοτήτων. Η διαφορά που προκύπτει ανάμεσα στην θεωρητική πρόβλεψη με βάση το θεώρημα της ισοκατανομής από τη μια και τα πειραματικά αποτελέσματα από την άλλη είναι πολύ σημαντική και για την οποία δεν υπάρχει κάποια εμφανής διέξοδος. Θα πει όμως ότι αυτό δεν είναι πρόβλημα που αντιμετωπίζεται μόνο εντός της θεωρίας των αερίων αλλά είναι πολύ πιο θεμελιακού χαρακτήρα και έγκειται στη γενική δυναμική. Το θεώρημα της ισοκατανομής της κινητικής ενέργειας αγνοεί τη δυναμική ενέργεια. Όσο μεγάλη και να είναι η ενέργεια που απαιτείται για να αλλάξει την απόσταση δυο ατόμων σε ένα διατομικό μόριο, δεν μπορεί να θεωρηθεί ποτέ συμπαγές και η κινητική παραμένει ίδια με την περίπτωση όπου τα άτομα συνδέονται με πολύ πιο χαλαρές δυνάμεις. Δυο άτομα, άρα έξι βαθμοί ελευθερίας και στις δυο περιπτώσεις. Αυτή η καταστροφική απλότητα του γενικού συμπεράσματος του θεωρήματος της ισοκατανομής είναι που προβληματίζει τον Rayleigh, όπως χαρακτηριστικά θα τονίσει ο ίδιος. Μια διαφυγή που προτείνει χωρίς όμως να εξετάζει περισσότερο είναι να εφαρμόζεται η πρόταση του Maxwell σε συστήματα με τεράστιο αριθμό βαθμών ελευθερίας.

Σε κάθε περίπτωση η βασική θέση του Rayleigh είναι ότι το θεώρημα του Maxwell, όπως αυτό εκφράζεται το 1879 δεν περιέχει λογικό λάθος. Με δεδομένη την αρχική παραδοχή, το συμπέρασμα είναι συνεπές. Ο Maxwell αντιμετώπισε το αέριο ως ένα μόνο δυναμικό σύστημα, χωρίς να υποθέτει κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο ή μηχανισμό αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα μόρια και εφαρμόζοντας τις αρχές της αναλυτικής δυναμικής έφτασε στο συμπέρασμα. Το ίδιο μεθοδολογικά, αν και με ελαφρώς άλλο τρόπο, πάλι όμως σε γενικό επίπεδο και με χρήση της αναλυτικής δυναμικής έκανε και ο Rayleigh και επιβεβαίωσε το ίδιο συμπέρασμα. Με αντίστοιχο τρόπο στις επιμέρους περιπτώσεις, κατέρριψε αντιτιθέμενους ισχυρισμούς με βασικότερες περιπτώσεις αυτές των προβλημάτων που έθεσε ο Kelvin. Το θεώρημα της ισοκατανομής προκύπτει από τους νόμους της δυναμικής και συνεπώς αν υπάρχει πρόβλημα τίθεται σε αυτό το επίπεδο.

Πέρα από αυτά που ως εδώ έχουμε αναφέρει την εποχή εκείνη το θεώρημα ισοκατανομής ερχόταν σε αντίφαση και με τις παρατηρήσεις που προέκυπταν από τη φασματοσκοπία, και επίσης στην περίπτωση της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος. Με αυτά ασχολήθηκε σε μεγάλο βαθμό και ο Rayleigh και σε αυτό θα εστιάσουμε στη συνέχεια,

προσπαθώντας όχι τόσο να αναπαράγουμε εδώ πλήρως το έργο του, αλλά να δούμε πως στέκεται σε αυτά απέναντι στο θεώρημα της ισοκατανομής και στα ερωτήματα που με βάση αυτό ανακύπτουν.

2.8 Φασματοσκοπία και θεώρημα ισοκατανομής

Η προέλευση και η φύση των φασματικών γραμμών είχε μια βασική ερμηνεία στα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα. Προέρχονταν από τις κινήσεις των μορίων ή των ατόμων. Αυτές οι κινήσεις μεταφέρονταν στον αιθέρα ως δονήσεις συγκεκριμένων μηκών κύματος και αυτός ήταν ο μηχανισμός παραγωγής των φασματικών γραμμών. Η φασματοσκοπία ήταν έτσι ένας τρόπος να φτάσει κανείς σε μια περαιτέρω γνώση για την εσωτερική δομή της ύλης, και αυτό σταδιακά έγινε κοινός τόπος για τους ερευνητές της εποχής. Τις τρεις τελευταίες δεκαετίες του αιώνα, οι θεωρητικοί προσπαθούσαν να κατασκευάσουν δυναμικά, μοριακά ή ατομικά μοντέλα για να ερμηνεύσουν τα φάσματα στοιχείων και χημικών ενώσεων.⁵¹

Ο Maxwell πρότεινε ότι κατά τη διάρκεια των συγκρούσεων τα μόρια ταλαντώνονται με πλάτος που εξαρτάται από τη σύγκρουση αλλά με συχνότητα που εξαρτάται από την εσωτερική δομή του μορίου. Οι φωτεινές γραμμές των αερίων αντιπροσωπεύουν τη διαταραχή που διαδίδεται στο φωτοφόρο μέσο μέσω της ταλάντωσης των μορίων, τα οποία ταλαντώνονται σε κανονικό και περιοδικό τρόπο κατά τη διάρκεια της ελεύθερης μέσης διαδρομής. Θα απορρίψει με βάση αυτές τις φωτεινές γραμμές την εκδοχή να ταλαντώνονται για λίγο χρόνο, αφού εάν συνέβαινε κάτι τέτοιο, η εικόνα του φάσματος θα περιελάμβανε και το αποτέλεσμα άλλων κινήσεων κατά την έναρξη ή το σταμάτημα των μορίων αντίστοιχα.⁵² Με βάση αυτό το σκεπτικό και από την εικόνα των φασμάτων καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ταλαντώνονται με κανονικό τρόπο κατά την ελεύθερη διαδρομή. Ο Boltzmann εκφράζοντας μια παραλλαγή, θα υποστηρίξει πως η ταλάντωση των μορίων γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια των συγκρούσεων και όχι στη διάρκεια της ελεύθερης διαδρομής. Η ταλάντωση αυτή μεταδίδεται και πάλι στον αιθέρα.

⁵¹Για περισσότερα πάνω στη φασματοσκοπία ειδικά στη Βρετανία τον δέκατο ένατο αιώνα βλ. (Garber E. 1978)

⁵²Για το μοντέλο του Maxwell βλ. (Maxwell J.C. 1871) και (Maxwell J.C. 1871) σ. 482-483

Ο Maxwell θα κάνει και μια αναλογία με μια καμπάνα που χτυπά. Το ταλαντούμενο μόριο είναι η καμπάνα και όταν χτυπά, η καμπάνα τίθεται σε κίνηση που είναι σύνθεση πολλών διαφορετικών αρμονικών ταλαντώσεων διαφορετικών περιόδων, που όταν επιδρούν στον αέρα παράγουν διαφορετικές νότες. Οι ταλαντώσεις φθίνουν συνεχώς και τελικά μένει μόνο η βασική νότα της καμπάνας. Η αναλογία είναι και πάλι καθαρά μηχανική και αρκετά διαφωτιστική για τον τρόπο προσέγγισης του Maxwell. Μέσω αυτού του παραδείγματος περιγράφει πως εάν υποτεθεί ένα σύνολο από πολλές όμοιες καμπάνες, και χτυπηθούν διαδοχικά, με ένα ακανόνιστο τρόπο, με ίδιο αριθμό χτυπημάτων ανά δευτερόλεπτο και χωρίς να χτυπηθεί ξανά μια καμπάνα έως ότου σταματήσει, το αποτέλεσμα θα είναι ένας συνεχής ήχος, σύνθεση ταλαντώσεων όλων των δυνατών καταστάσεων. Κατά αντιστοιχία θα προέκυπτε ένα συνεχές φάσμα από ένα αέριο.⁵³

Ενα άλλο μοντέλο ήταν αυτό που είχε προταθεί από Helmholtz στην αρχική του μορφή και είχε αναπτυχθεί και από τον Kelvin ως το μοντέλο των ατόμων - στροβίλων. Μια θεωρία της ύλης βασίστηκε έτσι σε μια περιστροφική κίνηση μέσα σε ένα συνεχή αιθέρα.⁵⁴ Τέτοια μοντέλα όμως ερχόντουσαν σε αντίφαση με το θεώρημα της ισοκατανομής. Για να μπορούσαν να αναπαραχθούν αυτές οι φασματικές εικόνες, προϋποθέτονται μόρια, πολύ πιο σύνθετα που μπορούσαν να δώσουν αντίστοιχες ταλαντώσεις ενώ το θεώρημα της ισοκατανομής επέτρεπε πολύ λιγότερους βαθμούς ελευθερίας.

Αυτή η αντίφαση με το θεώρημα της ισοκατανομής ήταν ιδιαίτερα εμφανής και στην ακτινοβολία που εκπεμπόταν από ένα μέλαν σώμα, ένα θέμα που απασχόλησε τον Rayleigh και ήταν κρίσιμο για τη μηχανοκρατική εξήγηση, και για το οποίο ο Planck έδωσε μια διαφορετική ερμηνεία η οποία συνδέθηκε με την κβάντωση της ενέργειας, μια βαθιά εννοιολογική αλλαγή για τη φυσική που σηματοδότησε τη ρήξη με το προηγούμενο εννοιολογικό πλαίσιο και τη μηχανοκρατία και τις αρχές της κβαντικής μηχανικής, η οποία μαζί με τη θεωρία της σχετικότητας άλλαξαν την εικόνα της φυσικής και του κόσμου στις αρχές του 20ου αιώνα. Σύμφωνα με τον Kuhn, που δίνει μια διαφορετική προσέγγιση του έργου του Planck, στα πρώτα βήματα της εξήγησης του για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος η προσέγγιση του παραμένει πιο πολύ συνεχής και δεν εισάγει

⁵³Το παράδειγμα της καμπάνας δίνεται στο άρθρο του (Maxwell J.C. 1871) σ. 483-484

⁵⁴Για το μοντέλο του Thomson για τον αιθέρα έχουμε ήδη αναφερθεί στο πρώτο κεφάλαιο. Για περισσότερα για το μοντέλο των ατόμων - στροβίλων βλ. (Harman P. [1982] 1994) σ.125-126

την έννοια της ασυνέχειας, της κβάντωσης, με αυστηρό και διαφορετικά εννοιολογικό τρόπο. Τα 'στοιχεία ενέργειας' του Planck δεν φέρουν εγγενώς την ασυνέχεια, όπως θα υποστηρίξει. Με την κουνιανή ορολογία του αυτό το "gestalt switch" θα είναι λίγα χρόνια αργότερα όταν θα αλλάξει και η ορολογία του από 'στοιχείο ενέργειας' σε 'κβάντο ενέργειας'.⁵⁵⁵⁶ Όμως πέρα από την εξήγηση του Planck, το κοσμοείδωλο της μηχανοκρατίας δεχόταν επίσης προκλήσεις, το θεώρημα ισοκατανομής ήταν μια από αυτές και αυτό είναι που κυρίως θα εξετάσουμε εδώ, και πιο συγκεκριμένα τη στάση του Rayleigh τόσο στο επίπεδο της έρευνας και συνολικά του έργου του όσο και αντίστοιχα στην οπτική του πάνω στο θέμα.

2.9 Ο Rayleigh για το μέλαν σώμα

2.9.1 Οι εξελίξεις στο τέλος του αιώνα στη μελέτη του μέλανος σώματος

Ο όρος μέλαν σώμα (black body) αποδίδεται ουσιαστικά στον Kirchhoff,⁵⁷ και περιγράφει ένα σώμα το οποίο απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του. Το 1859⁵⁸ ο Kirchhoff διατυπώνει ένα θεώρημα που αργότερα θα ονομαστεί νόμος του Kirchhoff, σύμφωνα με τον οποίο "για ακτίνες του ίδιου μήκους κύματος, και για την ίδια θερμοκρασία, ο λόγος της εκπεμπόμενης ισχύος προς την απορροφητικότητα είναι ο ίδιος για όλα τα σώματα".

Για να το αποδείξει υπολόγισε τις συνθήκες ισορροπίας για την ανταλλαγή της ακτινοβολίας, μεταξύ δυο άπειρων επιπέδων πλακών, που απορροφούσαν και εξέπεμπαν ακτινοβολία που ήταν αντιστρόφως και των οποίων οι εξωτερικές επιφάνειες καλύπτονταν από ιδανικούς ανακλαστήρες. Ένα χρόνο αργότερα προχώρησε σε μια άλλη απόδειξη βασι-

⁵⁵Για τη θέση του Kuhn στην προσέγγιση του Planck βλ. (Kuhn 1978) και ακόμα Darrigol O. (1992) σ. 66-78.

⁵⁶Την αλλαγή ορολογίας τη βλέπει και στους όρους 'resonator' και 'oscillator' και αναφέρονται εδώ κάπως σχηματικά. Στο βιβλίο αναλύεται με πλήρες τρόπο το σκεπτικό που οδηγεί μέσα από τη μελέτη του έργου του Planck στη δεδομένη ερμηνεία ότι ήταν βασισμένη η εξήγηση του στους νόμους του Maxwell, ακόμα συνεχής και 'κλασική'.

⁵⁷Εισάγει τον όρο με τη σύγχρονη έννοια του, αν και ο όρος είχε χρησιμοποιηθεί και από τον Νεύτωνα, χωρίς να είναι τεχνικός όρος βλ. (Jammer M. 1966) σ. 4

⁵⁸Στο άρθρο του "On the relation between emission and absorption of light and heat"

ζόμενος περισσότερο στην αναλυτική μέθοδο. Ταυτόχρονα με τον Kirchhoff, ο Stewart έφτασε με ανεξάρτητο τρόπο - αν και οι δυο βασίζονταν στην θεωρία του Prévost - στην επιβεβαίωση αυτού του νόμου, ακολουθώντας τον πειραματικό δρόμο. Ο Kirchhoff θα διατυπώσει και την πρόταση ότι η ακτινοβολία από μια μικρή οπή σε μια κοιλότητα σε μια θερμοκρασία είναι ίδιας ποιότητας και έντασης με εκείνη που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα ίδιας θερμοκρασίας (cavity theorem).

Το 1879 ο Stefan έφτασε πειραματικά στη διαπίστωση ότι η ολική ακτινοβολία για ένα μέλαν σώμα είναι ανάλογη της τέταρτης δύναμης της θερμοκρασίας, ενώ το 1884 ο Boltzmann βασιζόμενος στη θερμοδυναμική και στους νόμους του Maxwell θα προτείνει τη θεωρητική απόδειξη για αυτό στο οποίο είχε καταλήξει ο Stefan, επιβεβαιώνοντας παράλληλα την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του φωτός του Maxwell. Ούτε ο νόμος του Stefan, ούτε η απόδειξη του Boltzmann έδωσε σημασία στη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας. Από την άλλη ένα νοητικό πείραμα του Boltzmann με ένα κινούμενο έμβολο σε αδιαβατική εκτόνωση, περιλαμβάνει την αλλαγή της κατανομής με βάση το φαινόμενο Doppler.⁵⁹ Πάνω στην ίδια βάση ο Wien, το 1894 θα μελετήσει αναλυτικότερα το φαινόμενο και χρησιμοποιώντας το φαινόμενο Doppler και θερμοδυναμικά επιχειρήματα θα καταλήξει στο νόμο του, τον νόμο μετατόπισης του Wien⁶⁰

$$u_\nu = \nu^3 f(\nu/\theta)$$

όπου u_ν η φασματική κατανομή πυκνότητας της ενέργειας, ν η συχνότητα και θ η θερμοκρασία. Η ισοδύναμη μορφή της είναι

$$Ed\lambda = \theta^5 \phi(\theta\lambda)d\lambda$$

Ο νόμος του Wien επέτρεπε την εξαγωγή του φάσματος για ένα μέλαν σώμα σε κάποια θερμοκρασία, αν ήταν γνωστό σε κάποια άλλη θερμοκρασία. Ο νόμος του Wien επιβεβαιώθηκε πειραματικά από τον Paschen, με πειράματα στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος από 1 έως 8 μm σε θερμοκρασίες 400-1600 K⁶¹ Το 1900 οι Lummer και Pringsheim επέκτειναν την περιοχή των μετρήσεων ως τα 18 μm και οι Rubens και

⁵⁹(Jammer M. 1966) σ.8 και επίσης Darrigol O. (1992) σ. 27

⁶⁰Για την αναλυτική απόδειξη που κρίνεται ότι μπορεί να παραληφθεί εδώ βλ. (Darrigol O. 1992) σ. 26-29

⁶¹Serway R., Moses C., Moyer C. ([1989 2001) σ.53

Kurlbaum ως τα 60μm. Τα πειραματικά τους δεδομένα ήρθαν σε αντίφαση με το νόμο του Wien. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο Planck που κατέληξε στον ίδιο νόμο, με χρήση της θεωρίας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επιβεβαιώνοντας τον Wien ξεκινά το άρθρο του που δημοσιεύεται το 1901⁶² αναφερόμενος σε αυτές τις πειραματικές παρατηρήσεις που καθιστούν μη γενικά ισχύον το νόμο του Wien και ως εκ τούτου θέτει ως στόχο του επέμβει διορθώνοντας τη θεωρία. Η αδρή αυτή περιγραφή πέρα από το ιστορικό ενδιαφέρον που αυτοτελώς έχει, τίθεται εδώ ώστε να γίνει κατανοητή η προσέγγιση του Rayleigh που ακολουθεί.

2.9.2 Εισαγωγικές παρατηρήσεις και ο νόμος Rayleigh - Jeans

Το 1900 ο Rayleigh θα κάνει κάποιες αρχικές παρατηρήσεις για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος.⁶³ Εκκινεί ουσιαστικά από τον νόμο του Wien - Boltzmann και από την τελευταία μορφή στην οποία εκείνος είχε καταλήξει:

$$Ed\lambda = c_1\lambda^{-5}e^{-c_2/\lambda\theta}d\lambda$$

και επισημαίνει ότι από θεωρητική πλευρά του φαίνεται σχεδόν εικασία, ενώ όσον αφορά το πείραμα αναφέρει τόσο την επιβεβαίωση από τον Paschen όσο και τις παρατηρήσεις του Rubens που έρχονταν σε αντίφαση, όπως είδαμε, με τον νόμο του Wien για μετρήσεις στα 60μm και για θερμοκρασίες πάνω από 1000 K. Καταλήγει όμως ότι αυτό που θα έχει καθοριστικό χαρακτήρα για την απάντηση είναι το πείραμα. Παρόλο όμως που αναγνωρίζει ότι το πείραμα είναι το κομβικό, θα επιχειρήσει κάποια σχόλια, *a priori* όπως θα πει, βλέποντας που οδηγείται αν ξεκινήσει με την παραδοχή του θεωρήματος ισοκατανομής. Την ίδια ώρα θα αναφερθεί στις δυσκολίες που προκύπτουν καθώς και στην κριτική που γίνεται συνακόλουθα, αν εφαρμοστεί το θεώρημα της ισοκατανομής. Θα αναφέρει ότι το θεώρημα για κάποιο, μη εξηγήσιμο ακόμα, λόγο αποτυγχάνει σε μια γενική εφαρμογή αλλά μπορεί να εφαρμοστεί για τους "graver modes" όπως θα τους πει και εννοεί για μεγάλες τιμές του μήκους κύματος.

Θα εφαρμόσει έτσι το θεώρημα ισοκατανομής στις ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις για την ακτινοβολία κοιλότητας (cavity radiation) και θα οδηγηθεί σε ένα διαφορετικό

⁶²(Planck M.1901)

⁶³Στο άρθρο του "Remarks upon the Law of Complete Radiation" *Scientific Papers* v. IV

αποτέλεσμα από αυτό του Wien. Είχε ήδη ασχοληθεί λίγα χρόνια πριν με ένα παρόμοιο πρόβλημα για τις ακουστικές ταλαντώσεις.⁶⁴ Θα υπολογίσει δηλαδή, τον αριθμό των τρόπων ελεύθερης ηλεκτρομαγνητικής ταλάντωσης ανά μονάδα όγκου στην κοιλότητα και ανά μονάδα εύρους για το μήκος κύματος. Ο τελικός τύπος, για μεγάλη τιμή του $\lambda\theta$ που θα καταλήξει σε αυτό το σημείο είναι ο ακόλουθος:

$$Ed\lambda = c_1\theta\lambda^{-4}e^{-c_2/\lambda\theta}d\lambda$$

Κλείνοντας το άρθρο θα πει πως δεν γνωρίζει αν αυτός ο τύπος, που ουσιαστικά προτείνει την αντικατάσταση του παράγοντα λ^{-5} με εκείνον $\lambda^{-4}\theta$ αναπαριστά τις πειραματικές παρατηρήσεις και αναμένει την απάντηση από τους πειραματικούς σύντομα. Το 1902 θα κάνει μια υποσημείωση στο αντίστοιχο άρθρο, παρατηρώντας ότι ήθελε να τονίσει την καταλληλότητα του τύπου που είχε καταλήξει για μεγάλα $\lambda\theta$ και επίσης ότι ο Planck είχε προτείνει εκείνη την εποχή μια φόρμουλα που συναντά τα πειραματικά δεδομένα, την οποία και αναφέρει.⁶⁵

Λίγα χρόνια αργότερα θα επανέλθει στο ίδιο θέμα με μια πιο αναλυτική επεξεργασία. Θα εστιάσει πάλι στις δυσκολίες που προκύπτουν από την εφαρμογή του θεώρηματος της ισοκατανομής τόσο στον προσδιορισμό του λόγου των ειδικών θερμοτήτων όσο και στην ακτινοβολία του μέλανος σώματος. Θα αναφερθεί στις εργασίες του Jeans και την πρόταση του ότι σε ένα αέριο, τα μόρια του οποίου ακτινοβολούν σε ένα κενό χώρο σε μια σχεδόν σταθερή κατάσταση, η ενέργεια για τους ταλαντωτικούς τρόπους μπορεί να είναι ένα πολύ μικρό μέρος της ενέργειας που αντιστοιχεί στη μεταφορική και την περιστροφική κίνηση. Ενώ μια τέτοια προσέγγιση είχε απασχολήσει και εκείνον, θα φέρει ένα παράδειγμα, όχι ενός αερίου που ακτινοβολεί αλλά ενός περιφραγμένου σε μια κοιλότητα. Θα έπρεπε τότε να προκύψουν άπειροι νέοι τρόποι ταλάντωσης για τον αιθέρα, και σύμφωνα με το θεώρημα της ισοκατανομής καθένας από αυτούς να είχε ίσο μερίδιο από τη συνολική ενέργεια. Όμως η ενέργεια που αντιστοιχεί στις ταλαντώσεις του αιθέρα, δεν είναι άπειρη, ή αναλογική με τη θερμοκρασία και άρα αυτό έρχεται σε αντίφαση με το θεώρημα της ισοκατανομής. Θα συνεχίσει έτσι ότι μια λύση σε αυτό το πρόβλημα θα απαντούσε ίσως και εκείνο των ειδικών θερμοτήτων. Θα σχολιάσει επί-

⁶⁴ Στο *The Theory of Sound* κεφ. 13. Βλ. και (Jammer M.1966) σ. 15-17

⁶⁵ Βλ. "Remarks upon the Law of Complete Radiation" *Scientific Papers* v. IV σ.485

σης την άποψη του Jeans⁶⁶ ότι μπορεί η ισοκατανομή να χρειάζεται κάποιο χρόνο για να αποκατασταθεί. Θα πει ότι αυτό μπορεί να είναι μια απάντηση για το λόγο ειδικών θερμοτήτων, αλλά αυτό που εκεί που πιστεύει ότι γίνεται πιο δύσκολο είναι σε ότι έχει να κάνει με τις ταλαντώσεις του αιθέρα.

Ας δούμε το επιχείρημα πιο αναλυτικά, ακολουθώντας τα βήματα του, αφού και εκείνος επιλέγει να ξεκινήσει από τη ταλάντωση μιας ελαστικής χορδής.⁶⁷ Μελετάει αρχικά τους τρόπους ταλάντωσης μιας ελαστικής χορδής, βρίσκοντας τις συχνότητες για τα στάσιμα κύματα,⁶⁸ τις αρμονικές, για δεδομένο αριθμό υποδιαιρέσεων της χορδής $\xi = 1, 2, 3, \dots$. Βασισμένος στο πως είναι ο τρόπος μετάβασης από την μια αρμονική στην άλλη και στο θεώρημα της ισοκατανομής καταλήγει σε ένα τύπο για την κατά μήκος(γραμμική) πυκνότητα κινητικής ενέργειας, και με διπλασιασμό αυτής μπορεί να προκύψει και η ολική. Διευρύνοντας τη μελέτη από το ένα επίπεδο στις τρεις διαστάσεις και επεκτείνοντας την ίδια συλλογιστική μπορεί κανείς να υπολογίσει τους τρόπους ταλάντωσης για ένα μικρό κύβο και αντίστοιχα να καταλήξει σε ένα τύπο για την πυκνότητα ενέργειας ανά μονάδα όγκου για το διάστημα από λ έως $\lambda + d\lambda$. Καταλήγει έτσι στον ακόλουθο τύπο

$$Ed\lambda = 128\pi e\lambda^{-4}d\lambda$$

όπου e η κινητική ενέργεια που αντιστοιχεί σε κάθε τρόπο ταλάντωσης και η οποία είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας θ . Πέρα από την σταθερά, αυτός είναι η μορφή στην οποία είχε καταλήξει το 1900, κάτι το οποίο θα επισημάνει και ο ίδιος. Αν τώρα αυτό εφαρμοστεί σε ένα μέσο χωρίς δομή όπως είναι ο αιθέρας, οι υποδιαιρέσεις για αυτό το μέσο θα είναι άπειρες και συνεπώς η ενέργεια θα πρέπει να απειρίζεται (ενώ αν ήταν υλικό μέσο η ατομική θεωρία θα έδινε ένα τελικό όριο υποδιαίρεσης).

Στο ίδιο άρθρο θα αναφέρει την εργασία του Planck πάνω στο θέμα και τον τελικό τύπο που εκείνη καταλήγει λέγοντας ότι συμφωνεί με τα πειραματικά δεδομένα και τονίζο-

⁶⁶Η άποψη αυτή είχε διατυπωθεί παλαιότερα από τον Boltzmann ενώ ο Jeans τη μελέτησε συστηματικά λίγα χρόνια αργότερα.

⁶⁷Βλ. Rayleigh "The Dynamical Theory of Gases and of Radiation" *Scientific Papers* v. V

⁶⁸Για δεδομένο μήκος χορδής η συνθήκη για δημιουργία στάσιμων είναι $L = \xi\lambda/2$ και με $\xi = 1, 2, 3, \dots$ προκύπτουν οι συχνότητες των στάσιμων.

ντας ότι για μεγάλες τιμές του λ ανάγεται στη μορφή

$$Ed\lambda = 8\pi k\theta\lambda^{-4}d\lambda$$

σε συμφωνία με ότι έχει καταλήξει και ο ίδιος. Θα τονίσει ότι ενώ είναι πολύ ενδιαφέρον θα συγκριθούν οι δυο διαδικασίες, εκείνος είναι πολύ δύσκολο να κάνει κάτι τέτοιο καθώς δεν μπορεί να ακολουθήσει τα επιχειρήματα στη μέθοδο του Planck.⁶⁹ Θα συνεχίσει όμως λέγοντας ότι ο τύπος στον οποίο έχει καταλήξει, του φαίνεται να προκύπτει άμεσα αν κανείς κάνει την παραδοχή του θεωρήματος της ισοκατανομής και πως είναι εξαιρετικά περίεργο πως η μέθοδος του Planck που επίσης βασίζεται στις ιδέες του Boltzmann οδηγεί σε διαφορετικό αποτέλεσμα. Θα αναφερθεί επίσης και στη διόρθωση ενός παράγοντα του τύπου του από τον Jeans.⁷⁰

Κλείνοντας και αναζητώντας κάποιο συμπέρασμα, θα φτάσει στην κρίση ότι πρέπει μάλλον να παραδεχθούμε τη αποτυχία του θεωρήματος της ισοκατανομής σε εξαιρετικές περιπτώσεις και πως αν όντως είναι έτσι τα πράγματα είναι κομβικής σημασίας να βρεθεί ο λόγος αυτής της αποτυχίας, επαναλαμβάνοντας αυτό που σε παλιότερο άρθρο είχε πει και το οποίο του φαινόταν ένα δύσκολο σημείο ότι το θεώρημα της ισοκατανομής αγνοεί τη δυναμική ενέργεια. Μια υποσημείωση του 1911 θα αναφέρει τη συμβολή και άλλων ερευνητών όπως του Einstein, του Larmor και του Lorentz και θα επαναλάβει ότι το θεωρεί ένα ανοιχτό ζήτημα.

Η προσέγγιση του Rayleigh στην ακτινοβολία του μέλανος σώματος έγινε εστιάζοντας την προσοχή του απευθείας στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα της κοιλότητας. Υπέθεσε ότι ένα στάσιμο πολωμένο ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι ισοδύναμο με ένα μονοδιάστατο ταλαντωτή. Βασιζόμενος στις αρχές της μηχανικής και το θεώρημα της ισοκατανομής, έφτασε στο νόμο Rayleigh - Jeans, το μοναδικό νόμο που θα μπορούσε να φτάσει κανείς με συνέπεια αν ξεκινούσε με τις ίδιες παραδοχές. Ο Lorentz ήταν αυτός που έδειξε ότι αν κανείς ξεκινήσει με το θεώρημα της ισοκατανομής και την χαμιλτονιανή αρχή θα οδηγηθεί μονόδρομα στον νόμο του Rayleigh - Jeans για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος

⁶⁹Rayleigh "The Dynamical Theory of Gases and of Radiation" *Scientific Papers* v. V σ. 251-252

⁷⁰Ο νόμος αυτός θα καταγραφεί στη βιβλιογραφία ως νόμος των Rayleigh - Jeans. Εδώ δεν δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη διόρθωση του Jeans και στο πως ακριβώς προέκυψε ο τελικός νόμος, αφού στόχος είναι η ανάδειξη της αντιμετώπισης έναντι στο θεώρημα της ισοκατανομής.

και την ασυμφωνία με τα πειραματικά δεδομένα.⁷¹ Για την περίπτωση αυτού του νόμου η ασυμφωνία ήταν εκρηκτική για μεγάλα μήκη κύματος (ή αντίστοιχα χαμηλές συχνότητες), αφού προέβλεπε να μεγαλώνει συνεχώς η πυκνότητα της ενέργειας για όλο και μεγαλύτερες (χαμηλότερες) τιμές. Αυτή η λεγόμενη υπεριώδης καταστροφή, όπως έχει ονομαστεί, καταδείκνυε με τον πιο χαρακτηριστικό τρόπο την αποτυχία της θεωρίας, και άρα των παραδοχών, αφού η πορεία ήταν συνεπής, να ερμηνεύσει τα πειραματικά δεδομένα. Η φασματική κατανομή που προέβλεπε δεν μπορούσε να συμβαδίσει ούτε με τον νόμο του Wien, αφού δεν υπάρχει καν μέγιστο, ούτε με εκείνο των Stefan-Boltzmann αφού το εμβαδό απειρίζεται.⁷²

Στο παρών κεφάλαιο εστιάσαμε κυρίως στο να δούμε μέσα από το έργο του Rayleigh στα αέρια, τις προκλήσεις που δεχόταν η μηχανοκρατία και το πως στάθηκε εκείνος απέναντι στο θεώρημα ισοκατανομής είτε αυτοτελώς είτε στην εφαρμογή του στη μονοατομικότητα του αργού και την ακτινοβολία του μέλανος σώματος. Κυρίως περιορίστηκε η συζήτηση στα τεκμήρια με βάση το έργο του, χωρίς αυτά να εξαντλούνται - αφού με το θεώρημα της ισοκατανομής ασχολήθηκε εν μέρει ή αναφέρθηκε σε αυτό και σε μια σειρά από άλλα άρθρα, αλλά κρίνεται ότι η επιλογή που σε αυτό το κεφάλαιο έχει γίνει μπορεί να αποτελέσει τη βάση για ένα περαιτέρω σχολιασμό - όπως επίσης και σε κάποια στοιχεία που αναδύονται από τις εξελίξεις της εποχής. Από την εως τώρα παρουσίαση έχει φανεί ότι το θεώρημα της ισοκατανομής δημιουργούσε πρόβλημα στη μηχανοκρατία και πως επίσης είναι βασικό για να καταλάβει κανείς τόσο το έργο του Rayleigh στα αέρια, όσο και την ίδια την εποχή, το εννοιολογικό της πλαίσιο και πως διαλεγόταν με τη μηχανοκρατική εξήγηση. Αυτή η συζήτηση ή μάλλον η συνέχεια της είναι το θέμα του επόμενου κεφαλαίου.

⁷¹(Jammer M. 1966) σ. 24

⁷²Βλ. (Jammer M. 1966) κεφ. 1, και (Planck M. 1901)

Κεφάλαιο 3

Το θεώρημα της ισοκατανομής - μια ανοιχτή συζήτηση.

Συμπεράσματα από το έργο του Rayleigh.

3.1 Η φυσική σύσταση της ύλης και η κινητική θεωρία των αερίων.

3.1.1 Μέχρι τα μέσα του 19ου - Προτεραιότητα και θεσμοί

Η μηχανοκρατική εξήγηση της φυσικής τον 19ο αιώνα στηρίχθηκε στην οντολογία των κινούμενων σωματιδίων. Ωστόσο υπήρχε μια διάκριση ανάμεσα στη γενική παραδοχή μιας σωματιδιακής θεωρίας της ύλης και στην υιοθέτηση πιο συγκεκριμένων μοντέλων για τη μοριακή δομή.¹ Η φύση των ατόμων παρέμεινε ένα ζήτημα χωρίς μια δεδομένη απάντηση, εν πολλοίς δηλαδή παρέμενε ανοιχτό στα μέσα του 19ου αιώνα, οπότε η κινητική θεωρία των αερίων κάνει την επανεμφάνιση της με τα έργα των Clausius και Maxwell. Κάνοντας λόγο για επανεμφάνιση, αυτό που ταυτόχρονα δηλώνεται εδώ είναι

¹Βλ. (Harman P. [1982] 1994) κεφ. 5

το γεγονός ότι προσπάθειες για εξήγηση ιδιοτήτων των ρευστών, και των αερίων ειδικά, στην βάση μιας κινητικής θεωρίας υπήρξαν και πριν από τον Clausius, με χαρακτηριστικότερο ίσως παράδειγμα τις μελέτες του Daniel Bernoulli.² Στα μέσα του 18ου αιώνα, ο Bernoulli θα εξάγει νόμους των αερίων βασιζόμενος στο μοντέλο των μπαλών ενός μπιλιάρδου, αν και η κινητική θεωρία θα είναι ένα μικρό μέρος της πραγματείας του η οποία είναι κυρίως πάνω σε θέματα υδροδυναμικής. Την εποχή όμως που προτάθηκε δεν προκάλεσε σοβαρά την κυριαρχία του νευτώνειου στατικού προτύπου με τα άτομα των αερίων να συγκρατούνται σε σταθερές θέσεις με διασωματιδιακές δυνάμεις και δεν κατάφερε να πείσει τους φυσικούς να την αποδεχθούν ως τη φυσική περιγραφή ενός αερίου, έμεινε στο περιθώριο και σε ένα μεγάλο βαθμό ξεχασμένη μέχρι την εποχή που αντίστοιχες θεωρήσεις άρχισαν να κατακτούν έδαφος.³

Η θερμότητα αντιμετωπιζόταν ως ουσία και ακόμα και αν αναγνωριζόταν κάποια συσχέτιση της με τις ατομικές κινήσεις, η παραδοχή του Bernoulli ότι δεν είναι τίποτε άλλο παρά ατομικές κινήσεις, δεν μπορούσε να γίνει αποδεκτή. Η θερμιδική θεωρία, όπου τα σωματίδια της ύλης περιβάλλονταν από ατμόσφαιρες θερμιδικού ρευστού παρέμεινε κυρίαρχη ως τα 1850 οπότε μια μηχανική αντιμετώπιση της θερμότητας άρχισε να εδραιώνεται, σύμφωνα με την οποία η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας που μπορεί να μετατρέπεται σε μια άλλη όπως αυτή του μηχανικού έργου, όπως έδειξε ο Joule καταδεικνύοντας το μηχανικό ισοδύναμο έργου της θερμότητας. Η υιοθέτηση της μηχανικής θεωρίας ως κυρίαρχη εκδοχή για τη θερμότητα δεν σημαίνει ότι δεν είχαν προταθεί αντίστοιχες κινητικές θεωρίες νωρίτερα και πέρα από τις εργασίες του Bernoulli. Ο Herapath, το 1820 είχε προτείνει στην Royal Society, μια κινητική θεωρία για τα αέρια,⁴ όμως η θεωρία του είχε απορριφθεί θεωρούμενη ως πολύ υποθετική. Παρά τις προσπάθειες που στη συνέχεια έκανε ο Herapath, δημοσιεύοντας την εργασία του μέσα από διάφορους δρόμους δεν κατάφερε να πείσει την επιστημονική κοινότητα για αυτή και τη βασική παραδοχή στο πλαίσιο της ότι η θερμότητα δεν ήταν τίποτε άλλο από τις

²Το έργο του Daniel Bernoulli είναι γενικά αποδεκτό ως μια πρώτη κινητική θεωρία των αερίων. Για περισσότερα πάνω στο έργο του βλ. (Brush S. 2003) σ. 57-65

³Να σημειώσουμε εδώ ότι το πως ακριβώς αντέδρασε η επιστημονική κοινότητα απέναντι στη θεωρία του όταν αυτή διατυπώθηκε δεν είναι πλήρως γνωστό.(Brush S. 2003) σ. 8

⁴Αυτή η κινητική θεωρία περιλαμβανόταν μεταξύ άλλων στο άρθρο του "A Mathematical Inquiry into the Causes, Laws and Principal Phenomena of Heat, Gases, Gravitation, etc."

κινήσεις των σωματιδίων της ύλης, που δεν είναι σε σταθερές θέσεις αλλά κινούνται.⁵ Ο Waterston, στον οποίο έχουμε ήδη αναφερθεί, λόγω της διατύπωσης που είχε προτείνει για το θεώρημα της ισοκατανομής είναι μια άλλη περίπτωση πρότασης μιας κινητικής θεωρίας για τα αέρια, η οποία έμεινε στην αφάνεια και αφέθηκε στη λήθη για περίπου σαράντα χρόνια ώσπου ο Rayleigh ανασύρει το άρθρο του από τα αρχεία της Royal Society. Με βάση όσα παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για την περίπτωση του άρθρου του Waterston και όσα εδώ έχουν προηγηθεί μπορούμε να φτάσουμε σε δυο επιμέρους συμπεράσματα που αφορούν εν γένει την ιστορία της επιστήμης και στο πως αυτή προσεγγίζεται.

Το πρώτο από αυτά έχει να κάνει με την έννοια της *προτεραιότητας*.⁶ Συχνά στην ιστορία της επιστήμης, επιλέγεται μια αφήγηση ηρώων, ανθρώπων που έκαναν ένα βήμα μπροστά και βοήθησαν την πρόοδο της επιστήμης. Μια θετικιστική προσέγγιση που αφενός στον πυρήνα της φέρει την έννοια της προοδευτικότητας και άρα τείνει να αφηγείται τα 'σωστά' βήματα ιδωμένα αναχρονιστικά και με τις αξίες του παρόντος, αφετέρου βλέπει μεμονωμένους ανθρώπους, ερευνητές λόγιους ή ότι άλλο στους οποίους αποδίδει την εκάστοτε θεωρία, ιδέα κλπ. Μια τέτοια προσέγγιση αδυνατεί να δει τη συνθετότητα των ιστορικών γεγονότων και αναζητά την προτεραιότητα στη σύλληψη μιας ιδέας. Την ίδια ώρα δεν μπορεί να περιγράψει το πως μια θεωρία τελικά κερδίζει έδαφος, ως ένα βαθμό ανεξάρτητα από τους πρώτους εμπνευστές της, όπως αυτή της κινητικής θεωρίας που εδώ είδαμε, πως διαφορετικοί άνθρωποι φτάνουν σε παρόμοια συμπεράσματα χωρίς απαραίτητα να γνωρίζουν τι ακριβώς έχει ειπωθεί στο παρελθόν, δεν μπορεί να δει πιο σύνθετες πορείες αλληλεπίδρασης από ότι μια γραμμική αφήγηση. Δεν βλέπει επίσης κοινότητες επιστημονικές ή ευρύτερες και αγνοεί τελείως την διαδικασία της πειθούς. Αυτή πάλι η διαδικασία της πειθούς και της νομιμοποίησης δεν επηρεάζεται μόνο από τις ιδέες αλλά εμπεριέχει μια σειρά από ιστορικούς και κοινωνικούς παράγοντες που καθιστούν τελικά το όλο ερώτημα του γιατί εμφανίστηκε σε πρώτο χρόνο μια

⁵Ο Joule επηρεάστηκε από τον Herapath αλλά και η δική του εργασία πάνω στην κινητική θεωρία έμεινε στην αφάνεια μέχρι να αναζωπυρωθεί το ενδιαφέρον με τις μελέτες του Krönig και του Clausius. Για περισσότερα βλ. (Brush S. 2003) σ. 9-19 και (Harman P. [1982] 1994) σ. 192-201

⁶Το ερώτημα της προτεραιότητας σε σχέση με την κινητική θεωρία το θέτει επιγραμματικά και ο Brush. Βλ. (Brush S. 2003) σ. 9. Γενικά για το ζήτημα της προτεραιότητας βλ. (Γαβρόγλου Κ. [2004] 2013)

θεωρία, γιατί έμεινε στην αφάνεια ή γιατί επικράτησε πολύ πιο δύσκολο και σύνθετο για την ιστορία της επιστήμης.

Που τελικά θα μπορούσε να αποδοθεί προτεραιότητα στη σύλληψη ή στο να καταστήσει κανείς κυρίαρχη ή αυτοτελώς αναγνωρισμένη μια θεωρία; Τι νόημα θα είχε μια τέτοια μονομερής απόδοση; Πως αυτό μπορεί να ιδωθεί χωρίς να λάβει υπόψιν κοινωνικούς παράγοντες, το φιλοσοφικό πλαίσιο της εποχής κλπ; Υπό αυτό το πρίσμα το ερώτημα της προτεραιότητας όταν αυτό αποκόπτεται και τίθεται μόνο του καθίσταται τελικά στείρο.

Το δεύτερο συμπέρασμα έχει να κάνει με το ρόλο των θεσμών. Η περίπτωση του Herapath και του Waterston είναι ενδεικτική τόσο για να καταδείξει τον ενεργό ρόλο της Royal Society εν προκειμένω, γενικά των εταιριών και ευρύτερα των θεσμών στην επιστήμη, όσο και γιατί μέσα από αυτές τις περιπτώσεις αποτυπώνεται και η κατάσταση της Royal Society την δεδομένη εποχή. Πάλι σε αυτή την περίπτωση ιστοριογραφικές προσεγγίσεις που επιμένουν στην εξέλιξη των ιδεών και μόνο, δεν μπορούν να δουν το ρόλο που έπαιξε η RS τόσο στη διαμόρφωση της κινητικής θεωρίας που είναι το συγκεκριμένο παράδειγμα, όσο και γενικότερα. Όμως οι θεσμοί έχουν ενεργό ρόλο, διαμορφώνουν συνθήκες και καθορίζουν εξελίξεις στην επιστήμη, ακόμα και στο επίπεδο των ιδεών.

Πιο ειδικά όσον αφορά τη δημοσίευση ή μη ενός άρθρου το ζήτημα της πειθούς παραμένει πάλι κεντρικό, ώστε ο εισηγητής να πείσει για το νόημα της εκάστοτε εργασίας, όμως εδώ πρέπει να ληφθούν υπόψιν τα χαρακτηριστικά του θεσμού, το κοινωνικό και φιλοσοφικό πλαίσιο της εποχής, τα προσωπικά κριτήρια των κριτών, η κοινωνική σύνθεση της εταιρίας και μια σειρά από άλλους παράγοντες. Το εισαγωγικό σχόλιο του Rayleigh στο άρθρο με το οποίο δημοσιοποιείται η εργασία του Waterston, και στο οποίο έχουμε ήδη αναφερθεί καταδεικνύει κάποια από τα χαρακτηριστικά της RS και το συντηρητισμό της και είναι χαρακτηριστικό ότι προτείνει μεθοδολογικά βήματα σε νέους ερευνητές ώστε να ξεπεράσουν τους σκοπέλους που θέτουν οι εταιρίες, την ίδια ώρα που αναγνωρίζει το κύρος και το ρόλο τους.

3.1.2 Clausius και Maxwell και τα μηχανικά μοντέλα

Επιστρέφοντας τώρα στην κινητική θεωρία και στην επανεμφάνιση της με τις εργασίες του Clausius και του Maxwell, αυτό που εδώ θα σταθούμε, αφού έχουμε ήδη αναφερθεί στις προσεγγίσεις τους στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι σε βασικούς άξονες της μεθοδολογίας τους και κυρίως σε ότι έχει να κάνει με τα μηχανικά μοντέλα και τις προσπάθειες τους να εξηγήσουν τι συμβαίνει στο μοριακό επίπεδο με βάση τη μηχανοκρατία. Ο Clausius εκκινεί από τη θεώρηση της θερμότητας ως κίνηση των σωματιδίων της ύλης και ενώ αρχικά θα αποφύγει το ερώτημα της φύσης της ύλης, εξάγοντας τα θερμοδυναμικά συμπεράσματα του ανεξάρτητα από τη φύση της ύλης, στη συνέχεια θα προσπαθήσει να εξηγήσει τις ιδιότητες των αερίων στηριζόμενος σε ένα μοντέλο ελαστικών σφαιρών και εισάγοντας την έννοια της 'μέσης ελεύθερης διαδρομής'. Στην πραγμάτευση του θα κάνει χρήση στατιστικών επιχειρημάτων, τόσο για τη 'μέση ελεύθερη διαδρομή' όπως επίσης θα χρησιμοποιήσει την έννοια της μέσης ταχύτητας, υποστηρίζοντας παράλληλα ότι μπορεί να διαφέρει από αυτή που έχει ένα σωματίδιο. Όσον αφορά το λόγο των ειδικών θερμοτήτων, τον συνέδεσε με το λόγο της κινητικής προς την ολική ενέργεια του μορίου, χωρίς όμως να επεκταθεί σε κάποια διατύπωση ισοκατανομής, αφήνοντας έτσι να προκύψει ο λόγος των ενεργειών από τις πειραματικά αποκτώμενες τιμές για το λόγο των ειδικών θερμοτήτων.

Ο Maxwell εστιάζοντας στις μοριακές συγκρούσεις και εκκινώντας πάλι από το μοντέλο των ελαστικών σφαιρών, πρότεινε ότι αυτές οι συγκρούσεις αντί να τείνουν να εξισώσουν τις ταχύτητες, αυτό που κάνουν είναι να παράγουν μια στατιστική κατανομή την οποία και προσδιόρισε σε κατάσταση ισορροπίας, δηλαδή μια κατανομή που δεν μεταβαλλόταν από τις μοριακές συγκρούσεις. Όταν αυτό το μοντέλο των ελαστικών σφαιρών και η έννοια της 'μέσης ελεύθερης διαδρομής' στάθηκαν ανεπαρκή για να εξηγήσει την εξάρτηση (αναλογία) του ιξώδους από τη θερμοκρασία, πρότεινε μια ευρύτερη προσέγγιση των μορίων ως κέντρα δύναμης και υπό την προϋπόθεση ότι η απωστική αυτή δύναμη ήταν αντιστρόφως ανάλογη της πέμπτης δύναμης της απόστασης εξήγησε τα πειραματικά δεδομένα για το ιξώδες των αερίων.⁷ Όσον αφορά το ιξώδες, το γεγονός

⁷Τον λόγο της αλλαγής προσέγγισης που κάνει από τις ελαστικές σφαίρες στα 'κέντρα δύναμης' τον ονοματίζει ο ίδιος στο άρθρο του *On the Dynamical Theory of Gases* (1867) σ. 29 και σε αυτό έχουμε ήδη

ότι δεν εξαρτιόταν από την πυκνότητα ήταν μια επιβεβαίωση της κινητικής θεωρίας, αφού σε μια στατική θεωρία, θα ανέμενε κανείς να αυξάνει το ιξώδες με την πυκνότητα. Ο Maxwell διαχώρισε τη θεωρία των αερίων, που βασίστηκε στη στατιστική μέθοδο εξήγησης, από μια θεωρία που βασίζεται στη δυναμική μέθοδο όπου μελετώνται οι κινήσεις των σωματιδίων ανεξάρτητα. Για εκείνον⁸

"Τα δεδομένα της στατιστικής μεθόδου όπως εφαρμόζονται στη μοριακή επιστήμη είναι τα αθροίσματα μεγάλων αριθμών από μοριακές ποσότητες. Μελετώντας τις σχέσεις μεταξύ ποσοτήτων τέτοιου είδους, συναντούμε ένα νέο είδος κανονικότητας την κανονικότητα των μέσων, στην οποία μπορούμε επαρκώς να βασιστούμε για όλους τους πρακτικούς λόγους, αλλά δεν μπορούμε να ζητήσουμε τον χαρακτήρα της απόλυτης ακρίβειας που ανήκει στους νόμους της αφηρημένης δυναμικής."

Ο Maxwell είδε την κινητική θεωρία ως βάση για την ανάπτυξη μηχανικών μοντέλων. Όσον αφορά τα μοντέλα, όπως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο, εφιστούσε την προσοχή στο ενδεχόμενο σύγχυσης της αναπαράστασης με την πραγματικότητα. Ακόμα και όταν προσέγγισε το θεώρημα της ισοκατανομής από τη σκοπιά της αναλυτικής δυναμικής, που δεν χρειαζόταν τη δέσμευση ή εν πάση περιπτώσει την υιοθέτηση κάποιου συγκεκριμένου μηχανικού μοντέλου, η πραγμάτευση του προσπαθούσε να εξηγήσει τις ιδιότητες των αερίων στη βάση της μηχανοκρατικής θέασης του κόσμου. Εν τούτοις απέρριψε την προσπάθεια του Clausius και του Boltzmann να δώσουν μια δυναμική ερμηνεία του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου.

3.1.3 Αντιτρεψιμότητα και ο 2ος Θερμοδυναμικός νόμος

Το 1872 ο Boltzmann είχε προχωρήσει στην ανάπτυξη μιας εναλλακτικής προσέγγισης για την κινητική θεωρία, που κατέληγε στην επιβεβαίωση του νόμου του Maxwell, αποδεικνύοντας ότι ανεξάρτητα από την αρχική κατάσταση του αερίου, η τελική κατάσταση ισορροπίας θα περιγράφεται από την κατανομή της ταχύτητας που είχε προτείνει ο Maxwell. Είχε καταλήξει σε μια ολοκληρο-διαφορική εξίσωση εισάγοντας μια ποσότητα H η αναφέρει το αντίστοιχο απόσπασμα στο κεφ. 2. Γενικότερα για την προσέγγιση του βλ. και (Garber E. 1978), (Brush S. 2003) και (Harman P. [1982] 1994)

⁸(Maxwell J.C 1873) σ. 374

οποία μειωνόταν με το χρόνο, εκτός αν ακολουθούνταν η κατανομή του Maxwell οπότε λάμβανε μια σταθερή ελάχιστη τιμή. Έτσι όταν αποκτούσε το σύστημα αυτή την τιμή, το αέριο ήταν σε ισορροπία και η κατανομή της ταχύτητας ήταν αυτή που προέβλεπε ο νόμος του Maxwell. Αυτό είναι το 'θεώρημα H ' του Boltzmann.

Με βάση αυτό το θεώρημα επιχείρησε να περιγράψει την αύξηση της εντροπίας ενός μεμονωμένου συστήματος στην περίπτωση μιας μη αντιστρεπτής μεταβολής. Χρησιμοποιώντας τους ορισμούς της κινητικής θεωρίας για τη θερμότητα και τη θερμοκρασία έδειξε ότι η εντροπία ενός αερίου σε ισορροπία ήταν απλά το αντίθετο της ποσότητας H . Ενώ η εντροπία στη θερμοδυναμική οριζόταν μόνο για καταστάσεις ισορροπίας, ο Boltzmann πρότεινε την ποσότητα H ως βάση για μια γενικευμένη εντροπία, η οποία έχει μια τιμή για κάθε κατάσταση του αερίου. Με αυτή την παραδοχή, το 'θεώρημα H ' καθίσταται ισοδύναμο με τη διατύπωση ότι η εντροπία συνεχώς αυξάνεται ή παραμένει σταθερή, που είναι μια διατύπωση του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής. Έτσι έφτασε στον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής μέσα από τη στατιστική ανάλυση των μοριακών κινήσεων.

Σε αυτό το σημείο ανακύπτει το πρόβλημα της αντιστρεψιμότητας των φυσικών διεργασιών, που το έθεσε και ο Loschmidt κάνοντας κριτική στον Boltzmann. Η βασική ουσία αυτού του προβλήματος, που είχε ήδη απασχολήσει και τον Maxwell και στην οποία είχε εμπλακεί και ο Thomson, αλλά όπως ήδη έχουμε δει κ με βάση τα προηγούμενα και ο Rayleigh, ήταν ότι ενώ οι δυναμικοί νόμοι με βάση το νευτώνειο πρότυπο και αντίστοιχα οι νόμοι της αναλυτικής δυναμικής του Lagrange είναι αντιστρέψιμοι ως προς τη χρονική μεταβλητή, ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής δίνει μια δεδομένη χρονική εξέλιξη. Ο Maxwell είχε ήδη συζητήσει αυτό το θέμα με τους Tait και Thomson, όπως προκύπτει από την αλληλογραφία⁹ και μάλιστα ο Thomson είχε κάνει και τη διάκριση ανάμεσα στη 'αφηρημένη δυναμική' που είναι αντιστρεπτή και στη 'φυσική δυναμική' που δεν είναι. Στο άρθρο του το 1875 ο Thomson αναφέρεται στις συνέπειες της αντιστροφής του χρόνου για την κίνηση των μορίων.¹⁰ Επίσης, υπάρχει και ένα γράμμα που είχε σταλθεί το 1870 στον Rayleigh όπου εκτενώς αναφέρει το ζήτημα της αντιστρεψιμότητας και

⁹Φαίνεται ότι έχει ήδη συζητηθεί από το 1867. Βλ. (Hollinger H. Zenzen M.J. 1985) σ. 14

¹⁰(Thomson W. 1875)

περιγράφει τον "δαίμονα" του, ένα παραστατικό τρόπο να καταδείξει το πρόβλημα.¹¹¹² Το συμπέρασμα που καταλήγει είναι ότι η μη αντιστρεψιμότητα των φυσικών διεργασιών που βεβαιώνεται με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, δεν μπορεί να εξηγηθεί καταφεύγοντας κανείς στους νόμους της δυναμικής. Η αντιστρεψιμότητα έτσι δεν είναι ένας απόλυτος νόμος αλλά ένας στατιστικός νόμος που ισχύει με πολύ υψηλή πιθανότητα. Με το θέμα της αντιστρεψιμότητας ασχολήθηκε και ο Planck, εκκινώντας από τις εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητισμού και μέσω μιας ηλεκτρομαγνητικής συνάρτησης για την εντροπία, θα προσπαθήσει να δείξει τη μη αντιστρεψιμότητα. Ωστόσο το θέμα των μη αντιστρεπτών διαδικασιών δεν μπορεί πλήρως να παρουσιαστεί εδώ και αναφέρεται μόνο ακροθιγώς ώστε να γίνει κατανοητός ο βασικός πυρήνας του προβλήματος, η αντίφαση με τη μηχανιστική προσέγγιση και το που βασιζόταν αυτή η πρόκληση.

3.2 Το θεώρημα της ισοκατανομής το πρόβλημα και η διαμάχη.

Ο Maxwell την ώρα που πρότεινε την κινητική θεωρία είδε και τις αδυναμίες της να ερμηνεύσει τις πειραματικές ενδείξεις όσον αφορά το λόγο των ειδικών θερμοτήτων, που ερχόταν σε σύγκρουση με τα πειραματικά δεδομένα και θεώρησε ότι αυτό και μόνο αρκεί για δει την αποτυχία και την ανεπάρκεια της, χωρίς όμως την ίδια ώρα να αμφισβητεί το θεώρημα της ισοκατανομής, για του οποίου την ορθότητα ήταν σίγουρος. Την ίδια ώρα όμως το θεώρημα της ισοκατανομής έθετε εμπόδια στην κατασκευή μηχανικών μοντέλων που θα ήταν συμβατά με τις πειραματικές παρατηρήσεις και αποτελέσματα τόσο για το λόγο των ειδικών θερμοτήτων, όσο και για τη φασματοσκοπία. Προέβλεπε διαφορετικούς λόγους ειδικών θερμοτήτων και έθετε περιορισμούς που δεν μπορούσαν να συμβαδίσουν με τις σύνθετες εικόνες των φασμάτων. Έτσι τα μοντέλα που προτείνονταν

¹¹Ο δαίμονας του Maxwell απαντάται πολύ συχνά στη βιβλιογραφία, και δημοσιεύθηκε ένα χρόνο αργότερα, το 1871 από τον Maxwell στο *The Theory of Heat*. Να αναφέρουμε εδώ ότι ο όρος δαίμονας λόγω των μεταφυσικών συνυποδηλώσεων του είχε απορρίφθει από τον Maxwell, εντούτοις χρησιμοποιείται εδώ ως περισσότερο γνωστός όρος με βάση τη βιβλιογραφία.

¹²Το γράμμα αυτό που χρονολογείται από τις 6 Δεκ. 1870 παρατίθεται στη βιογραφία του (Strutt R. [1924] 1968) σ. 47-48

για να ερμηνεύσουν τα σύνθετα, πειραματικά προσδιορισμένα φάσματα ερχόντουσαν σε αντίφαση με το θεώρημα της ισοκατανομής.

Ο Thomson αμφισβήτησε όπως είδαμε την εγκυρότητα του θεωρήματος και την απόδειξη που είχε προταθεί και διατύπωσε κάποιες ειδικές περιπτώσεις οι οποίες κατά την άποψη του καταδείκνυαν την αποτυχία του, τόσο στο θεωρητικό όσο και στο πειραματικό επίπεδο. Αυτό που έβλεπε στην ισχύ του θεωρήματος της ισοκατανομής, ήταν μια απειλή για τη συγκρότηση μηχανικών μοντέλων για την μοριακή δομή και την ίδια ώρα μια απειλή για την ίδια τη δυναμική θεωρία, αν αυτό θεωρούνταν οργανικό μέρος και αναπόσπαστο στοιχείο της. Αυτή η απειλή θα επηρέαζε ολόκληρο το εννοιολογικό πλαίσιο της φυσικής και ο Thomson διέκρινε τις συνέπειες μιας τέτοιας κατάστασης. Για το λόγο αυτό αντιπαρατέθηκε με σφοδρότητα στο θεώρημα της ισοκατανομής και για τον ίδιο λόγο το αναγνωρίζει ως το "ένα από τα δυο σύννεφα που σκίαζαν την ομορφιά και την καθαρότητα της δυναμικής θεωρίας, που υποστηρίζει ότι η θερμότητα και το φως είναι τρόποι κίνησης."¹³ Η πολύ γνωστή αυτή ρήση του Thomson συνοδεύτηκε από μια σειρά επιχειρημάτων που σκοπό είχαν να αντικρούσουν την ισχύ του θεωρήματος. Αφού πρώτα κάνει μια ιστορική αναδρομή που ξεκινά από τον Waterston, και συνεχίζει στον Maxwell και τον Boltzmann, θα πει ότι το συμπέρασμα και η απόδειξη του φαίνονται μη πειστικά και πως ο ίδιος προσπάθησε να εμπλέξει και τον Tait με το θέμα, δείγμα και αυτό της σοβαρότητας με την οποία αντιμετώπιζε το συγκεκριμένο θεώρημα.

Θα αναφερθεί στις πειραματικές μετρήσεις του λόγου ειδικών θερμοτήτων λέγοντας ότι αυτό και μόνο αρκεί για να το καταρρίψει, ενώ θα κάνει ειδική αναφορά στην περίπτωση του αργού, πέρα από τους ατμούς υδραργύρου, το κρυπτό και το ήλιο. Υποστηρίζει ότι μπορεί να προκύψει η αντίστοιχη τιμή από τον νόμο του Clausius και μόνο, χωρίς τη χρήση του θεωρήματος της ισοκατανομής, αλλά ακόμα και για το θεώρημα αυτό, αφού είναι μονοατομικό το αέριο δεν υπάρχει πρόβλημα με την δεδομένη πρόβλεψη. Θα αναφέρει όμως τις φασματικές γραμμές του αργού και θα πει ότι λαμβάνοντας υπόψιν τους ταλαντωτικούς τρόπους που αυτές υποδεικνύουν και εάν υποτεθεί ότι ισχύει το θεώρημα των Maxwell - Boltzmann θα βρισκόταν μπροστά σε μια αντίφαση. Κάτι που δεν ισχύει για το νόμο του Clausius. Ο νόμος του Clausius και σε αυτή την περίπτωση δεν

¹³(Kelvin 1900)

αντιμετωπίζει πρόβλημα, και η εφαρμογή του θα έδειχνε απλά ότι οι περιστροφικοί και ταλαντωτικοί τρόποι έχουν μικρό μερίδιο της ολικής ενέργειας. Θα επισημάνει ότι οι πειραματικές μετρήσεις των Rayleigh και Ramsay είναι όλες μικρότερες από την αναμενόμενη τιμή και πως αν αυτό οφειλόταν σε τυχαία σφάλματα θα έπρεπε να υπάρχουν αποκλίσεις και πάνω από την τιμή. Επίσης θα εστιάσει στο τι σημαίνει μονοατομικό, με βάση αυτή τη φασματική εικόνα και θα κάνει λόγο για ενδεχόμενη ύπαρξη δορυφόρων στα άτομα. Θα επεκτείνει τα παραδείγματα του για διατομικά, τριατομικά και διάφορα πολυατομικά μόρια και θα καταδείξει πάλι αποκλίσεις από τις πειραματικές τιμές.

Στη συνέχεια θα εστιάσει την πολεμική του σε ένα πιο θεωρητικό επίπεδο, προσπαθώντας να δείξει ότι σε συγκεκριμένες περιπτώσεις η εφαρμογή του θεωρήματος δεν ισχύει. Θα προσθέσει εδώ ότι έχει λάβει υπόψιν του και κάποιες παρατηρήσεις από τον Rayleigh. Δεν θα επεκταθούμε σε αυτά τα παραδείγματα, τις βασικές μεθοδολογικές αφετηρίες τους άλλωστε τις έχουμε ήδη δει μέσα από την ειδική περίπτωση που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο και την απάντηση του Rayleigh σε αυτή.

Κλείνοντας το άρθρο του θα επισημάνει ότι τις αντιφάσεις του θεωρήματος, τις είχε ήδη αναγνωρίσει ο Maxwell και τις είχε αναφέρει. Ο Thomson προσπαθεί να διασώσει την κινητική θεωρία, της οποίας βασικός συντελεστής ήταν ο Maxwell, καταρρίπτοντας το θεώρημα της ισοκατανομής, και αυτό γιατί το θεωρεί πρόβλημα για το συνολικό πλαίσιο της φυσικής της εποχής του.

Θα επιτεθεί και στον Rayleigh¹⁴, τον οποίο θα χαρακτηρίσει αταλάντευτο υποστηρικτή για είκοσι χρόνια του θεωρήματος της ισοκατανομής και μάλιστα θα ενσωματώσει στο τέλος ένα μεγάλο απόσπασμα από το κλείσιμο του άρθρου του Rayleigh *The Law of Partition of Kinetic Energy*¹⁵ όπου εκθέτει τα προβλήματα με τα οποία είναι αντιμέτωπο το ζήτημα των αντιφάσεων του θεωρήματος της ισοκατανομής- λέγοντας εκεί ο Rayleigh ότι είναι πρόβλημα που τελικά αφορά την ίδια τη γενική μηχανική-ενώ ο Thomson εδώ εμφατικά θα προσθέσει μια τελευταία πρόταση ότι πρέπει απλά να αρνηθούν το συμπέρασμα του θεωρήματος, δηλαδή να μην αποδεχθούν το ίδιο το θεώρημα.

¹⁴Η διαμάχη είναι πάνω στο επιστημονικό αυτό θέμα. Με τον Rayleigh διατηρούσε μια φιλία χρόνων την οποία περιγράφει ο Strutt στη βιογραφία για τον πατέρα του.

¹⁵Το απόσπασμα αυτό και όλο το άρθρο έχουν γίνει αντικείμενο αναλυτικής περιγραφής στο προηγούμενο κεφάλαιο και ως εκ τούτου εδώ θα παραληφθεί.

Από τα όσα έχουμε ως εδώ αναφέρει έχει γίνει εμφανές ότι το θεώρημα της ισοκατανομής είχε γίνει αντικείμενο διαμάχης, μιας διαμάχης που είχε ευρύτερες προεκτάσεις και απειλούσε ευθέως την μαχανοκρατική αντίληψη. Λόγω αυτών των δεδομένων προβλημάτων υπήρξαν προσπάθειες να παρακαμφθεί το θεώρημα αυτό ώστε να απεμπλακούν και από τα ζητήματα που ανοίγονται με τη χρήση του. Το θεώρημα virial και ο νόμος του Van Der Waals έδωσε μια διέξοδο προς αυτή την κατεύθυνση χωρίς βέβαια να κλείνει τη συζήτηση που όπως είδαμε είχε πάρει ευρύτερες διαστάσεις. Ο Rayleigh ασχολήθηκε επίσης με το θεώρημα virial και το νόμο Van Der Waals σε μια σειρά από άρθρα του.¹⁶

3.3 Το συνέδριο του Solvay και το γράμμα του Rayleigh στον Nernst.

Τον Οκτώβρη του 1911 το πρώτο συνέδριο του Solvay έλαβε χώρα στις Βρυξέλλες και το θέμα του ήταν "Ακτινοβολία και Κβάντα".¹⁷ Το πρώτο συνέδριο του Solvay είχε καλεστεί για να εξετάσει ακριβώς αυτά τα προβλήματα που είχαν ανακύψει στην προσπάθεια συμφιλίωσης του θεωρήματος της ισοκατανομής στην ακτινοβολία μέλανος σώματος και το λόγο ειδικών θερμοτήτων και την αντίστοιχη κβαντική προσέγγιση.¹⁸ Στο συνέδριο έλαβαν μέρος οι περισσότεροι από τους γνωστούς φυσικούς της εποχής και σε αυτό είχε καλεστεί και ο Rayleigh, ο οποίος όμως δεν το παρακολούθησε.¹⁹ Η γραπτή συμβολή του, πήρε τη μορφή ενός γράμματος στον Nernst και σε αυτή αποτυπώνεται με ξεκάθαρο τρόπο η οπτική του πάνω στο θέμα.

Θα γράψει εκεί, ότι θέλει να τονίσει τη δυσκολία σε σχέση με τη χρήση γενικευμένων μεταβλητών στην οποία έχει ήδη αναφερθεί,²⁰ και η οποία έγκειται στη δυνατότητα θεώρησης του σώματος ως συμπαγές και ασυμπίεστου. Μια τέτοια απλοποίηση σε συν-

¹⁶Ενδεικτικά βλ. και "On the pressure of Gases and the Equation of Virial" *Scientific Papers* v. VI, "On Van der Waals' Treatment of Laplace's Pressure in the Virial Equation: Letter to Professor Tait" *Scientific Papers* v. III και "On the Virial of a System of Hard Colliding Bodies" *Scientific Papers* v. III

¹⁷"Radiation and the Quanta"

¹⁸Για την αναλυτική περιγραφή του συνεδρίου βλ. (Mehra J. 1975)

¹⁹Ο λόγος δεν είναι γνωστός σύμφωνα με τη βιογραφία του αλλά εικάζεται μια κάποια απροθυμία. Βλ. (Strutt R. [1924] 1968) σ. 356

²⁰Αναφέρεται στο άρθρο "The Law of Partition of Kinetic Energy"

δυνασμό με το θεώρημα της ισοκατανομής έρχεται σε άμεση αντίφαση. Θα συνεχίσει λέγοντας χαρακτηριστικά:

"Ίσως αυτή η αποτυχία μπορεί να επικαλεστεί σε υποστήριξη των απόψεων του Planck και της σχολής του ότι οι νόμοι της δυναμικής (όπως είναι κατανοητοί ως τώρα) δεν μπορούν να εφαρμοστούν στα μικρότερα μέρη των σωμάτων. Αλλά πρέπει να ομολογήσω ότι δεν μου αρέσει καθόλου αυτή η λύση του παζλ. Βέβαια δεν έχω να πω τίποτα εναντίον ακολουθώντας τις συνέπειες της κβαντικής θεωρίας της ενέργειας - μια διαδικασία που στα χέρια ικανών ανθρώπων έχει ήδη οδηγήσει σε μερικά ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Αλλά έχω μια δυσκολία να την αποδεχθώ ως εικόνα του τι πράγματι συμβαίνει."²¹

Στη συνέχεια του γράμματος θα αναφέρει ότι καλά κατά την άποψη του η προσοχή έχει εστιαστεί στα διατομικά μόρια, και τέλος θα αναφερθεί στην πρόταση του Jeans και του Boltzmann ότι μπορεί να χρειάζεται κάποιος χρόνος ώστε να αποκατασταθεί η ισορροπία ρωτώντας αν υπάρχει κάποιο πειραματικό δεδομένο που να διαψεύδει μια τέτοια υπόθεση. Η απάντηση του Nernst είναι ενδεικτική της συνεισφοράς του Rayleigh στο θέμα και του μεγέθους του προβλήματος που το ακολουθούσε:

"Μου ήταν πολύ ενδιαφέρον να παρατηρήσω από όσα είχατε την καλοσύνη να μου στείλετε, ότι ήδη πριν από έντεκα χρόνια, στο άρθρο σας, εσείς, τρόπος του λέγειν, ήσασταν ο πρώτος που έβαλε το δάκτυλο στην ανοιχτή πληγή της θεωρητικής φυσικής, με τη επούλωση της οποίας ασχολούμαστε στις Βρυξέλλες"²²

Ο Nernst λοιπόν θα χαρακτηρίσει ανοιχτή πληγή της θεωρητικής φυσικής τα προβλήματα που δημιουργούσε το θεώρημα της ισοκατανομής στη μέτρηση του λόγου των ειδικών θερμοτήτων και στη φασματοσκοπία. Η ακτινοβολία του μέλανος σώματος με τις δυο ερμηνείες που είχαν προταθεί από τη μια και τα πειραματικά δεδομένα από την άλλη ήταν το πεδίο εκείνο όπου αυτή η κρίση γινόταν εντονότερη. Αυτό που βρισκόταν σε κρίση ήταν ολόκληρο το εννοιολογικό πλαίσιο της φυσικής της εποχής, με κυρίαρχη τη μηχανιστική φιλοσοφία και στηριγμένη στο νευτώνειο πρότυπο και αυτό είναι που προσέδιδε και τέτοιες διαστάσεις στο πρόβλημα.

²¹"Letter to Professor Nernst" *Scientific Papers* v.VI

²²Το κείμενο παρατίθεται στη βιογραφία (Strutt R. [1924] 1968) σ. 356

3.4 Συμπεράσματα

Παίρνοντας αφορμή από την τελευταία υποπαράγραφο, θα μπορούσε κανείς να μείνει σε αυτή, αφού τα βασικά στοιχεία της οπτικής του Rayleigh διαφαίνονται σε αυτό το γράμμα στον Nernst. Ας το δούμε όμως λίγο πιο συγκεκριμένα. Ο Rayleigh επαναλαμβάνει εδώ τα επιχειρήματα που είχε προτείνει το 1900, δείχνοντας ότι η μεθοδολογική του προσέγγιση δεν έχει αλλάξει. Αντιμετωπίζει πάντα το θεώρημα της ισοκατανομής ως ένα δύσκολο πρόβλημα για το οποίο δεν έχει να προτείνει μια άμεση λύση. Προσεκτικός στα βήματα του, παρά τη διαμάχη που έχει προκύψει, σε όλη την πορεία του προσπάθησε να θέτει τα ερωτήματα με συγκεκριμένο τρόπο και να μην παρασύρεται προς μια γενική παραδοχή ή απόρριψη. Θεωρεί λογικό η αποτυχία του θεωρήματος της ισοκατανομής να δίνει έδαφος στην ερμηνεία του Planck. Δεν την απορρίπτει, δεν την αντικρούει στην ουσία της, μένει σε αυτά που ο ίδιος έχει υποστηρίξει, τα οποία σε κανένα σημείο δεν αναιρεί ή επαναπροσδιορίζει με βάση τη θεωρία του Planck, αναγνωρίζει όμως την ίδια ώρα ότι τις συνέπειες αυτής της ερμηνείας τις επεξεργάζονται ικανοί άνθρωποι, βλέποντας τη συνέχεια στην έρευνα. Ο μόνος χαρακτηρισμός που θα κάνει για τον ισχυρισμό του Planck είναι ότι του φαίνεται παράδοξος. Αυτό που όμως θα πει ή μάλλον θα ομολογήσει όπως χαρακτηριστικά γράφει είναι ότι δεν του αρέσει μια τέτοια εικόνα για τι πραγματικά συμβαίνει στο μικρόκοσμο. Η χρήση των ρημάτων είναι ενδεικτική και φαίνεται ότι το κριτήριο του δεν πηγάζει αμιγώς από τα επιστημονικά δεδομένα αλλά εντάσσει ευρύτερα κριτήρια προσέγγισης. Τέλος δείχνει πως αναζητά στο πείραμα να δώσει την απάντηση για το αν είναι να απορριφθεί η υπόθεση του Boltzmann και του Jeans ότι μπορεί η αποκατάσταση της ισορροπίας να απαιτεί μεγάλα χρονικά διαστήματα και αυτό να είναι μια διαφυγή από το πρόβλημα της ισοκατανομής. Τον καθοριστικό ρόλο του πειράματος, το οποίο βάζει στη θέση του τελικού κριτή, την έχει επαναλάβει και σε παλιότερο άρθρο του, όπως έχουμε ήδη δει. Μια λύση σαν αυτή που προτείνει ο Jeans είναι καταρχήν αποδεκτή από τον Rayleigh, όπως είδαμε και στο σχόλιο που είχε κάνει στο άρθρο του 1905 όταν έγραφε:²³

"Ακόμα και εάν λεπτά αντικαταστήσουν τα χρόνια, πρέπει νομίζω να παραδεχθούμε ότι ο νόμος της ισοκατανομής συμφιλιώνεται με όλα εκείνα που είναι απολύτως επι-

²³"The Dynamical Theory of Gases and of Radiation." *Scientific Papers* v. V

βεβαιωμένα από τα πειράματά μας στις ειδικές θερμότητες, τα οποία ήταν κάπως αδρά σε όλες τις περιπτώσεις και ατελή ειδικά σε ότι έχει σχέση με το τι μπορεί να συμβεί σε μεγάλα χρονικά διαστήματα."

Η λύση του Jeans είναι μια λύση εντός του πλαισίου. Παρόλα αυτά δεν γίνεται ο ίδιος ανοιχτός υπερασπιστής της, δείχνει όμως ότι την αποδέχεται, ενώ στο γράμμα μένει μόνο στην ερώτηση για το αν υπάρχει κάποιο πείραμα που με αποφασιστικό τρόπο να τη διαψεύδει. Όλα αυτά τα στοιχεία είναι εμφανή σε αυτό το γράμμα και αποτυπώνουν σε μεγάλο βαθμό την άποψη του. Όμως η αναφορά στην άποψη του και μόνο δεν μπορεί να δώσει την πλήρη εικόνα και το ρόλο που έπαιξε για τις προκλήσεις που δέχθηκε η μηχανοκρατική αντίληψη του κόσμου με βάση το θεώρημα της ισοκατανομής που εδώ κυρίως εξετάζουμε. Και αυτό ακόμα και αν ο ίδιος ο Rayleigh εκκινούσε από την οντολογία των σωματιδίων σε κίνηση, αν έκανε χρήση μηχανικών μοντέλων ή πολύ περισσότερο της αναλυτικής δυναμικής του Lagrange, χωρίς την ανάγκη καταφυγής σε κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο, αλλά ενταγμένη στη μηχανιστική προσέγγιση της φυσικής. Το έργο του έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των συνθηκών της διαμάχης που έλαβε χώρα. Όσο απαραίτητο είναι το να βλέπει κανείς στην ιστορία των επιστημών ανθρώπους που προτείνουν, διαμορφώνουν, επιβεβαιώνουν, απορρίπτουν ή ό,τι άλλο μια δεδομένη θεωρία, ανθρώπους φορείς συγκεκριμένων απόψεων, ιδεολογίας, ανθρώπους που η στάση τους σε ένα δεδομένο σημείο του χώρου και του χρόνου ήταν αποτέλεσμα ενός πλήθους παραγόντων που δεν μπορούν να αγνοούνται, τόσο αναγκαίο είναι να βλέπει και το ίδιο το έργο στο σχετικό επίπεδο αυτονομίας του, με όλες τις αντιφάσεις ή αντιθέσεις που μπορεί αυτό να έχει και τι μπορεί αυτό να προκάλεσε, λόγω ακριβώς αυτών των αντιφατικών όψεων και στην αλληλεπίδραση του με υπόλοιπα έργα ανθρώπων και καταστάσεις, στο δεδομένο χώρο και το δεδομένο χρόνο.

Υπό αυτή την έννοια το έργο του Rayleigh εκκινούσε από την μηχανοκρατική εξήγηση αλλά ο στόχος της εσωτερικής συνέπειας που έθετε ο Rayleigh τον οδηγούσε στο συμπέρασμα ότι το πρόβλημα του θεωρήματος της ισοκατανομής ήταν ουσιαστικά πρόβλημα της γενικής μηχανικής. Και επειδή δεν μπορούσε να αρκεστεί σε ένα απλώς και μόνο θεωρητικό κατασκεύασμα, με τις όποιες παραδοχές, αλλά την ίδια ώρα έπρεπε να λάβει υπόψιν του τα πειραματικά δεδομένα, το όλο εγχείρημα ερχόταν μπροστά σε ένα δυσε-

πίλυτο πρόβλημα. Το ίδιο το έργο του ενταγμένο πλήρως από άποψη αφετηρίας στη μηχανοκρατική εξήγηση όξυνε τις αντιφάσεις που δεδομένα υπήρχαν λόγω της διάστασης των προβλέψεων του θεωρήματος ισοκατανομής, με τις τιμές του λόγου των ειδικών θερμοτήτων και της φασματοσκοπίας, ανάγοντας το πρόβλημα στη γενική μηχανική. Την ίδια ώρα ο Rayleigh, γινόταν ένας από τους κύριους στόχους των πυρών του Kelvin, που στόχο είχε να διατηρήσει ακέραιη τη δυναμική θεωρία των αερίων, και τη δυνατότητα μιας εννοιολογικής συνοχής πάνω στην οντολογία των κινούμενων σωματιδίων. Η υπεράσπιση του θεωρήματος της ισοκατανομής ήταν το ίδιο απειλή όπως και το θεώρημα. Δεν είναι όμως ότι ο Rayleigh είχε κάποιο διαφορετικό στόχο. Τις προσπάθειες που έκανε ο Kelvin να καταρρίψει το θεώρημα της ισοκατανομής με κρίσιμα παραδείγματα, πάλι ο Rayleigh τα κατέρριπτε ξεκινώντας από τις βασικές αρχές της μηχανικής και διεκδικώντας μια εσωτερική συνέπεια. Αυτό όξυνε ακόμα πιο πολύ, όχι μόνο την αντιπαράθεση αλλά το ίδιο το πρόβλημα. Όσον αφορά την ακτινοβολία του μέλανος σώματος και εκεί οι επεξεργασίες του Rayleigh πήγαν την μηχανοκρατική εξήγηση στο όριο της. Όπως είδαμε ο Lorentz έδειξε λίγο αργότερα ότι αυτός ήταν ο μόνος νόμος που θα μπορούσε να καταλήξει με τις δεδομένες παραδοχές της μηχανικής. Όμως αυτός ο νόμος ερχόταν σε μια άμεση αντίφαση με τα πειραματικά δεδομένα. Έθετε αντικειμενικά προκλήσεις στην ίδια την εννοιολογική συνοχή και το πλαίσιο της φυσικής, ακόμα και αν αυτός δεν ήταν ο στόχος του Rayleigh. Σε όλα αυτά πρέπει να προσθέσει κανείς και το ζήτημα της μη αντιστρεψιμότητας και του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, τις προκλήσεις που έθεταν στην μηχανική, κάτι στο οποίο ο Rayleigh εφιστά επίσης την προσοχή. Αν θέλει κανείς να δει το πως προέκυψε το έργο και οι απόψεις του Rayleigh, ή το πως αλληλεπιδράσαν και με ποιο τρόπο το έκαναν με άλλους μελετητές και τα έργα τους τότε πρέπει να σταθεί και σε μια σειρά από άλλους παράγοντες κοινωνικούς ιστορικούς κλπ. Αν το ερώτημα δηλαδή είναι γιατί και με ποιο τρόπο ο Rayleigh με το έργο του πήρε μέρος στη δεδομένη διαμάχη, ποιοι ενεπλάκησαν και μια σειρά από άλλα ενδιαφέροντα τέτοια ερωτήματα τότε το επίπεδο απλά των ιδεών, ή των προκλήσεων που τίθενται σε μια θεωρία δεν μπορεί να δώσει την απάντηση. Η ίδια η μελέτη της κινητικής θεωρίας με ένα απλό παράδειγμα όπως αυτό του Waterston έχει καταδείξει το αδιέξοδο μιας γραμμικής και ισοπεδωτικής ταυτόχρονα εξέλιξης των ιδεών που συντελείται απρόσκοπτα και εκτός χρόνου ή τόπου.

Βιβλιογραφία

- [1] Γαβρόγλου, Κ. ([2004] 2013), *Το παρελθόν των Επιστημών ως Ιστορία*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- [2] Ψύλλος, Σ. (2008), *Επιστήμη και Αλήθεια. Δοκίμια στη Φιλοσοφία της Επιστήμης*. Αθήνα: Εκδόσεις Οκτώ.
- [3] Bernal, J.D ([1954] 1969), *Science in History* 4 vols. 3rd Edition London: Penguin Books.
- [4] Bowler, P. Morus, I ([2005] 2012), *Η ιστορία της Νεότερης Επιστήμης. Μια επισκόπηση*. Μτφρ. Β. Σπυροπούλου. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- [5] Brush, S. (2003), "Statistical Mechanics and the Philosophy of Science: Some Historical Notes" στο Brush S., Hall N. (eds) (2003) *The Kinetic Theory of Gases. An Anthology of Classic Papers with Historical Commentary*. London : Imperial College Press.
- [6] Clausius, R. (1857), "On the Nature of the Motion we call Heat." *Philosophical Magazine and Journal of Science* **14** (91): 108-127.
- [7] Clausius, R. (1858), "On the Mean Lengths of the Paths Described by the Separate Molecules of Gaseous Bodies." στο Brush S., Hall N. (eds) (2003) *The Kinetic Theory of Gases. An Anthology of Classic Papers with Historical Commentary*. London : Imperial College Press.
- [8] Cushing, J.T ([1998] 2003), *Φιλοσοφικές Έννοιες στη Φυσική*. Μτφρ. Μ. ορφανού, Σ. Γιαννέλης. Αθήνα: Leader Books.
- [9] Darrigol, O. (1992), *From c-numbers to q-numbers*. California: University of California Press.
- [10] Fraser, C.G. (1989), "The Calculus as Algebraic Analysis: Some Observations on Mathematical Analysis in the 18th Century." *Archive for History of Exact Sciences* **39**(4): 317-335.
- [11] Garber, E. (1978), "Molecular Science in Late-Nineteenth-Century Britain." *Historical Studies in the Physical Sciences* **9** :265-297.
- [12] Hankins, T. ([1989] 1998), *Επιστήμη και Διαφωτισμός*. Μτφρ. Γ. Γκουνταρούλης. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- [13] Harman, P.M. ([1982] 1994), *Ενέργεια, Δύναμη και Ύλη. Η εννοιολογική εξέλιξη της*

Φυσικής κατά τον 19ο αιώνα. Μτφρ. Τ. Τσιαντούλας. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

- [14] Harman, P.M. (1984), (ed.) *Wranglers and the Physicists. Studies on Cambridge Physics in the Nineteenth Century*. Manchester: Manchester University Press.
- [15] Hollinger, H.B Zenzen, M.J (1985), *The Nature of Irreversibility: A Study of Its Dynamics and Physical Origins*. Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- [16] Jammer, M. (1966), *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. New York: McGraw-Hill.
- [17] Kuhn, T.S (1978), *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity 1894-1912*. Chicago: University of Chicago Press
- [18] Maxwell, J.C. (1960), "Illustrations of the Dynamical Theory of Gases" στο *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. v.I New York: Dover Phoenix Editions (1965)
- [19] Maxwell, J.C. (1861,) "On Physical lines of Force." Part I and Part II στο *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. v.I New York: Dover Phoenix Editions (1965)
- [20] Maxwell, J.C. (1864), "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field." στο *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. v.I New York: Dover Phoenix Editions (1965)
- [21] Maxwell, J.C. (1867), "On the Dynamical Theory of Gases." στο *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. v.II New York: Dover Phoenix Editions (1965)
- [22] Maxwell, J.C. (1871), "Atom." στο *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. v.II New York: Dover Phoenix Editions (1965)
- [23] Maxwell, J.C. (1873), "Molecules." στο *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. v.II New York: Dover Phoenix Editions (1965)
- [24] Maxwell, J.C. (1876), "On Boltzmann's Theorem on the Average Distribution of Energy in a System of Material Points" στο *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. v.II New York: Dover Phoenix Editions (1965)
- [25] Mehra, J. (1975), *The Solvay Conferences on Physics. Aspects of the Development of Physics Since 1911*. Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- [26] Merton, R.K. (1938), "Science and Technology in the 17th Century England." *Osiris* **4**: 360-632.

- [27] Morus, I. (2005), *When Physics Became King*. Chicago: University of Chicago Press.
- [28] Planck, M. (1901), "On the Law of Distribution of Energy in Normal Spectrum." *Annalen der Physik* **4** (553):1. Rayleigh, Lord (1870), "On the theory of Resonance." στο *Scientific Papers* v.I Cambridge: Cambridge University Press.
- [29] Rayleigh, Lord (1871), "On the Light from the Sky, its Polarization and Colour." στο *Scientific Papers* v.I Cambridge: Cambridge University Press.
- [30] Rayleigh, Lord (1884), "Presidential Address" στο *Scientific Papers* v.II Cambridge: Cambridge University Press.
- [31] Rayleigh, Lord (1888), "On the Relative Densities of Hydrogen and Oxygen." στο *Scientific Papers* v.III Cambridge: Cambridge University Press.
- [32] Rayleigh, Lord (1891), "On Van Der Waals' Treatment of Laplace's Pressure in the Virial Equation: Letter to Professor Tait." στο *Scientific Papers* v.III Cambridge: Cambridge University Press.
- [33] Rayleigh, Lord (1891), "On the Virial of a System of Hard Colliding Bodies" στο *Scientific Papers* v.III Cambridge: Cambridge University Press.
- [34] Rayleigh, Lord (1892), "On the Relative Densities of Hydrogen and Oxygen II" στο *Scientific Papers* v.III Cambridge: Cambridge University Press.
- [35] Rayleigh, Lord (1892), "On the Physics of Media that are composed of Free and Perfectly Elastic Molecules in a State of Motion." στο *Scientific Papers* v.III Cambridge: Cambridge University Press.
- [36] Rayleigh, Lord (1892), "Density of Nitrogen." στο *Scientific Papers* v.IV Cambridge: Cambridge University Press.
- [37] Rayleigh, Lord (1893), "Densities of the Principal Gases." στο *Scientific Papers* v.IV Cambridge: Cambridge University Press.
- [38] Rayleigh, Lord (1894), "On an Anomaly encountered in Determinations of the Density of Nitrogen Gas." στο *Scientific Papers* v.IV Cambridge: Cambridge University Press.
- [39] Rayleigh, Lord (1895), "Argon, a New Constituent of the Atmosphere." στο *Scientific Papers* v.IV Cambridge: Cambridge University Press.
- [40] Rayleigh, Lord (1895), *Argon*. στο *Scientific Papers* v.IV Cambridge: Cambridge University

Press.

[41] Rayleigh, Lord (1900), "The Law of Partition of Kinetic Energy." στο *Scientific Papers* v.IV Cambridge: Cambridge University Press.

[42] Rayleigh, Lord (1900), "Remarks upon the Law of Complete Radiation." στο *Scientific Papers* v.IV Cambridge: Cambridge University Press.

[43] Rayleigh, Lord (1905), "The Dynamical Theory of Gases and of Radiation." στο *Scientific Papers* v.V Cambridge: Cambridge University Press.

[44] Rayleigh, Lord (1905), "On the Pressure of Gases and the Equation of Virial." στο *Scientific Papers* v.VI Cambridge: Cambridge University Press.

[45] Rayleigh, Lord (1911), "Letter to Professor Nernst." στο *Scientific Papers* v.VI Cambridge: Cambridge University Press.

[46] Serway, R., Moses, C., Moyer, C.([1989] 2001), *Σύγχρονη Φυσική*. Μτφρ. Γ. Ζουπά-
νος, Ε. Λιαροκάπης, Σ. Παπαδόπουλος, Κ. Ράπτης. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις
Κρήτης.

[47] Strutt, R. ([1924] 1968), *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*. Madison:
University of Winsconsin Press.

[48] Thomson, W. and Tait, P. ([1867] 2009), *Treatise on Natural Philosophy*. Cambridge:
Cambridge University Press.

[49] Thomson, W. (1875), "On the Kinetic Theory of the Dissipation of Energy." *Proceedings
of the Royal Society of Edinburgh* **8**: 325-334.

[50] Thomson, W. (L. Kelvin) (1900), "Nineteenth Century clouds over the Dynamical
Theory of Heat and Light." *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine
and Journal of Science* **2**(7): 1-40.

[51] Torretti, R. ([1999] 2012), *Η Φιλοσοφία της Φυσικής*. Μτφρ. Α. Σπανού. Ηράκλειο:
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

[52] Warwick, A. (2003), *Masters of Theory: Cambridge and the Rise of Mathematical
Physics*. Chicago: University of Chicago Press.