



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

Σχολή Θετικών Επιστημών
ΠΜΣ Ιστορία και Φιλοσοφία της Επιστήμης και της
Τεχνολογίας

Διπλωματική Εργασία
«Από τον πυρήνα στον εγκέφαλο. Η σύγχρονη Νευροεπιστήμη
υπό το πρίσμα της Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας».

Γιώργος Ροδαμνάκης ΑΜ: 22/011

Τριμελής Επιτροπή:
Καθηγητής Αραμπατζής Θεόδωρος (επιβλέπων), Επίκουρη Καθηγήτρια
Βλαντώνη Αικατερίνη, Επίκουρος Καθηγητής Ιωαννίδης Σταύρος

Αθήνα 2024

Περίληψη.

Η έννοια της Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας (Big Science) χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να περιγράψει ένα είδος επιστήμης που χαρακτηρίζονταν από υψηλή χρηματοδότηση, μεγάλων διαστάσεων επιστημονικά όργανα, πολυπληθές ανθρώπινο δυναμικό και έντονη αλληλεπίδραση με τις πολιτικές και κοινωνικές δυνάμεις της εκάστοτε εποχής. Σημείο αναφοράς της Big Science αποτελεί η μεγέθυνση της φυσικής, κατά την διάρκεια του Manhattan Project. Μεταγενέστερα, καθώς άλλες επιστήμες, όπως η βιολογία μέσω του Human Genome Project, μπήκαν σε τροχιά μεγέθυνσης κάποια από τα παραπάνω χαρακτηριστικά παρέμειναν σταθερά, ενώ, άλλα, όπως οργανωτική δομή και ο τεχνολογικός εξοπλισμός, ήταν πολύ διαφορετικά. Στην εργασία αυτή μελετάται ο βαθμός κατά τον οποίο η Big Science έχει παγιωμένα χαρακτηριστικά ανά επιστήμη ή εποχή. Επιπλέον παρουσιάζεται, το Human Brain Project (HBP), ένα σύγχρονο παράδειγμα ευρωπαϊκής Big Science. Η δημιουργία του ως μέσο αντιμετώπισης της οικονομικής κρίσης που μαστίζε την Ευρωπαϊκή Ένωση, φανερώνει μια σαφή αλληλεπίδραση με τις πολιτικό status quo της Ευρώπης. Ακόμα, η διαμάχη που σημάδεψε την πορεία του και η κατάληξη του, εγείρουν ερωτήματα, αφενός, για το κατά πόσο μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα επιτυχημένο πρόγραμμα και, αφετέρου, για την βαρύτητα που δόθηκε στην επίτευξη του τελικού στόχου του HBP, την κατασκευή, δηλαδή, ενός μοντέλου ολόκληρου του ανθρώπινου εγκεφάλου.

Λέξεις κλειδιά: Επιστήμη Μεγάλης Κλίμακας, Big Science, Νευροεπιστήμη, Human Brain Project.

Abstract.

The term Big Science was initially used for a particular kind of science characterised by high finance, large scientific instruments, numerous personnel, and a strong interaction with the social and political status quo of its era. The initial case in point of Big Science is Manhattan Project, where physics underwent a significant and unprecedented enlargement. Later, as other scientific fields, such as biology, faced enlargement as well, some of the above-mentioned characteristics remained constant, while others, such as the organizational infrastructure and the scientific equipment that was used, were very different. In this dissertation, it is examined whether Big Science has permanent characteristics regardless of which scientific field or era is under consideration. In addition, Human Brain Project (HBP), an example of European Big Neuroscience, is presented as a case study. HBP was created to counteract the economic crisis that plagued Europe, a fact that implies a strong interaction between itself and both the financial and political needs of the continent. Furthermore, the controversy that marked its course and its outcome raise questions, such as whether HBP can be characterized as a successful program or whether its final goal, the construction, that is, of a model of the entire human brain, was considered as a realistic endeavour.

Keywords: Big Science, Human Brain Project (HBP), Neuroscience, Big Neuroscience.

Πίνακας Περιεχομένων.

Περίληψη	i
Abstract	ii
Πίνακας Περιεχομένων.....	iii
1. Η Big Science	1
1.1 Η μεγέθυνση της Φυσικής	2
1.1.1 Τα πρώτα ψήγματα της Big Science.....	2
1.1.2 Η Φυσική κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο	3
1.2 Η Φυσική κατά τον Ψυχρό Πόλεμο.....	5
1.3 Η Φυσική ως προπομπός της Βιολογίας Μεγάλης Κλίμακας.....	9
1.3.1 Τα ραδιοϊσότοπα.....	9
1.3.2 Η Βιολογία ως εξιλέωση της Φυσικής	11
2. Η Βιολογία Μεγάλης Κλίμακας	13
2.1 Ο δρόμος προς την μεγέθυνση.....	13
2.2 Το Human Genome Project	16
2.2.1 Το τεχνικό υπόβαθρο.....	16
2.2.2 Τα πρώτα βήματα του HGP.....	19
2.2.3 Η σύγκρουση δύο γιγάντων.....	20
2.2.4 Η εκκίνηση του HGP.....	22
2.3 Οι επιδράσεις του HGP στην σύγχρονη βιολογική έρευνα.....	24
2.3.1 Βιοηθική και ο ανταγωνισμός δημόσιου - ιδιωτικού τομέα.	24
2.3.2 Η έννοια της Big Biology	27

3. Η Νευροεπιστήμη Μεγάλης Κλίμακας	29
3.1 Μια σύντομη εισαγωγή στη Νευροεπιστήμη	29
3.2 Το Human Brain Project.....	31
3.2.1 Μια εισαγωγή στην υπολογιστική Νευροεπιστήμη	32
3.2.2 Ο πρωταγωνιστής του HBP	36
3.2.3 Η οργάνωση του HBP.....	37
3.2.4 Η πρόταση για την δημιουργία του HBP	39
3.2.5 Το γράμμα.....	43
3.2.6 Οι πρώτες συνέπειες της διαμάχης.....	46
4. Η Νευροεπιστήμη εντός και εκτός πολιτικών ορίων.....	48
4.1 Η πολιτική διάσταση του HBP	48
4.1.1. Η ανομοιογένεια της ΕΕ	48
4.1.2. Η ευρωπαϊκή οικονομική κρίση	49
4.1.3. Το ισοζύγιο πολιτικής και επιστήμης	51
4.1.4 Οι πολιτικές προεκτάσεις του γράμματος	53
4.2 Επίλογος.....	56
5. Βιβλιογραφία	61

1. Η Big Science.

Η έννοια της Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας (Big Science)¹, χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει την επιστήμη -κυρίως τη φυσική- κατά την περίοδο του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και έπειτα. Οι τότε προσπάθειες κατασκευής της ατομικής βόμβας οδήγησαν στην έναρξη του Manhattan Project (MP) και μέσω αυτού σε μία πρωτοφανή κινητοποίηση επιστημονικού δυναμικού, οικονομικών πόρων και τεχνολογικών εφαρμογών. Ο ίδιος ο όρος Big Science είναι μεταγενέστερος και διατυπώνεται από τον Alvin Weinberg, ο οποίος για να τονίσει την σημασία της επιστήμης και της τεχνολογίας στην εποχή του κάνει έναν παραλληλισμό μεταξύ των επιταχυντών στοιχειωδών σωματιδίων και των πυραμίδων της Αρχαίας Αιγύπτου (Weinberg 1961, 161). Ενώ, όπως αναφέρει, οι πυραμίδες κτίστηκαν στο όνομα της θρησκευτικής αλήθειας, οι επιταχυντές κατασκευάστηκαν στο όνομα της επιστημονικής.

Όπως όμως θα γίνει σαφές παρακάτω, η επιστημονική αλήθεια δεν ήταν ούτε το αποκλειστικό ούτε το πρωτεύον κίνητρο για την κατασκευή των μεγάλων μηχανών που χαρακτήριζαν την Big Science των μέσων του 20^{ού} αιώνα. Αντίθετα, μεγάλο μέρος της ώθησης προς την ανάπτυξη της οφείλεται σε στρατηγικές και πολιτικές παραμέτρους. Η αδιαμφισβήτητη αποτελεσματικότητα της ατομικής βόμβας απέδειξε την επίδραση που θα μπορούσαν να έχουν η επιστήμη και η τεχνολογία στην παγκόσμια γεωπολιτική σκακιέρα, δίνοντας έτσι πολύ ισχυρά κίνητρα για την μεγέθυνση -αρχικά- της φυσικής. Η μεγέθυνση αυτή συνεχίστηκε και κατά την διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου, όπου η Φυσική Μεγάλης Κλίμακας είχε κομβική σημασία στο πεδίο του ανταγωνισμού μεταξύ ΗΠΑ και ΕΣΣΔ για τα επιστημονικά πρωτεία και τις τεχνολογικές καινοτομίες που μπορούσαν να μετουσιωθούν στην ανάπτυξη όπλων και να δώσουν εν γένει το προβάδισμα σε ένα από τα δυο στρατόπεδα (Weinberg, 1961 και Graham, 1992).

Πέραν όμως της φυσικής, κατά την διάρκεια του δεύτερου μισού του 20^{ού} αιώνα καθώς και του 21^{ου}, και άλλες επιστήμες, όπως η βιολογία, πέρασαν σε μία κατάσταση μεγέθυνσης. Ειδικότερα, προγράμματα όπως το Human Genome Project (HGP) και το Human Brain Project (HBP), χρηματοδοτήθηκαν γενναιόδωρα και απασχόλησαν πολυπληθές επιστημονικό δυναμικό.

1. Οι έννοιες Επιστήμη Μεγάλης Κλίμακας (Φυσική και Βιολογία) και αντίστοιχα οι Big Science, Big Physics και Big Biology χρησιμοποιούνται ως ισοδύναμες σε όλη την έκταση του κειμένου.

Επιπλέον, ακολουθώντας την παράδοση της φυσικής, τα προγράμματα αυτά είχαν σχέσεις συνάφειας με τα εκάστοτε πολιτικά και κοινωνικά συμφέροντα της εποχής τους. Φαίνεται, λοιπόν, να δημιουργήθηκε μετά το 1945 μια τάση διόγκωσης που επηρέασε παραπάνω από μία επιστήμες. Για το λόγο αυτό, εάν θελήσει κανείς να μελετήσει περιπτώσεις Βιολογίας Μεγάλης Κλίμακας, χρήσιμο θα ήταν να πιάσει το νήμα από τις απαρχές της Big Science.

1.1 Η μεγέθυνση της Φυσικής.

1.1.1 Τα πρώτα ψήγματα της Big Science.

Όπως ειπώθηκε παραπάνω, εάν θελήσουμε να προσδιορίσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της Big Science όπως αυτή πρωτοεμφανίζεται, θα πρέπει να επικεντρωθούμε στην Φυσική Μεγάλης Κλίμακας (Big Physics) των μέσων του 20^{ού} αιώνα. Παρεμπιπτόντως, ο ίδιος ο Weinberg ήταν φυσικός και διευθυντής του Oak Ridge National Laboratory που αποτελούσε τμήμα του MP και ήταν ένα από τα πέντε Εθνικά Εργαστήρια (National Laboratories) τα οποία τέθηκαν μεταπολεμικά υπό την αιγίδα της ισχυρής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (Atomic Energy Commission, AEC). Μερικά βέβαια από τα χαρακτηριστικά της φυσικής που θα αναφερθούν είχαν ήδη κάνει την εμφάνισή τους νωρίτερα από τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, έστω και σε ένα πρώιμο στάδιο. Επιπλέον, το φαινόμενο της πυρηνικής σχάσης στο οποίο βασίστηκε η κατασκευή της βόμβας παρατηρήθηκε για πρώτη φορά την δεκαετία του 1930 (Arabatzis 2018, 217). Πριν προχωρήσουμε λοιπόν στην περιγραφή της Big Physics αξίζει τον κόπο να γίνει μια σύντομη αναφορά στις πρώιμες εμφανίσεις κάποιων χαρακτηριστικών της.

Ορισμένοι συγγραφείς όπως ο Hughes (2003, 15-18), διακρίνουν στοιχεία Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας στην κατασκευή από τον William Parsons του τηλεσκοπίου Leviathan of Parsonstown στην Ιρλανδία της δεκαετίας του 1840 και στην ίδρυση του Lick Observatory στην Καλιφόρνια της δεκαετίας του 1880. Οι δύο αυτές περιπτώσεις φαίνεται να ομοιάζουν με την Big Science λόγω της χρήσης επιστημονικών οργάνων μεγάλων διαστάσεων. Επιπλέον, ήδη από το ξέσπασμα του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου, ένα μέρος της επιστημονικής κοινότητας βρέθηκε στρατευμένο στην προσπάθεια επίλυσης μιας σειράς προβλημάτων που ήταν κομβικά για την έκβαση των συγκρούσεων. Τέτοια προβλήματα ήταν η εύρεση τρόπου αντιμετώπισης των

υποβρυχίων -τα οποία εμφανίζονταν για πρώτη φορά στο προσκήνιο-, η ανάπτυξη χημικών και αντιαεροπορικών όπλων και η επίτευξη ασύρματων επικοινωνιών. Οι προσπάθειες αυτές καθιστούσαν αναγκαία την σύμπραξη ανάμεσα σε στρατιωτικό και επιστημονικό προσωπικό αλλά και την διεπιστημονική συνεργασία κυρίως μεταξύ μαθηματικών, χημικών, φυσικών και μηχανικών. Όπως θα διατυπωθεί και παρακάτω και τα δύο χαρακτηριστικά αυτά αποτελούν βασικά γνωρίσματα της Big Physics.

Πέραν των παραπάνω, στοιχεία Big Science μπορούμε να βρούμε και στην δημιουργία νέων δομών προώθησης της επιστημονικής έρευνας, όπως το Department of Scientific and Industrial Research (DSIR) που ιδρύθηκε στην Βρετανία με αφορμή τον (πρώτο παγκόσμιο) πόλεμο αλλά διατήρησε και επέκτεινε την δράση του στη συνέχεια. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός πως η κυβερνητική χρηματοδότηση αυξάνεται κατακόρυφα στην Βρετανία, όπου περί το 1923 η ετήσια δαπάνη για την έρευνα στην φυσική άγγιζε το ποσό του ενός εκατομμυρίου λιρών, είναι ενδεικτικά του κλίματος της εποχής. (Hughes 2003, 30). Ένα επιπλέον παράδειγμα από τις ΗΠΑ είναι η με βάση κυβερνητικούς πόρους κατασκευή του κύκlotρου -ενός επιταχυντή σωματιδίων- στο Πανεπιστήμιο Berkley υπό τις οδηγίες του Ernest Lawrence (Hallonsten 2016, 44, 51). Τα κύκlotρα, γρήγορα άρχισαν να εμφανίζονται και σε άλλες χώρες της Ευρώπης όπως η Γερμανία, η Δανία και το Ηνωμένο Βασίλειο, εν μέρει διότι διαπιστώθηκε πως ήταν χρήσιμα για την δημιουργία ραδιοϊσοτόπων τα οποία, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, μπορούσαν να διατεθούν στην ιατρική ως θεραπεία για διάφορα είδη καρκίνων. Η εξάπλωση αυτή μαζί με το γεγονός πως τα κύκlotρα γίνονταν ολοένα και μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα έκαναν απαραίτητη τη συνεργασία επιστημόνων και μηχανικών, δημιουργώντας έτσι ακόμα μια πρώιμη συνθήκη της Big Physics.

1.1.2 Η Φυσική κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο.

Αναφέρθηκε ήδη, πως το Manhattan Project ήταν η αφορμή για μια γιγαντιαία ανάπτυξη της επιστημονικής δραστηριότητας. Ας μην ξεχνάμε, άλλωστε, πως στο απόγειο του απασχολούσε 130.000 ανθρώπους, αριθμός που ήταν ίσος με το προσωπικό όλης της αυτοκινητοβιομηχανίας των ΗΠΑ (Hughes 2003, 9). Από την άλλη μεριά βέβαια, έχει διατυπωθεί από τον de Solla Price (1963, 3-5) η άποψη πως η σημασία του MP στην δημιουργία της Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας δεν ήταν τόσο

καθοριστική και πως η επιστήμη είχε ήδη μπει σε μια τροχιά μεγέθυνσης. Η μεγέθυνση αυτή κυοφορούνταν για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα -σαν παράδειγμα αναφέρεται χαρακτηριστικά το έργο του Tycho Brahe το 16^ο αιώνα. Με άλλα λόγια η θέση του de Solla Price είναι πως η μετάβαση στην Big Science έγινε σταδιακά και σε μεγάλο εύρος χρόνου.

Όπως και να έχει, δεν μπορούμε να αγνοήσουμε το ΜΡ εάν θέλουμε να εξηγήσουμε την σημασία που απέκτησε η φυσική κατά την διάρκεια του πολέμου και διατήρησε μετά από αυτόν. Εν πολλοίς, η ιστορία του ξεκίνησε με την παρατήρηση του φαινομένου της πυρηνικής σχάσης αρκετά χρόνια νωρίτερα (Mills & Mills 2020, 21-22). Το φαινόμενο αυτό αρχικά εντοπίστηκε όταν διαπιστώθηκε πως ο βομβαρδισμός του ουρανίου από νετρόνια οδηγούσε στην παραγωγή του στοιχείου βαρίου, μέσω μιας διαδικασίας που απελευθέρωνε μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Δεν άργησε να γίνει σαφές ότι εάν επαρκής αριθμός νετρονίων απελευθερωνόταν από κάθε προηγούμενη διάσπαση, τότε, μέσω μιας αλυσιδωτής αντίδρασης, η ενέργεια που θα εκλυόταν θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια πολύ ισχυρή έκρηξη. Όπως ήταν επόμενο, η διαπίστωση αυτή δεν περιορίστηκε σε μία χώρα αλλά μέχρι την έναρξη του πολέμου η πυρηνική σχάση είχε αναπαραχθεί σε διάφορα εργαστήρια στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ (Hughes 2003, 47).

Στο πλαίσιο αυτό, η διάδοση τόσο των κυκλότρων που αναφέρθηκαν παραπάνω όσο και της θεωρητικής γνώσης της διάσπασης του ουρανίου προκάλεσε ανησυχία για την πιθανότητα ανάπτυξης ατομικών όπλων από την Ναζιστική Γερμανία. Το ενδεχόμενο αυτό που ήταν βέβαιο (Grunden & Walker & Yamazaki 2005, 112-113) δεν μπορούσε να μην αντιμετωπιστεί και οδήγησε αρχικά την Βρετανία στην έναρξη του προγράμματος Tube Alloys που στόχο είχε την δημιουργία της βόμβας ουρανίου. Αντίστοιχα στις ΗΠΑ, υπήρχαν φωνές που καλούσαν για την δημιουργία ενός παρόμοιου προγράμματος, μεταξύ των οποίων και ο Α. Einstein που απηύθυνε μια επιστολή για το θέμα αυτό στον τότε πρόεδρο F. Roosevelt. Τελικά το πρόγραμμα που ξεκίνησε με καθυστέρηση -ας μην ξεχνάμε πως οι ΗΠΑ μπήκαν στον πόλεμο μετά την καταστροφή του Pearl Harbor το Δεκέμβριο του 1941- ονομάστηκε Manhattan Project λόγω της τοποθέτησης των κεντρικών γραφείων του στο Manhattan της Νέας Υόρκης.

Η γενική διεύθυνση του ΜΡ περιήλθε στον στρατηγό L. Groves ενώ επιστημονικός διευθυντής ήταν ο θεωρητικός φυσικός R. Oppenheimer. Σαν τοποθεσία για τις πρώτες απόπειρες κατασκευής της βόμβας επιλέχθηκε το Los Alamos στην Πολιτεία του Νέου Μεξικού. Στο εργαστήριο αυτό, το οποίο λειτουργούσε υπό εντατικούς ρυθμούς και προς την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου, συγκεντρώθηκε όλο και μεγαλύτερος αριθμός προσωπικού που κατανεμήθηκε σε COGN ξεχωριστά τμήματα: θεωρίας, πειραματικής φυσικής, χημείας, πυρομαχικών και μηχανικής και διοίκησης (Hughes 2003, 66). Όπως θα δούμε και παρακάτω, η διάκριση ρόλων και η κατανομή των ερευνητικών εργασιών σε τομείς είναι χαρακτηριστικά της Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας και μετά τον πόλεμο.

Δυστυχώς, τα αποτελέσματα του ΜΡ είναι λίγο έως πολύ γνωστά. Εάν και η αρχική απειλή προερχόταν από την Ναζιστική Γερμανία, η χρήση της βόμβας έγινε τελικά εναντίον της Ιαπωνίας αναγκάζοντας την σε άνευ όρων παράδοση. Επιπλέον, η ρίψη της βόμβας στις 6 και 9 Αυγούστου 1945 είχε δύο συνέπειες που μας ενδιαφέρουν εδώ. Η πρώτη αναφέρθηκε ήδη και είναι ένα είδος proof of concept, δηλαδή μια επιβεβαίωση της χρησιμότητας της βασικής έρευνας στη φυσική -και κυρίως στην πυρηνική φυσική- για το παγκόσμιο γεωπολιτικό παιχνίδι. Η δεύτερη προήλθε από τις κοινωνικές -μέσα και έξω από την επιστημονική κοινότητα- αντιδράσεις που τοποθετήθηκαν ενάντια στην χρήση ενός τόσο καταστροφικού όπλου και που, όπως θα δούμε παρακάτω, είχαν κομβικό ρόλο στην μερική στροφή της Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας σε μορφές πιο ωφέλιμες για την ανθρώπινη ζωή και το περιβάλλον.

1.2 Η Φυσική κατά τον Ψυχρό Πόλεμο.

Παρά το γεγονός πως η Φυσική Μεγάλης Κλίμακας δεν προκύπτει εκ του μηδενός, μπορούν να εντοπιστούν σε αυτή σαφείς διαφοροποιήσεις σε σχέση με την προπολεμική φυσική. Αρχικά, μια προφανής διαφορά είναι η εκρηκτική αύξηση της χρηματοδότησης της έρευνας. Όπως αναφέρει ο Forman (1987, 152), στις αρχές της δεκαετίας του 1950, οι συνολικές στρατιωτικής προέλευσης δαπάνες για την έρευνα στις ΗΠΑ ήταν εικοσαπλάσιες των αντίστοιχων δαπανών πριν από τον πόλεμο. Είναι σημαντικό να τονιστεί πως, στην χρονική περίοδο που αναφερόμαστε, οι αμερικάνικες ένοπλες δυνάμεις χορηγούσαν την συντριπτική πλειοψηφία των κονδυλίων που προορίζονταν για την φυσική. Σύμφωνα με τον Pestre (2006, 30), στις αρχές της

δεκαετίας του 1950 η χρηματοδότηση της έρευνας στη φυσική στα δώδεκα κορυφαία πανεπιστήμια των ΗΠΑ ήταν στρατιωτικής προέλευσης κατά ένα ποσοστό 75 έως 100 τοις εκατό.

Από τα κονδύλια αυτά το μεγαλύτερο μέρος κατευθυνόταν προς την πυρηνική φυσική, η οποία είχε ήδη αποδείξει την σημασία της σε παγκόσμιο επίπεδο και υποσχόταν ακόμα μεγαλύτερες επιτυχίες εάν υποστηριζόταν οικονομικά. Αναλυτικότερα, ένα μεγάλο μέρος των χρημάτων στα οποία αναφερόμαστε αφορούσε την κατασκευή μεγάλων διαστάσεων μηχανών (επιταχυντών). Καθώς το μέγεθος ενός επιταχυντή αυξάνει όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια στην οποία επιταχύνονται τα σωματίδια εντός του, είναι ενδεικτικό το γεγονός πως, σύντομα μετά τον πόλεμο, οι ανώτατες ενέργειες που παράγονταν από τους διαθέσιμους επιταχυντές άγγιζαν τα 100 MeV από τα 10 MeV προπολεμικά (Bullard & Lovell & Deacon 1975, 521-522).

Δεύτερο, αναφέρθηκε ήδη η άνευ προηγουμένου κινητοποίηση ανθρώπινου δυναμικού που απαιτεί η πραγματοποίηση της Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας. Για να γίνει αυτό καλύτερα αντιληπτό ο Hughes (2003, 3-4) αντιπαραβάλλει την περίπτωση του E. Rutherford, ο οποίος στις αρχές του 20ού αιώνα δημοσίευε τα αποτελέσματα της έρευνας του ως ο μοναδικός συγγραφέας των αντίστοιχων άρθρων, με την δημοσίευση αποτελεσμάτων υπέρ της ύπαρξης των σωματιδίων W και Z από το CERN το 1983. Το συγκεκριμένο άρθρο αριθμούσε 138 συγγραφείς από 12 διαφορετικά εργαστήρια σε 8 διαφορετικές χώρες. Η διαφορά ανάμεσα στα δύο παραδείγματα είναι προφανής και καταδεικνύει την απόσταση ανάμεσα σε δύο διαφορετικές περιόδους. Αν και ο παλιότερος τρόπος ζωής ενός επιστήμονα, που κλεισμένος σε ένα εργαστήριο αντιμετώπιζε μόνος τα προβλήματα που έθετε εμπρός του η επιστήμη του, ανήκε, εν πολλοίς στο παρελθόν, η Επιστήμη Μεγάλης Κλίμακας έδωσε το τελειωτικό χτύπημα. Η συνεργασία μεταξύ μεγάλων ομάδων επιστημόνων μαζί με τις δυσκολίες που εμπεριέχει είχε γίνει απαραίτητο στοιχείο αυτής της νέας μορφής επιστήμης.

Πέραν όμως της αύξησης του επιστημονικού πληθυσμού, είναι χαρακτηριστικός της εποχής του τέλους του πολέμου και των χρόνων του Ψυχρού Πολέμου ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνονταν τον εαυτό τους οι ίδιοι οι επιστήμονες. Άνθρωποι όπως ο E. Fermi, ο A. Compton και ο R. Oppenheimer, οι οποίοι -λόγω και της συμμετοχής τους στο ΜΡ- ήταν ιδιαίτερα αναγνωρίσιμοι εντός και εκτός της επιστημονικής κοινότητας, τοποθετήθηκαν ρητά υπέρ της χρήσης της ατομικής βόμβας ως το βέλτιστο τρόπο για

τον τερματισμό του πολέμου (Kevles 1978, 336). Πρόκειται εδώ για μία απόφαση στρατηγικής υφής για την οποία συγκεκριμένοι επιστήμονες κλήθηκαν -εν μέσω πολεμικής σύγκρουσης- να πάρουν θέση. Αντιλαμβάνεται κανείς επομένως πως η βαρύνουσα σημασία των απόψεων των φυσικών σε αποφάσεις τέτοιου είδους τους έδινε και μιας μορφής εξουσία που δεν είχαν προηγουμένως.

Η εμπλοκή αυτή των φυσικών σε ζητήματα εθνικής ασφάλειας των ΗΠΑ συνεχίστηκε και κατά τον Ψυχρό Πόλεμο, κατά τον οποίο υπήρχε μια αυξανόμενη ανησυχία για το ενδεχόμενο δημιουργίας πυρηνικού οπλοστασίου από την ΕΣΣΔ. Ενδεικτικό είναι το σοκ που προκάλεσε στην Δύση η εκτόξευση του πρώτου τεχνητού δορυφόρου Sputnik από την ΕΣΣΔ το 1957 (Wang 1995, 329). Μπορεί το συγκεκριμένο επίτευγμα να μην είχε άμεση σχέση με την πυρηνική ενέργεια, εντασσόταν όμως στο ευρύτερο πλαίσιο του επιστημονικού ανταγωνισμού μεταξύ των δύο υπερδυνάμεων. Άλλωστε, η προσήλωση της Σοβιετικής Ένωσης στην επιστημονική ανάπτυξη είχε αναγνωριστεί από τους δυτικούς ήδη από την δεκαετία του 1920 (Graham 1992, 53) και, επιπλέον, ο τρόπος κατασκευής της βόμβας δεν απαιτούσε κάποια θεωρητική γνώση που να μην ήταν ήδη ευρέως διαδεδομένη. Στη σκέψη λοιπόν των δυτικών φυσικών και πολιτικών ήταν μόνο θέμα χρόνου η αμφισβήτηση της κυριαρχίας τους στον τομέα των πυρηνικών όπλων.

Με την ευκαιρία, αξίζει τον κόπο να ειπωθούν μερικά πράγματα για την Επιστήμη Μεγάλης Κλίμακας στην ΕΣΣΔ, καθώς μέχρι στιγμής έχουμε εστιάσει κυρίως στις ΗΠΑ. Αρκετά πάντως στοιχεία που χαρακτηρίζουν την αμερικάνικη φυσική μπορούν να εντοπιστούν και στις ευρωπαϊκές χώρες μεταπολεμικά, καθότι οι χώρες αυτές αντιμετώπιστηκαν, από τις ΗΠΑ, ως σφαίρα επιρροής. Σε κάθε περίπτωση, όπως αναφέρει ο Graham (1992, 51), γνωρίσματα που έχουμε ήδη περιγράψει, όπως το πολυπληθές επιστημονικό προσωπικό, η κεντρική οργάνωση της έρευνας και ο έλεγχος από πολιτικά κέντρα εξουσίας, μπορούν να εντοπιστούν και στη Σοβιετική Ένωση. Ο ίδιος, επικεντρώνεται σε τρεις πυλώνες της σοβιετικής επιστήμης δηλαδή τα Πανεπιστήμια, την Ακαδημία των Επιστημών και τον βιομηχανικό-αμυντικό τομέα. Η ιδιαίτερη σημασία της Ακαδημίας των Επιστημών και των πολλών επιστημονικών ινστιτούτων που είχε υπό την επίβλεψη της οφείλονταν στο γεγονός πως οι πολιτικοί ηγέτες της ΕΣΣΔ δεν εμπιστευόνταν -τουλάχιστον αρχικά- επιστήμονες εκπαιδευμένους με το προηγούμενο καθεστώς. Έτσι η τοποθέτηση τους σε ινστιτούτα από τη μία τους καθιστούσε χρήσιμους και από την άλλη ακίνδυνους, αφού δεν είχαν

την ευρεία απεύθυνση που είναι γνώρισμα των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων. Οπότε είναι και εδώ πολύ ξεκάθαρη η επίδραση της πολιτικής στον τρόπο λειτουργίας της επιστήμης σε μια διαφορετική έκφραση από αυτή του δυτικού κόσμου.

Επιστρέφοντας στην Δύση, ο συνδυασμός της εθνικής ασφάλειας των ΗΠΑ και της θεμελιώδους έρευνας στη φυσική οδήγησε στην δημιουργία ενός συμβολαίου μεταξύ κοινωνίας και επιστήμης το οποίο μπορεί να συνοψιστεί ως εξής: η επιστήμη -κυρίως η φυσική- θα λάμβανε ευρεία χρηματοδότηση και σε αντάλλαγμα τα επιτεύγματα της θα ικανοποιούσαν τις στρατιωτικές αλλά και τις τεχνολογικές ανάγκες της εποχής. Συνέπεια της κατάστασης αυτής ήταν η ανέλιξη πολλών εξεχόντων φυσικών σε σημαντικές πολιτικές θέσεις, όπως στην διοίκηση της AEC η οποία αναφέρθηκε και παραπάνω. Η AEC ουσιαστικά επέβλεπε όλα τα προγράμματα ατομικής ενέργειας των ΗΠΑ, πολιτικά και στρατιωτικά, και δημιουργήθηκε συγκεντρώνοντας το επιστημονικό δυναμικό και τις εγκαταστάσεις που εμπλέκονταν στο MP (Hallonsten 2016, 47-48).

Αν και οι αλληλεπιδράσεις φυσικής και κοινωνίας μετά τον πόλεμο δεν είναι δυνατό να αναλυθούν εδώ κατά αναλυτικό τρόπο, το σίγουρο είναι πως η ελευθερία κινήσεων που απολάμβαναν αρχικά οι φυσικοί δεν κράτησε για πάντα. Η περίπτωση του Υπεραγωγίμου Υπερ-Επιταχυντή (Superconducting Super Collider, SSC) που σαν έμπνευση εμφανίστηκε την δεκαετία του 1980 ως αντίπαλο δέος στο CERN αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα επ' αυτού. Σχεδιασμένος να έχει περίμετρο 87,1 χιλιομέτρων και να επιταχύνει σωματίδια σε ενέργειες έως 20 τρισεκατομμύρια eV είχε εκτιμώμενο κόστος 6 δισεκατομμυρίων δολαρίων και εκτιμώμενο χρόνο κατασκευής δέκα χρόνων ενώ μεταξύ άλλων είχε σαν στόχο την ανίχνευση του μποζονίου Higgs. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι επρόκειτο για ένα σχέδιο βιβλικών διαστάσεων το οποίο αντιμετώπισε σφοδρές αντιδράσεις εντός και εκτός της επιστημονικής κοινότητας και τελικά παρέμεινε ημιτελές και εγκαταλείφθηκε.

Το κύριο επιχείρημα που χρησιμοποιήθηκε εναντίον του SSC ήταν πως το κόστος του ήταν εξωφρενικά υψηλό και πως προτεραιότητα έπρεπε να δοθεί σε άλλα πεδία, όπως η φυσική συμπυκνωμένης ύλης, τα οποία με λιγότερες οικονομικές απαιτήσεις είχαν περισσότερες πρακτικές εφαρμογές από την φυσική στοιχειωδών σωματιδίων. Όπως όμως αναφέρει ο Kevles, τα βαθύτερα αίτια της μη περάτωσης του SSC δεν ήταν αμιγώς οικονομικά, παρά το γεγονός πως εκείνη την περίοδο οι ΗΠΑ ήταν αντιμετώπιες

με ένα ετήσιο έλλειμμα της τάξης των 200 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Αντίθετα, σημαντικό ρόλο έπαιξαν οι γεωπολιτικές ισορροπίες της εποχής. Με την Σοβιετική Ένωση να έχει ήδη καταρρεύσει -η τελική απόφαση για την εγκατάλειψη του προγράμματος πάρθηκε το 1993- δεν φαινόταν κάποια άμεση σύνδεση της κατασκευής του επιταχυντή με την ενίσχυση της αμερικάνικης εθνικής ασφάλειας που όπως είδαμε ήταν στενά συνυφασμένη με την φυσική της περιόδου του Ψυχρού Πολέμου. Πέρα από αυτό, επικουρικά έδρασαν και απόψεις που υποστήριζαν πως η χρηματοδότηση που προοριζόταν για τον SSC θα έβρισκε καλύτερη χρήση εάν κατανεμόταν με ένα πιο κοινωνικό πρόσημο όπως στην εκπαίδευση, στην υγεία, στους εμβολιασμούς κ.α. (Kevles 1997, 281, 290-293).

Σύμφωνα με τον Hallonsten, (2016, 66), θα αποτελούσε υπεραπλούστευση να οριοθετήσουμε το τέλος της Big Physics -στη μορφή που απέκτησε μετά τον πόλεμο- με την αποτυχία του SSC. Όμως το γεγονός καθ' εαυτό σηματοδοτεί την πρώτη φορά που η φυσική στοιχειωδών σωματιδίων δεν κατάφερε να αποκτήσει το επόμενο μεγάλων διαστάσεων μηχάνημα που απαιτούσε. Οπότε η βαρύτητα του δεν γίνεται να αγνοηθεί καθώς υποδηλώνει την -έστω εν μέρει - απώλεια της αίγλης και του κοινωνικού status αυτής της πρώτης μορφής Big Science. Σε κάθε περίπτωση όμως, για εμάς εδώ η αποτυχία του SSC αποτελεί ένα έναυσμα για να αφήσουμε την φυσική και να περάσουμε στην εξέταση της βιολογίας.

1.3 Η Φυσική ως προπομπός της Βιολογίας Μεγάλης Κλίμακας.

1.3.1 Τα ραδιοϊσότοπα.

Εάν θελήσει κανείς να αναζητήσει την σύνδεση μεταξύ της Φυσικής Μεγάλης Κλίμακας και της Βιολογίας, δεν μπορεί να αγνοήσει την περίπτωση των ισοτόπων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως πηγή ακτινοβολίας, είτε θεραπευτικά στην ιατρική είτε ως ραδιενεργοί ιχνηθέτες (radiotracers) για την μελέτη των ενδοκυττάρων λειτουργιών. Όσον αφορά την ιατρική, η εξάπλωση των κυκλότρων, η οποία όπως είδαμε ήταν ραγδαία, οδήγησε στην παραγωγή ραδιοϊσοτόπων που χορηγούνταν ως θεραπεία εναντίον νεοπλασματικών κυττάρων ήδη αρκετά πριν από την έναρξη του ΜΡ. Για παράδειγμα, η παραγωγή του ραδιενεργού φωσφόρου (P^{32}) συνδυάστηκε με την παρατήρηση της αυξημένης απορρόφησης φωσφόρου από τους αιμοποιητικούς ιστούς

έτσι ώστε ο P^{32} να χρησιμοποιηθεί σε ασθενείς με λευχαιμία (Lenoir & Hays 2000, 30). Επιπλέον, σε ευρεία χρήση ήταν το ραδιενεργό ιώδιο που χορηγούνταν σε παθήσεις του θυρεοειδή αδένου, όπως για παράδειγμα στην νόσο Grave's ως I^{131} (Hertz et al., 1942).

Μπορούμε να συμπεράνουμε επομένως πως υπήρχε ακόμα και προπολεμικά, η τάση προς την μελέτη της επίδρασης των ραδιενεργών στοιχείων στους ανθρώπινους ιστούς. Η τάση αυτή ενισχύθηκε σημαντικά εξαιτίας του πολέμου, λόγω της ανάγκης προφύλαξης του προσωπικού των μονάδων του ΜΡ από τις επιπτώσεις των ίδιων των υλικών που μελετούνταν. Πιο συγκεκριμένα, έγινε γρήγορα σαφές πως ήταν απαραίτητη η ενδελεχής έρευνα για τις αρνητικές επιδράσεις του πλουτωνίου και του ουρανίου στον ανθρώπινο οργανισμό και η αναζήτηση τρόπων προστασίας από αυτές. Στο πλαίσιο αυτό λοιπόν, σχηματίστηκε εντός του ΜΡ το Τμήμα Ιατρικής (Medical Division), που μεταξύ άλλων εστίασε τις προσπάθειες του στην εύρεση μεθόδων μέτρησης των επιπέδων της ακτινοβολίας, στην ανίχνευση ιστοπαθολογικών αλλοιώσεων και αλλαγών στην φυσιολογία και την βιοχημεία που αυτή προκαλούσε, καθώς και στην επίδραση της στην διάρκεια ζωής διαφόρων οργανισμών (Lenoir & Hays 2000, 33-34).

Ας εστιάσουμε λίγο περισσότερο τώρα, στον ίδιο τον τρόπο εφαρμογής των ιδιοτήτων των ισοτόπων στην μελέτη των ζωντανών οργανισμών. Όσον αφορά την βιολογική έρευνα, η ιδιαιτερότητα των ιχνηθετών είναι πως αποτελούνται από βιομόρια συνδεδεμένα με ραδιενεργά άτομα τα οποία λόγω της ακτινοβολίας που εκπέμπουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση βιοχημικών μονοπατιών και κατ' επέκταση και ενδοκυττάρων λειτουργιών. Αντίθετα με την ιατρική χρήση ραδιενεργού υλικού -όπως εναντίον καρκινικών κυττάρων-, οι ιχνηθέτες έχουν το πλεονέκτημα πως απαιτούν πολύ μικρότερη -κατά μερικές χιλιάδες- δόση ισοτόπου. Με την χρήση μικρής δόσης, οι βιολογικές δομές αφενός δεν διαταράσσονται, αλλά αφετέρου, βασικά συστατικά στοιχεία εντός και εκτός του κυττάρου, όπως ένζυμα, πρωτεΐνες και ορμόνες, γίνονται προσβάσιμα για μελέτη, γεγονός που έδωσε πολύ μεγάλη ώθηση σε αναπτυσσόμενους κλάδους της βιολογίας και της ιατρικής (Creager 2006, 654). Τομείς δηλαδή όπως η βιοχημεία, η ενδοκρινολογία, η μοριακή γενετική και η φυσιολογία οφείλουν ως ένα βαθμό την αλματώδη ανάπτυξη τους στα εργαλεία που προήλθαν από την ατομική φυσική. Όπως αναφέρουν οι Lenoir και Hays (2000, 34-40), οι εξελίξεις αυτές οδήγησαν στην δημιουργία ενός νέου είδους έρευνας στην βιολογία και την

ιατρική, το οποίο συγκροτήθηκε από ειδικούς επιστήμονες τόσο σε εργαστηριακούς όσο και κλινικούς τομείς που βρίσκονταν σε στενή συνεργασία μεταξύ τους. Έτσι η εγκαθίδρυση νέων κλάδων όπως της πυρηνικής ιατρικής απαιτούσε τον συντονισμό φυσικών, γιατρών, βιολόγων και μηχανικών, επομένως και τη δημιουργία νέων ερευνητικών κέντρων και πανεπιστημιακών σχολών. Χαρακτηριστικό επ' αυτού είναι το παράδειγμα της Ιατρικής Σχολής του UCLA (University of California, Los Angeles) πολλά από τα ιδρυτικά μέλη της οποίας συμμετείχαν στο ΜΡ.

1.3.2 Η Βιολογία ως εξιλέωση της Φυσικής.

Παρά τα όσα ειπώθηκαν παραπάνω, είναι σημαντικό να τονιστεί πως οι πιθανές θετικές επιδράσεις των ισοτόπων στην αντιμετώπιση νεοπλασιών καθώς και η προστασία των εργαζομένων σε δομές μελέτης της ατομικής ενέργειας δεν ήταν τα αποκλειστικά αίτια της μεγέθυνσης της βιολογικής και ιατρικής έρευνας. Εάν θελήσει κανείς να ερευνήσει πιο εξονυχιστικά τα αίτια του φαινομένου αυτού, θα πρέπει να αναλογιστεί εκ νέου την σχέση της επιστήμης με το κοινωνικό και πολιτικό σκηνικό της εποχής. Αυτό διότι, παρόλο που ο Β΄ Παγκόσμιος είχε επιτέλους τερματιστεί, ένας άλλου είδους πόλεμος –πέραν του Ψυχρού- είχε ξεκινήσει. Ο πόλεμος αυτός ήταν ο πόλεμος των εντυπώσεων. Αφενός, η φυσική είχε αναδυθεί θριαμβεύτρια από την παγκόσμια σύρραξη και οι ίδιοι οι φυσικοί είχαν αποκτήσει μια πρωτοφανή δύναμη στο κοινωνικό γίγνεσθαι των ΗΠΑ αλλά και της Ευρώπης. Αφετέρου όμως, ήταν πολύ σημαντικό να εμφανιστεί στο προσκήνιο το ειρηνικό, μη καταστροφικό πρόσωπο της Big Physics, η οποία κινδύνευε να ταυτιστεί με τις δύο ρίψεις της βόμβας στην Ιαπωνία. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, η συνδρομή των επιτευγμάτων της πυρηνικής φυσικής στην κατανόηση και την βελτίωση της ανθρώπινης ζωής φάνταζε η ιδανική οδός. Προέκυψε, λοιπόν, μετά το 1945, μία επιστημο-κοινωνική συνθήκη κατά την οποία η βιολογική και η ιατρική έρευνα θα λάμβαναν πολύ μεγαλύτερη προσοχή και χρηματοδότηση από ότι στο παρελθόν και σαν αντάλλαγμα αναμενόταν να μετριάσουν –μέσω των αποτελεσμάτων τους- τις αντιδράσεις που υπήρχαν εναντίον της ατομικής ενέργειας, αντιδράσεις που διατυπώνονταν ακόμα και εντός της κοινότητας των φυσικών (Keller 1990, 404).

Είδαμε, ήδη, πως η AEC συγκροτήθηκε από -μεταξύ άλλων- τα υπολείμματα του ΜΡ. Ένας από τους στόχους της δημιουργίας της ήταν η αποκόλληση του πεδίου της πυρηνικής ενέργειας από την έντονα στρατιωτική χροιά που είχε αποκτήσει στα χρόνια του πολέμου. Σύμφωνα με την Creager (2006, 650-651), ο βασικός τρόπος με τον οποίο οι διοικούντες την AEC σκέφτηκαν να επιτύχουν τον παραπάνω στόχο ήταν η προμήθεια ραδιοϊσοτόπων σε επιστήμονες και γιατρούς.

Επιπλέον, αναφέρει ότι τα ισότοπα ήταν ουσιαστικό συστατικό της εξωτερικής πολιτικής των ΗΠΑ, αποτελώντας τμήμα των εξαγωγών του σχεδίου Marshall. Το σχέδιο αυτό, που ευαγγελιζόταν την αλληλεγγύη στις χώρες που είχαν υποστεί καταστροφές από τον πόλεμο, σαν πραγματικό στόχο είχε την επικύρωση της αμερικάνικης ηγεμονίας -μέσω παροχών και οικονομικών πόρων- στις χώρες αυτές της Ευρώπης και του υπόλοιπου κόσμου. Ας μην ξεχνάμε, άλλωστε, πως το πεδίο ανταγωνισμού μεταξύ Αμερικής και Σοβιετικής Ένωσης αφορούσε κατά ουσιαστικό τρόπο τις επιστημονικές ανακαλύψεις και τις τεχνολογικές εφαρμογές. Άρα συμπερασματικά, φαίνεται πως ενώ η στροφή σε μια πιο ανθρωποκεντρική μορφή πυρηνικής ενέργειας ήταν ψηλά στην ατζέντα των ΗΠΑ μεταπολεμικά, το εγχείρημα αυτό δεν είχε απομονωθεί από το γεωπολιτικό παιχνίδι της εποχής.

Η Big Biology φαινόταν λοιπόν να έχει μπει σε μια τροχιά ανάπτυξης, υιοθετώντας πολλά από τα χαρακτηριστικά της Φυσικής Μεγάλης Κλίμακας που ήδη περιγράψαμε. Τέτοια είναι η υψηλή χρηματοδότηση, η αύξηση του επιστημονικού προσωπικού, οι αλληλεπιδράσεις με το πολιτικό status quo και ο σχεδιασμός συγκεκριμένων ερευνητικών στόχων που έπρεπε να επιτευχθούν. Μπορεί κανείς βέβαια να εντοπίσει επιπλέον κοινά χαρακτηριστικά καθώς και διαφορές, αλλά σίγουρα η μεγέθυνση της βιολογικής έρευνας κατά την περίοδο του Ψυχρού Πολέμου υφίσταται χωρίς αμφισβήτηση. Οι τρόποι με τους οποίους η Βιολογία Μεγάλης Κλίμακας εμφανίζεται στο προσκήνιο θα είναι το αντικείμενο συζήτησης του επόμενου κεφαλαίου.

2. Η Βιολογία Μεγάλης Κλίμακας.

2.1 Ο δρόμος προς την μεγέθυνση.

Κάνοντας, τώρα, ένα βήμα πίσω είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί πως η ίδια η ύπαρξη της έννοιας της Βιολογίας Μεγάλης Κλίμακας δεν είναι ομόφωνα αποδεκτή. Όπως αναφέρει η Vermeulen (2009, 18), υπάρχουν απόψεις εντός της ακαδημαϊκής κοινότητας κατά τις οποίες η βιολογία δεν μπορεί σαν μέγεθος να βρίσκεται στην ίδια κατηγορία με την Big Physics των μέσων του 20^{ού} αιώνα. Αυτό συμβαίνει διότι ενώ - όπως ήδη αναφέρθηκε- οι δύο επιστήμες έχουν κάποια κοινά σημεία ως προς την Big Science, έχουν εντούτοις και σημαντικές διαφορές. Δεν φαίνεται για παράδειγμα, να υπάρχει μέτρο σύγκρισης μεταξύ των τεράστιων εγκαταστάσεων που απαιτούνται για την συντήρηση και την λειτουργία των επιταχυντών στοιχειωδών σωματιδίων με οποιοδήποτε επιστημονικό όργανο της βιολογίας. Επιπλέον, η βιολογική έρευνα δεν χαρακτηρίζεται από την συγκέντρωση πολυάριθμου επιστημονικού προσωπικού σε ένα μεγάλο ερευνητικό κέντρο (όπως το CERN ή το Los Alamos), αλλά από μία ειδική μορφή συνεργασίας ανάμεσα σε αυτοτελή, μικρού μεγέθους εργαστήρια που ως μονάδες διεξάγουν ανεξάρτητη έρευνα, όπως αυτή καθορίζεται από τον εκάστοτε υπεύθυνο (lab leader, principal investigator). Τα εργαστήρια αυτά, βέβαια, δεν είναι απομονωμένα, αλλά αντίθετα, δημιουργούν μεταξύ τους σχέσεις αλληλεπίδρασης που είναι καθοριστικές για την ομαλή και αποδοτική λειτουργία τους. Παραδείγματα τέτοιων σχέσεων είναι ο δανεισμός εξοπλισμού ή η ανταλλαγή δεδομένων που χαρακτηρίζουν την βιολογία ήδη από τις μελέτες της φυσικής ιστορίας του 17ου αιώνα (Vermeulen & Attenborough & Liscovsky, υπό δημοσίευση).

Οι διαφορές λοιπόν μεταξύ των Big Physics και Big Biology είναι δεδομένες. Είναι όμως αρκετές για να απορρίψουμε την ένταξη της βιολογίας στην κατηγορία της Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας; Ήδη αναφέρθηκε πως τα μεγάλα μεγέθους επιστημονικά όργανα και η υπερσυγκέντρωση ανθρώπινου δυναμικού δεν αποτελούσαν το μοναδικά γνωρίσματα της Big Physics. Επιπλέον, η θέση πως η βιολογία δεν είναι αρκετά μεγάλη για να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με την φυσική, θα προϋπέθετε να δεχτεί κανείς πως η Big Science έχει μόνο παγιωμένα χαρακτηριστικά που δεν εξαρτώνται ούτε από την χρονική περίοδο ούτε από την επιστήμη που μελετάμε.

Εάν λοιπόν, δεν είμαστε διατεθειμένοι να δεχτούμε κάτι τέτοιο, είναι χρήσιμο να αναρωτηθούμε, σε ποια άλλα στοιχεία της βιολογικής έρευνας μπορούμε να εστιάσουμε.

Αρχικά ας αναφερθεί πως, όπως στην φυσική έτσι και στην βιολογία, η διαδικασία μεγέθυνσης δεν ήταν -τουλάχιστον στην αρχή- καλοδεχούμενη από όλους. Ας μην ξεχνάμε πως ο ίδιος ο Weinberg, από τον οποίο πρωτοπαρουσιάζεται ο όρος Big Science, αναφέρει για την φυσική πως «προσωπικά θα προτιμούσα πολύ περισσότερο (την έρευνα πάνω σε) επιστημονικά ζητήματα που είναι συναφή με τον κόσμο της ανθρώπινης καθημερινότητας και με την ανθρώπινη ευημερία από την φυσική υψηλών ενεργειών ή τα επανδρωμένα διαστημικά ταξίδια» (Weinberg 1961, 164). Στο ίδιο μήκος κύματος αλλά τέσσερις δεκαετίες αργότερα και μιλώντας για διαφορετική επιστήμη, ο Roberts (2001, 1182-1188) τονίζει πως το Πρόγραμμα του Ανθρώπινου Γονιδιώματος (Human Genome Project, HGP) αντιμετώπισε, πριν από την έναρξη του, σοβαρές αντιρρήσεις. Πολλοί επιστήμονες απλά δεν έβρισκαν ιδιαίτερο νόημα στο να δαπανηθούν τρία δισεκατομμύρια δολάρια -το εκτιμώμενο κόστος του προγράμματος- για να αποκρυπτογραφηθούν οι επίσης τρία δισεκατομμύρια βάσεις του ανθρώπινου DNA το οποίο κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό δεν αντιστοιχούσε σε κάποιο γονίδιο άρα θεωρούνταν άνευ κάποιας χρησιμότητας (junk DNA).

Στο σημείο αυτό, δεν είναι ίσως άδικο να αναρωτηθεί κανείς, γιατί αυτή η κατευθείαν αναφορά στο HGP όταν εξετάζουμε την μεγέθυνση της βιολογίας. Αυτό συμβαίνει διότι φαίνεται αδύνατο να σχολιάσει κανείς την βιολογία του τέλους του 20^{ου} και των αρχών του 21^{ου} αιώνα χωρίς να μελετήσει αυτό το πρόγραμμα, που αποτελεί ένα τόσο σημαντικό σταθμό στην εμφάνιση της Βιολογίας Μεγάλης Κλίμακας ώστε η επίδραση του να έχει παρομοιαστεί με αυτή του Manhattan Project για την φυσική (Lenoir & Hays 2000, 29 και DeLisi 1988, 489). Καθώς όμως το HGP πρακτικά είδε το φως της ημέρας την δεκαετία του 1990, χρήσιμο είναι να αναφερθούν ορισμένα γεγονότα που προηγήθηκαν και προετοίμασαν το έδαφος. Από το σημείο λοιπόν που είχαμε σταματήσει, δηλαδή από την ώθηση που έλαβε μεταπολεμικά η βιολογία, μέσω των επιτευγμάτων της πυρηνικής φυσικής, οι εξελίξεις είναι αρκετές.

Στην Ευρώπη, για παράδειγμα, σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της βιολογικής έρευνας έπαιξε η δημιουργία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Μοριακής Βιολογίας, (European Molecular Biology Organization, EMBO) το 1964.

Παραδόξως, η αρχική του χρηματοδότηση προήλθε από ιδιωτικά κεφάλαια -κυρίως από το Volkswagen Foundation- και μόνο αργότερα από τις κυβερνήσεις των κρατών της Δυτικής Ευρώπης. Οι επιδιώξεις βέβαια πίσω από τον EMBO δεν ήταν αμιγώς επιστημονικές -κάτι που αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα και της Big Physics-. Για παράδειγμα, μέσω ενός προγράμματος χορήγησης υποτροφιών, στόχος του οργανισμού ήταν η αντιμετώπιση της φυγής των ευρωπαϊών επιστημόνων προς τις ΗΠΑ, οι οποίες την περίοδο εκείνη κυριαρχούσαν στον τομέα της έρευνας. Επιπλέον, μέσα από την συμμετοχή στον EMBO αναμενόταν να βελτιωθούν οι διπλωματικές σχέσεις μεταξύ των ευρωπαϊκών κρατών, γεγονός καθοριστικό για την μείωση της επιστημονικής και τεχνολογικής απόστασης μεταξύ ΗΠΑ-Ευρώπης (Strasser 2003, 540-543). Είναι λοιπόν προφανές και εδώ, η επίδραση του πολιτικού γίνεσθαι στον τρόπο που διαμορφώνεται η επιστήμη και εν προκειμένω η βιολογία. Ανεξάρτητα πάντως από τις παράλληλες στοχεύσεις του, η ίδρυση του EMBO περίπου 10 χρόνια μετά την δημιουργία του CERN φανερώνει μια στροφή του ευρωπαϊκού επιστημονικού ενδιαφέροντος στην βιολογική έρευνα.

Ακόμα, την δεκαετία του 1960, είχαν ήδη κάνει την εμφάνιση τους στην βιολογία κάποια στοιχεία που αργότερα απαντώνται στο πρόγραμμα του ανθρωπίνου γονιδιώματος. Συγκεκριμένα, αν και η -κατά τη διάρκεια του HGP- συγκέντρωση ενός τόσο μεγάλου πλήθους δεδομένων DNA (sequencing data) ήταν χωρίς προηγούμενο, δεν ήταν εντούτοις σαν στόχος κάτι εντελώς καινούργιο. Για παράδειγμα, μπορεί να διαπιστώσει κανείς ομοιότητες με την κατασκευή του Άτλαντα της Πρωτεϊνικής Αλληλουχίας και Δομής (Atlas of Protein Sequence and Structure), ο οποίος δημιουργήθηκε το 1965 και εμπεριείχε όλες τις έως τότε γνωστές αλληλουχίες πρωτεϊνών (Strasser 2010, 643). Σημαντικό προπαρασκευαστικό ρόλο, επίσης, έπαιξαν οι λεγόμενοι οργανισμοί-μοντέλα (model organisms), όπως ο *C. elegans*. Οι Leonelli και Ankeny (2015, 7) αναφέρουν πως, η μελέτη του *C. elegans* που ξεκίνησε την δεκαετία του 1960, απαιτούσε μια νέου είδους συνεργασία μεταξύ διάφορων επιστημονικών κλάδων (βιοχημείας, γενετικής, επιστήμης υπολογιστών) και οδήγησε στην δημιουργία μιας ολοένα και μεγαλύτερης κοινότητας που με προσήλωση σε ένα οργανισμό ανέπτυξε κοινές ερευνητικές μεθόδους και κοινούς στόχους. Όπως θα δούμε, ο τρόπος αυτός οργάνωσης της έρευνας και η ίδια η μελέτη του *C. Elegans* ενσωματώθηκαν αργότερα στο HGP και δεν αποτελούν καινοτομία του.

2.2 Το Human Genome Project.

2.2.1 Το τεχνικό υπόβαθρο.

Η προοπτική της αποκρυπτογράφησης του ανθρώπινου γονιδιώματος (DNA) ήταν αντικείμενο έντονης συζήτησης στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Το γεγονός αυτό οφειλόταν κυρίως στην ανάπτυξη νέων τεχνικών στην βιολογία που έκαναν δυνατή την απομόνωση γονιδίων, τον εντοπισμό τους στα αντίστοιχα χρωμοσώματα και την εξακρίβωση της αλληλουχίας βάσεων που αντιστοιχούσε στην γενετική τους πληροφορία (Cook-Deegan 1991, 105-106 και Kevles 1997, 273). Ειρήσθω εν παρόδω, οι πληροφορίες που είναι κωδικοποιημένες στο DNA καθορίζονται από τέσσερις βάσεις (οργανικές ενώσεις που περιέχουν άζωτο), τις αδενίνη (A), θυμίνη (T), γουανίνη (G) και κυτοσίνη (C) οι οποίες, όπως έδειξαν οι Watson και Crick (1953, 737), συνδυάζονται στην διπλή έλικα πάντα ανά δύο (A-T και C-G). Η διάταξη αυτή ίσως φαίνεται απλοϊκή, αλλά στην πραγματικότητα η αλληλούχιση (sequencing) δεν είναι τόσο εύκολη υπόθεση όταν πρόκειται για πολύπλοκους οργανισμούς. Για τον λόγο αυτό, η πλήρης ανάλυση του ανθρώπινου DNA είχε αρχικά χαρακτηριστεί ως τεχνικά αδύνατη και σαν ιδέα παράλογη από διάφορους επιστήμονες. Πέραν των τεχνικών δυσκολιών, αντικείμενο αντιπαράθεσης ήταν και οι επιπτώσεις που θα είχε ένα τέτοιο πρόγραμμα για την βιολογία γενικότερα. Υπήρχε δηλαδή ο φόβος ότι οι οικονομικοί πόροι που επρόκειτο να δαπανηθούν για την μελέτη του ανθρώπινου γονιδιώματος, θα δημιουργούσαν έλλειψη χρηματοδότησης για τα μικρού μεγέθους αυτοτελή εργαστήρια, τα οποία όπως αναφέρθηκε είναι τα δομικά στοιχεία της βιολογικής έρευνας.

Για να αντιληφθεί κανείς πληρέστερα την τεχνική πλευρά του προβλήματος, είναι απαραίτητο να παρατεθούν ορισμένα ιστορικά στοιχεία περί της ανάπτυξης των διάφορων μεθόδων αλληλούχισης. Αρχικά, όπως αναφέρει ο Giani et al. (2019, 10), παρά το γεγονός πως κάποια βιολογικά μόρια, όπως η ινσουλίνη, είχαν αποκρυπτογραφηθεί -ως προς τα δομικά τους στοιχεία δηλαδή τα αμινοξέα- ήδη από το 1953, όσον αφορά στα νουκλεϊκά οξέα (DNA και RNA), δεν υπάρχει κάποια συγκροτημένη προσπάθεια ανάλυσης πριν από το 1965. Επιπλέον, ο πρώτος μικροοργανισμός του οποίου το γονιδίωμα καταγράφηκε πλήρως ήταν ο βακτηριοφάγος MS2 το 1975 (Fiers et al. 1976, 500-507).

Το RNA² του ιού αυτού, είναι σχεδόν αμελητέο σαν μέγεθος σε σχέση με πιο σύνθετους οργανισμούς, καθώς αποτελείται μόνο από 3569 ζεύγη βάσεων (base pairs ή bp).

Η τεχνική στην οποία βασίστηκε η μελέτη του MS2 επινοήθηκε από τον Frederick Sanger σε συνεργασία με τους G. Brownlee και B. Barrell (1965, 373-398) δώδεκα περίπου χρόνια πριν ο πρώτος προτείνει μια νέα μέθοδο ανάλυσης γονιδιωμάτων η οποία ήταν πολύ πιο αποτελεσματική. Στο χρονικό διάστημα που ακολούθησε, οι προσπάθειες αλληλούχισης εντάθηκαν και μέχρι το 1985 ο πήχης είχε ανέβει αρκετά καθώς ο μεγαλύτερος μικροοργανισμός που είχε αποκρυπτογραφηθεί ήταν ο DNA ιός Epstein-Barr με μέγεθος γονιδιώματος 172.282 bp (Giani et al. 2019, 11). Αν και ο Epstein-Barr έχει γονιδίωμα κατά δύο τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από τον MS2, η απόσταση από το ανθρώπινο γονιδίωμα των τριών δισεκατομμυρίων bp ήταν ακόμα αχανής και αποθαρρυντική. Ωστόσο, υπήρχαν και θετικά μηνύματα στον ορίζοντα, καθώς κατά την δεκαετία 1975-1985 νέες τεχνικές αλληλούχισης είχαν έρθει στο προσκήνιο.

Από τις δύο προσεγγίσεις που έχουν τη μεγαλύτερη σημασία, η πρώτη προτάθηκε από τους Walter Gilbert και Allen Maxam του Πανεπιστημίου Harvard το 1977 (Maxam & Gilbert, 1977). Οι λεπτομέρειες δεν μας αφορούν εδώ, αλλά η μέθοδος αυτή δεν ήταν χωρίς προβλήματα καθώς εμπειρείχε την χρήση επιβλαβών για την ανθρώπινη υγεία ραδιοϊσοτόπων, συγκεκριμένα του P³², ενώ ήταν και ιδιαίτερα πολύπλοκη. Παρεμπιπτόντως ο Gilbert, ο οποίος ήταν από τους πιο ένθερμους υποστηρικτές της δημιουργίας ενός προγράμματος για το ανθρώπινο γονιδίωμα, βραβεύτηκε από κοινού με τον Sanger -ο οποίος ανέπτυξε την δεύτερη τεχνική που θα αναφερθεί εδώ- με το Νόμπελ Χημείας του 1980 για τις εργασίες τους πάνω στην αλληλούχιση γονιδιωμάτων. Η δεύτερη λοιπόν μέθοδος, που είχε πολύ πιο ουσιαστική επίδραση στην ανάλυση του DNA, παρουσιάστηκε από τον Frederick Sanger και τους συνεργάτες του επίσης το 1977 (Sanger & Nicklen & Coulson, 1977). Κύριο χαρακτηριστικό της ήταν η χρήση των βιομορίων ddNTPs που ήταν τέσσερα στο αριθμό, ένα για κάθε βάση: ddATP (A), ddTTP (T), ddCTP (C) και ddGTP (G).

2. Μία βασική διαφορά του RNA με το DNA είναι πως στο πρώτο, η βάση θυμίνη (T) αντικαθίσταται από την βάση ουρακίλη (U) οπότε προκύπτει το ζεύγος A-U.

Τα βιομόρια αυτά, έχουν την ιδιότητα να αναστέλλουν την DNA πολυμεράση, η οποία είναι απαραίτητη για την αντιγραφή του DNA, γεγονός που επέτρεπε την δημιουργία θραυσμάτων DNA ποικίλου αριθμού βάσεων. Η αποκωδικοποίηση των θραυσμάτων αυτών γινόταν σε δύο στάδια, πρώτα μέσω ηλεκτροφόρησης (χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό των βιολογικών μορίων ανάλογα με το φορτίο, το σχήμα και το μοριακό τους βάρος) και κατόπιν μέσω αυτοραδιογραφικών φιλμ που υπολόγιζαν την ακτινοβολία που εκπέμπονταν από κάθε τμήμα DNA (τα ddNTPs ήταν σεσημασμένα με P^{32} ή κάποιο άλλο ραδιοϊσότοπο). Όπως φαίνεται, ένα κοινό σημείο των δύο αυτών μεθόδων ήταν η χρήση ραδιοϊσοτόπων. Οπότε, λόγω της ολοένα και μεγαλύτερης ανησυχίας για τις επιπτώσεις της ραδιενεργής ακτινοβολίας στην ανθρώπινη υγεία, στην πορεία αυτά αντικαταστάθηκαν από την τεχνική της ανίχνευσης φθορισμού (fluorescence detection), κυρίως στην μέθοδο του Sanger που είχε πιο ευρεία χρήση (Tiru & Shabbir 2015, 211).

Ακόμα όμως και χωρίς τα ισότοπα η μέθοδος αλληλούχισης που πρότεινε ο Sanger αντιμετώπιζε δυσκολίες, οι οποίες γίνονταν όλο και πιο αισθητές όσο η βιολογική έρευνα προχωρούσε στην ανάλυση οργανισμών με γονιδίωμα πολλών εκατομμυρίων bp. Πιο συγκεκριμένα, η αρχική μορφή της μεθόδου δεν επέτρεπε την παράλληλη επεξεργασία μεγάλου αριθμού δειγμάτων, γεγονός που την καθιστούσε ιδιαίτερα χρονοβόρα. Το πρόβλημα αυτό έπρεπε να λυθεί και το πρώτο βήμα έγινε το 1985 από τον Smith et al. (1986, 674–679) του Caltech, ο οποίος πέτυχε την εν μέρει αυτοματοποίηση της μεθόδου Sanger, μέσω της απευθείας αποθήκευσης των δεδομένων που προέκυπταν από την ηλεκτροφόρηση σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή, παραλείποντας έτσι το στάδιο των αυτοραδιογραφικών φιλμ. Ακολούθησαν διάφορες προσπάθειες με στόχο την περαιτέρω αυτοματοποίηση, με αποτέλεσμα ο πρώτος πλήρως αυτοματοποιημένος αναλυτής (ABI 370A) να κατασκευαστεί από την εταιρεία Applied Biosystems, Inc το 1986, έχοντας την δυνατότητα ταυτόχρονης επεξεργασίας 32 δειγμάτων DNA (Giani et al. 2019, 11). Από το σημείο αυτό, οι εξελίξεις ήταν ταχύρρυθμες καθώς συνεχείς βελτιώσεις ενίσχυαν όλο και περισσότερο την ταχύτητα επεξεργασίας των αναλυτών, γεγονός που έδινε ελπίδες στους υποστηρικτές του HGP ότι θα ήταν δυνατή η αποκρυπτογράφηση του ανθρώπινου DNA σε κάποιο λογικό χρονικό πλαίσιο. Ανεξάρτητα από τις εκτιμήσεις αυτές πάντως, μέχρι το έτος 1986 που όπως θα δούμε αμέσως τώρα ήταν ιδιαίτερης σημασίας για το HGP το τεχνολογικό υπόβαθρο της αλληλούχισης DNA ήταν αυτό που μόλις περιγράφηκε.

2.2.2 Τα πρώτα βήματα του HGP.

Επιστρέφοντας λοιπόν στο κυρίως θέμα, σημείο καμπής για την έναρξη του HGP ήταν μια επιστημονική συνάντηση εργασίας (workshop), που πραγματοποιήθηκε στην πόλη Santa Fe του Νέου Μεξικού, το Μάρτιο του 1986. Ήδη ένα χρόνο πριν, ο Robert Sinsheimer, βιολόγος και πρόεδρος του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας (Santa Cruz), είχε προτείνει σε μία άλλη παρόμοια συνάντηση την δημιουργία ενός προγράμματος ανάλυσης του ανθρώπινου γονιδιώματος, χωρίς όμως να υπάρξει αξιοσημείωτη ανταπόκριση. Η πλειοψηφία των επιστημόνων που συμμετείχαν τότε, έκρινε πως η προοπτική της αποκρυπτογράφησης του DNA ήταν μεν ενδιαφέρουσα, αλλά δεν μπορούσε να γίνει πραγματικότητα για τους τεχνικούς λόγους που προαναφέρθηκαν (Roberts 2001, 1182). Η πεποίθηση αυτή ήταν ευρέως διαδεδομένη στους επιστημονικούς κύκλους. Ακόμα και ο Charles DeLisi, μια κεντρική φιγούρα του HGP, ο οποίος ήταν επικεφαλής του Γραφείου Έρευνας για την Υγεία και το Περιβάλλον (Office of Health and Environmental Research) που αποτελούσε τμήμα του αμερικάνικου Υπουργείου Ενέργειας (Department of Energy, DOE), προέβλεπε σε ένα άρθρο του το 1988, πως με την τεχνολογία της εποχής το ανθρώπινο γονιδίωμα δεν θα είχε αλληλουχηθεί και κατανοηθεί νωρίτερα από το έτος 2700. Τόνιζε επίσης, πως, λίγο πριν το τέλος της δεκαετίας του 1980, η αποκρυπτογράφηση βάσεων ήταν μια ακριβή διαδικασία καθώς το κόστος για κάθε βάση ήταν ένα δολάριο, γεγονός επίσης αποθαρρυντικό (DeLisi 1988, 488 & 492).

Παρόλα αυτά η συνάντηση της Santa Fe είχε θετικό αποτύπωμα. Τόσο ο Sinsheimer όσο και ο DeLisi ήταν παρόντες και, όπως περιγράφει ο δεύτερος, «ο ενθουσιασμός της Santa Fe αποτέλεσε έκπληξη για όλους σχεδόν, ακόμα και για όσους συμμετείχαν. Θύμιζε εκείνες τις σπάνιες στιγμές στην πρώιμη φάση μεγάλων επιχειρημάτων, όπως το Manhattan Project στο Los Alamos, ή η εξερεύνηση του διαστήματος που αιχμαλωτίζουν την συλλογική φαντασία μιας κοινότητας» (DeLisi 1988, 489). Ας σημειωθεί εδώ πως το workshop της Santa Fe χρηματοδοτήθηκε από το DOE γεγονός που δεν πρέπει να προκαλεί έκπληξη καθώς -όπως αναφέρθηκε- οι ΗΠΑ έδωσαν, μεταπολεμικά, μεγάλη βαρύτητα στην έρευνα πάνω τις επιπτώσεις της πυρηνικής ενέργειας στην ανθρώπινη υγεία.

Ως προς το HGP, η Santa Fe έδωσε -μαζί με τις προσωπικές προσπάθειες του DeLisi- το έναυσμα στο DOE ώστε αυτό να θέσει σε κίνηση μια εσωτερική διαδικασία με στόχο να αξιολογηθεί το ενδεχόμενο δημιουργίας ενός προγράμματος για την μελέτη του ανθρώπινου γονιδιώματος. Οι ενστάσεις βέβαια εντός της επιστημονικής κοινότητας δεν είχαν ακόμα σιγήσει. Ενδεικτικό είναι το παράδειγμα του Sydney Brenner, βιολόγου και μετέπειτα βραβευμένου με το βραβείο Νόμπελ Ιατρικής και Φυσιολογίας (2002), ο οποίος ισχυριζόταν πως η αποκρυπτογράφηση του ανθρώπινου DNA ήταν τόσο βαρετή και κοπιαστική εργασία που θα έπρεπε να ανατεθεί σε φυλακισμένους, σε ποσότητα ανάλογη με το βάρος του εγκλήματος τους (Roberts 2001, 1183). Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε, η δαπάνη ενός τεράστιου ποσού χρημάτων για την μελέτη ολόκληρου του DNA -που τότε δεν φαινόταν να έχει κάποια χρησιμότητα- φάνταζε απαράδεκτη σπατάλη. Σήμερα ξέρουμε βέβαια πως αυτές οι φαινομενικά άχρηστες περιοχές είναι υπεύθυνες για πολύ σημαντικές λειτουργίες, όπως για παράδειγμα οι αλληλουχίες του υποκινητή που ελέγχει την ενεργοποίηση ενός γονιδίου ή των τελομερών που προστατεύουν την δομή των χρωμοσωμάτων κατά την διαίρεση του κυττάρου. Ευτυχώς πάντως, η σύσταση του Brenner δεν εισακούστηκε, και οι προσπάθειες για την συγκρότηση του HGP εντάθηκαν.

2.2.3 Η σύγκρουση δύο γιγάντων.

Η χρονική περίοδος κατά την οποία το HGP ξεκίνησε να γίνεται πραγματικότητα, διέφερε πολύ από την περίοδο του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Επιπλέον, το επίδικο εδώ δεν ήταν ένα άμεσο αποφασιστικό πλεονέκτημα εναντίον ενός επικίνδυνου εχθρού, αν και η επιδίωξη της επιστημονικής υπεροχής συμπεριλαμβανόταν σαφώς στους λόγους για τους οποίους η μελέτη του ανθρώπινου γονιδιώματος απέκτησε ολοένα και αυξανόμενη σημασία στις ΗΠΑ και εν γένει στο δυτικό κόσμο. Ας μην ξεχνάμε άλλωστε πως στα μέσα της δεκαετίας του 1980, το αντίπαλο δέος της Δύσης -η Σοβιετική Ένωση- υπήρχε ακόμα έστω και σε μία λιγότερο ισχυρή εκδοχή. Η έλλειψη, πάντως, κάποιου υπερεπείγοντος στρατηγικού διακυβεύματος σε συνδυασμό με τις αναγνωρισμένες -ακόμα και από τους υποστηρικτές του- τεχνικές δυσκολίες είναι πιθανόν να έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην καθυστερημένη έναρξη του HGP.

Είδαμε πως, ήδη από το 1986, είχε ξεκινήσει από τον DOE μια προσπάθεια σκιαγράφησης ενός ερευνητικού προγράμματος για το ανθρώπινο γονιδίωμα. Το αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής, ήταν η δημιουργία ενός προσχεδίου που αποτελούνταν από δύο φάσεις και στόχο είχε την βελτίωση της ταχύτητας αλληλούχισης του DNA, την μείωση του κόστους της καθώς και την ανάπτυξη ισχυρότερων υπολογιστικών μεθόδων για την ανάλυση και διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων που θα προέκυπταν (DeLisi 1988, 489). Μέσα από μία έντονα γραφειοκρατική διαδικασία που δεν θα είναι αντικείμενο μελέτης για εμάς εδώ, το προσχέδιο του DeLisi επιβίωσε από τις εσωτερικές διεργασίες ελέγχου του DOE και κατόπιν τέθηκε προς έγκριση στις επιμέρους Επιτροπές της αμερικάνικης Βουλής των Αντιπροσώπων (House of Representatives) και της Γερουσίας (Senate). Οι καλές σχέσεις ανάμεσα στο DOE και σε δύο κομβικούς γεροισιαστές, τους Pete Domenici και Wendell Ford, είχαν σαν αποτέλεσμα την έγκριση της πρότασης του DOE από την Γερουσία (Cook-Deegan 1991, 118). Παρεμπιπτόντως, ας αναφερθεί, πως δεν μπορεί να μην είναι σχετικό με την θετική στάση που έδειξε ο P. Domenici, το γεγονός πως η πολιτεία στην οποία εκλέγονταν ήταν το Νέο Μεξικό που φιλοξενούσε το εργαστήριο Los Alamos το οποίο αναμενόταν να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιαζόμενο HGP. Η έγκριση, λοιπόν, της Γερουσίας ήταν μια πρώτη νίκη για τους υποστηρικτές του προγράμματος και, προς στιγμήν, φάνηκε να δρομολογείται -έστω σε ένα πρώιμο στάδιο- η συστηματική και μεγάλης κλίμακας μελέτη του ανθρώπινου και όχι μόνο DNA. Η νίκη όμως αυτή αποδείχθηκε πρόσκαιρη, καθώς δεν άργησαν να εμφανιστούν κάποιες σοβαρές αντιρρήσεις που δεν είχαν προβλεφθεί από τους επιστήμονες του DOE.

Πιο συγκεκριμένα, καθοριστικής σημασίας ήταν οι αντιρρήσεις εκ μέρους του NIH (National Institutes of Health), ως προς τον ηγετικό ρόλο που επιχειρούσε να παίξει το DOE. Προφανώς, οι ενστάσεις μιας υπηρεσίας (agency) πού είχε σαν κύριο τομέα αρμοδιότητας την βιοϊατρική έρευνα δεν μπορούσαν να περάσουν απαρατήρητες, οπότε οι δύο πλευρές έπρεπε να αντιπαρατεθούν. Τα ισχυρά όπλα του DOE ήταν η αξιοποίηση, αφενός, του δυναμικού και των πόρων των Εθνικών Εργαστηρίων (των National Laboratories που όπως αναφέρθηκε ήταν κεντρικής σημασίας για το Manhattan Project). Αφετέρου, της ήδη υπάρχουσας έρευνας για τον ανθρώπινο γονιδίωμα που είχε υπό την επίβλεψη του, κυρίως λόγω της μελέτης των επιδράσεων της ακτινοβολίας σε αυτό.

Το NIH, εντούτοις, είχε να προτάξει τα δικά του επιχειρήματα τα οποία ήταν τόσο επιστημονικής φύσεως -ότι για παράδειγμα η πρόταση του DOE δεν έδινε την πρέπουσα σημασία στη χαρτογράφηση γονιδίων (τον εντοπισμό τους δηλαδή στα χρωμοσώματα)- όσο και οργανωτικής. Συγκεκριμένα, ο James Wyngaarden που το 1982 έγινε διευθυντής του NIH υποστήριζε πως παρά την ουσιαστική συμβολή του DOE στην έρευνα του DNA τα αντίστοιχα κονδύλια που δαπανούσε ο NIH ήταν εκατονταπλάσια άρα και η εμπειρία διαχείρισης του μεγαλύτερη, (Cook-Deegan 1991, 136). Επιπλέον, μέσω του NIH διατυπωνόταν εκ νέου η ανησυχία πως ένα τόσο μακρόπνοο πρόγραμμα – η διάρκεια του οποίου υπολογίζονταν γύρω στα 15 χρόνια- θα αποστερούσε σημαντικά χρηματικά ποσά από ερευνητικές προτάσεις μικρότερης κλίμακας.

2.2.4 Η εκκίνηση του HGP.

Οι συζητήσεις πάνω στον τρόπο με τον οποίο θα δομούνταν το HGP κράτησαν αρκετό καιρό. Τελικά, οι δύο αντίπαλοι κλήθηκαν να αποδεχτούν την από κοινού διεύθυνση του προγράμματος, μέσω του νόμου Chiles³-Kennedy-Domenici S.1966. Από το σημείο αυτό και έπειτα η διαδρομή του HGP ήταν πιο εύκολη. Στα τέλη του 1988, ο διακεκριμένος βιολόγος James Watson ορίστηκε επικεφαλής του νεοσύστατου Γραφείου για την Έρευνα του Ανθρώπινου Γονιδιώματος (Office of Human Genome Research) που ήταν τμήμα του NIH, ενώ DOE και NIH υπέγραψαν ένα μνημόνιο συνεργασίας οι όροι του οποίου συγκεκριμενοποιήθηκαν στις μεταξύ τους τακτικές συναντήσεις καθ' όλη την διάρκεια του 1989 (Cook-Deegan 1991, 138 & 151). Κατόπιν, τον Οκτώβριο του 1989, δημιουργήθηκε το Εθνικό Κέντρο για την Έρευνα του Ανθρώπινου Γονιδιώματος (National Center for Human Genome Research) στις αρμοδιότητες του οποίου ήταν, μεταξύ άλλων, ο διαμοιρασμός της χορηγούμενης χρηματοδότησης και η κατανομή της ερευνητικής εργασίας, για παράδειγμα ανά χρωμόσωμα.

3. Ο L. Chiles ήταν γερουσιαστής και πρόεδρος της υποεπιτροπής της Γερουσίας που ήταν υπεύθυνη για τις πιστώσεις του NIH (appropriations subcommittee).

Τελικά, το HGP ξεκίνησε και επίσημα το 1990 με χρονικό ορίζοντα ολοκλήρωσης τα 15 έτη. Εκτός από την ανάλυση του ανθρώπινου DNA, αποφασίστηκε να δοθεί έμφαση και στην ανάλυση απλούστερων οργανισμών, όπως -μεταξύ άλλων- η φρουτόμυγα, ο *C. Elegans* και το φυτό *Arabidopsis thaliana*. Η μελέτη των οργανισμών αυτών αναμενόταν να είναι χρήσιμη για την αντιμετώπιση γενικότερων προβλημάτων σχετικών με την αλληλούχιση, ώστε η ανάλυση του ανθρώπινου DNA να εξελιχθεί όσο το δυνατόν πιο ομαλά. Η διάρθρωση του προγράμματος εκτεινόταν αρχικά σε 16 ερευνητικά κέντρα⁴ τα οποία αποτέλεσαν την Διεθνή Κοινοπραξία Αλληλούχισης του Ανθρώπινου Γονιδιώματος (International Human Genome Sequencing Consortium, IHGSC)⁵. Τα κέντρα αυτά ήταν διασκορπισμένα σε έξι χώρες, τις Κίνα, Ιαπωνία, Γερμανία, Γαλλία, Ηνωμένο Βασίλειο και ΗΠΑ, δίνοντας στο HGP πραγματικά διεθνείς διαστάσεις (Glasner 2002, 267). Η διασπορά αυτή βέβαια δεν διήρκεσε για όλη την διάρκεια του προγράμματος, καθώς όπως αναφέρουν οι Hood και Rowen (2013, 2) στο τέλος είχαν μείνει πέντε μόνο κέντρα εκ των οποίων τα τέσσερα στις ΗΠΑ (the Broad Institute, the Genome Institute of Washington University, the Joint Genome Institute, the Whole Genome Laboratory) και ένα στην Αγγλία (the Wellcome Trust Sanger Institute). Το μεγαλύτερο μερίδιο συμμετοχής εκ μέρους αυτών των δύο χωρών εξηγεί πιθανώς και την από κοινού ανακοίνωση -από τον πρόεδρο των ΗΠΑ, Bill Clinton, και τον πρωθυπουργό του Ηνωμένου Βασιλείου, Tony Blair,- του πρώτου αποκρυπτογραφημένου δείγματος (working draft) ανθρώπινου DNA στις 26 Ιουνίου 2000 (Nerlich & Dingwall & Clarke 2002, 445). Ίσως βέβαια προκαλεί εντύπωση το γεγονός πως, πρώτον, στην συνέντευξη τύπου αυτή παρουσιάστηκε η δομή του ανθρώπινου DNA σε μια μη ολοκληρωμένη μορφή και, δεύτερον, πως το αρχικό πλάνο δεκαπενταετίας φαίνεται να μην τηρήθηκε. Ωστόσο, αυτό οφείλεται σε κάποιες απρόβλεπτες παραμέτρους, δηλαδή αφενός στην αξιοσημείωτη βελτίωση των τεχνικών αλληλούχισης κατά το διάστημα 1990-2000 και αφετέρου στην εμφάνιση ενός ανταγωνιστικού -ως προς το HGP- προγράμματος στο οποίο θα αναφερθούμε αμέσως τώρα.

4. Ας σημειωθεί παρενθετικά πως κάθε ερευνητικό κέντρο περιλάμβανε άνω του ενός εργαστηρίου, με αποτέλεσμα ο συνολικός αριθμός των εργαστηρίων που συμμετείχαν στο HGP να ανέρχεται στα 48 (Glasner 2002, 270).
5. International Human Genome Sequencing Consortium. <http://www.genome.gov/11006939>. Τελευταία επίσκεψη 06/03/24.

2.3 Οι επιδράσεις του HGP στην σύγχρονη βιολογική έρευνα.

2.3.1 Βιοηθική και ο ανταγωνισμός δημόσιου - ιδιωτικού τομέα.

Το HGP ήταν ένα ρηξικέλευθο πρόγραμμα από πολλές διαφορετικές απόψεις. Αφενός, η περίοδος κατά την οποία πραγματοποιήθηκε χαρακτηρίζονταν από πολύ μεγαλύτερη ανησυχία για τις πιθανές κοινωνικές επιπτώσεις των προγραμμάτων Big Science σε σχέση με την περίοδο του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Εάν δε υπολογίσουμε, πως η δυνατότητα αποκρυπτογράφησης του ανθρώπινου γονιδιώματος θα μπορούσε να οδηγήσει σε πρακτικές διακρίσεων με βάση το γενετικό προφίλ, άρα σε αποκλεισμό, για παράδειγμα, από την εύρεση εργασίας ή την κοινωνική ασφάλιση, είναι φανερό πως το HGP έθετε ουσιαστικά ζητήματα βιοηθικής. Τα ζητήματα αυτά ήταν περισσότερο εμφανή σε περιπτώσεις κληρονομικών ασθενειών, όπως για παράδειγμα η χορεία Huntington, στις οποίες η ανάπτυξη γενετικού ελέγχου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εναντίον των ανθρώπων που είχαν προδιάθεση για νόσηση. Οπότε, όπως αναφέρουν οι Knoppers, Thorogood & Chadwick (2013, 1), δημιουργήθηκε εντός του HGP -με στόχο την μελέτη και την αντιμετώπιση των παραπάνω προβληματισμών- η Επιτροπή Ηθικής (Ethics Committee), η οποία με ανακοίνωση της ήδη από το 1995 τόνιζε την σημασία της προστασίας της γενετικής πληροφορίας. Επιπλέον, η οικονομική στήριξη που δόθηκε ήταν αξιοσημείωτη -το NIH διέθεσε για το σκοπό αυτό το 3% της χρηματοδότησης που του αναλογούσε- (Cook-Deegan 1991, 149), ενώ για το συνολικό HGP το ποσοστό αυτό ανερχόταν στο 5% (Hood & Rowen 2013, 5). Τέτοιου είδους δεσμεύσεις δεν αποτελούσαν κοινή πρακτική έως τότε και σηματοδότησαν ένα σημείο καμπής για το HGP αλλά και για τα προγράμματα που ακολούθησαν. Έτσι, η μελέτη ηθικών ζητημάτων αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της σύγχρονης βιολογικής έρευνας, είτε αυτή οριοθετείται εντός Big Biology είτε όχι.

Ένα δεύτερο σημείο που αξίζει να εστιάσουμε ως προς το HGP, ήταν πως παράλληλα με αυτό, αναπτύχθηκε, από το 1998 και έπειτα, μια ιδιωτική πρωτοβουλία ανάλυσης του ανθρώπινου DNA. Πιο συγκεκριμένα, ο Craig Venter, πρώην επικεφαλής τμήματος (section chief) στο NIH σε συνεργασία με την εταιρεία Perkin-Elmer Corporation ανακοίνωσαν τον Μάιο του 1998 την δημιουργία μιας εταιρείας ανάλυσης γονιδιώματος.

Είχε προηγηθεί η κατασκευή εκ μέρους της Perkin-Elmer ενός πλήρως αυτοματοποιημένου αναλυτή (ABI PRISM 3700) ο οποίος είχε δυνατότητα επεξεργασίας περίπου 1000 δειγμάτων την ημέρα (Venter et al. 1998, 1540). Ο στόχος της πρωτοβουλίας αυτής, που κατά την εκτίμηση των εμπνευστών της θα είχε συνολικό κόστος 200-250 εκατομμύρια δολάρια, ήταν η πλήρης αποκρυπτογράφηση του ανθρώπινου DNA σε χρονικό διάστημα τριών χρόνων -δηλαδή περίπου τέσσερα χρόνια νωρίτερα από την ολοκλήρωση του HGP που σύμφωνα με τις αρχικές προβλέψεις υπολογιζόταν για το 2005-. Στο διάστημα της τριετίας αυτής, θα επιχειρούνταν -ως μέσο ελέγχου της αποτελεσματικότητας της τεχνικής αλληλούχισης που θα χρησιμοποιούνταν- και η ανάλυση του γονιδιώματος της μύγας *Drosophila melanogaster* της οποίας ένα μέρος του γονιδιώματος (~12%) ήταν ήδη γνωστό άρα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σύγκρισης.

Είναι ίσως πρόδηλο πως ο στόχος που έθεσε η Celera Genomics -όπως ονομάστηκε η εταιρεία υπό την διεύθυνση του Venter- θα ήταν από μόνος του αρκετός ώστε να προκαλέσει έντονο ανταγωνισμό με το HGP. Επιπλέον όμως, στο εισηγητικό άρθρο των Venter et al. (1998, 1541) αναφέρεται ρητά πως η Celera Genomics είχε σαν στόχο την εμπορική αξιοποίηση μέρους των αποτελεσμάτων που θα προέκυπταν. Η αξιοποίηση αυτή δεν θα είχε να κάνει με τα μη επεξεργασμένα δεδομένα (raw data) τα οποία η εταιρεία είχε σκοπό να δημοσιοποιήσει άνευ κόστους, αλλά με τα δεδομένα των λεγόμενων αλληλεπικαλυπτόμενων κλώνων (contig data ή contigs). Το δεύτερο αυτό είδος προκύπτει στην ουσία από την ανάλυση των μη επεξεργασμένων δεδομένων και αντιστοιχεί σε περιοχές του DNA των οποίων η αλληλουχία έχει πλέον αποκρυπτογραφηθεί άρα έχει τη μεγαλύτερη χρησιμότητα. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς πως το σημαντικότερο είδος δεδομένων δεν θα ήταν ελεύθερα προσβάσιμο, ενώ επίσης και τα υπολογιστικά εργαλεία ανάλυσης γονιδιώματος που ήταν στην διάθεση της Celera Genomics δεν θα ήταν δωρεάν.

Στο σημείο αυτό υπάρχουν διάφοροι τρόποι να αξιολογήσει κανείς αυτόν τον ιδιότυπο αγώνα δρόμου που προέκυψε μεταξύ του HGP και της Celera Genomics. Για παράδειγμα, ο Charles DeLisi (2008, 877) διατυπώνει την άποψη πως χωρίς τον ανταγωνισμό δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, ο οποίος έδινε επιπλέον κίνητρα και στις δύο πλευρές, θα ήταν απίθανο να επιτευχθεί η δημοσιοποίηση του πρώτου δείγματος (working draft) της αλληλουχίας του ανθρώπινου DNA το 2001, πολύ νωρίτερα δηλαδή από την προγραμματισμένη προθεσμία, ενώ την ίδια πεποίθηση διατυπώνουν

και άλλοι επιστήμονες (Hood & Rowen 2013, 2). Πράγματι, με το σκεπτικό αυτό είναι δύσκολο να διαφωνήσει ο οποιοσδήποτε έχει έρθει σε επαφή με την ανταγωνιστική φύση της επιστημονικής έρευνας.

Από την άλλη πλευρά όμως δεν θα ήταν δυνατό να εξηγηθεί η αντιπαλότητα του HGP με την Celera Genomics λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την πίεση για δημοσίευση αποτελεσμάτων (publish or perish), που υφίσταται σε κάθε ερευνητική προσπάθεια. Εξίσου σημαντικό είναι να τονιστεί η ουσιαστική διαφορά που είχαν τα δύο αντιμαχόμενα στρατόπεδα ως προς τον τρόπο χρήσης των δεδομένων τους. Το μεν HGP, μέσω της χρήσης βάσεων δεδομένων με ελεύθερη πρόσβαση, όπως η GenBank, συνέβαλε καθοριστικά στην καθιέρωση της πρακτικής της άμεσης δημοσιοποίησης δεδομένων που πλέον είναι πολύ συνηθισμένη στη βιολογική έρευνα (Hood & Rowen 2013, 3). Αντίθετα, η Celera Genomics αρνήθηκε ρητά να δημοσιεύει τα δεδομένα της σε κάποια δωρεάν προσβάσιμη βάση, αλλά στόχο είχε, όπως αναφέρθηκε, να αποκομίσει κέρδος από αυτά μέσω ανάρτησης τους στην ιδιωτική της πλατφόρμα στο διαδίκτυο. Οπότε αντιλαμβάνεται κανείς πως με αφορμή την μελέτη του ανθρώπινου DNA δημιουργήθηκε μια διαμάχη που έθετε ένα κρίσιμο ερώτημα για τον χαρακτήρα της σύγχρονης βιολογίας. Όπως διερωτώνται οι Nerlich & Dingwall & Clarke (2002, 448): «η χρήση της γνώσης που παράγεται από το HGP θα χαρακτηρίζεται από εμπορικές ή ανθρωπιστικές προτεραιότητες; Και ποιος έχει τη δύναμη να αποφασίσει: οι πολιτικοί, οι επιχειρηματίες ή οι επιστήμονες; Οι απαντήσεις σε τέτοια ερωτήματα θα επηρεάσουν τελικά τη χρήση και την διανομή ... θεραπειών που προκύπτουν από τις γονιδιωματικές ανακαλύψεις».

Η παραπάνω διαμάχη χαρακτηρίστηκε από υψηλής έντασης αντιπαράθεση αλλά τελικά επικράτησε η λογική που διακατείχε εξ αρχής το HGP δηλαδή η ελεύθερη ροή των δεδομένων και μάλιστα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα από την παραγωγή τους. Η έκβαση αυτή χαιρετίστηκε ως μια νίκη της επιστημονικής κοινότητας. Χαρακτηριστικό είναι το άρθρο της E. Marris (2005, 6) με τίτλο «Free genome databases finally defeat Celera», που δημοσιεύτηκε για να αναγγείλει την παύση πώλησης δεδομένων εκ μέρους της Celera Genomics και την διάθεση τους σε ανοιχτές βάσεις δεδομένων. Μετά από συναντήσεις που σκοπό είχαν να κατευνάσουν τα πνεύματα, οι F. Collins (ο οποίος διηύθυνε το HGP) και C. Venter συμφώνησαν στην ταυτόχρονη δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων των δύο προγραμμάτων.

Είχε προηγηθεί ο επανακαθορισμός εκ μέρους του HGP της ημερομηνίας ανακοίνωσης του πρώτου δείγματος του ανθρωπίνου DNA (την άνοιξη του 2001), εν μέρει υπό τον φόβο να χαθεί η δόξα την πρώτης ανακοίνωσης από την Celera Genomics (Roberts 2001, 1188-1189). Εν τέλει ο στόχος της ταυτόχρονης δημοσιοποίησης επιτεύχθηκε αν και σε διαφορετικά περιοδικά (στο *Nature* για το HGP και στο *Science* για την Celera), ενώ αναφέρθηκε ήδη και η πανηγυρική συνέντευξη τύπου που δόθηκε το καλοκαίρι του 2000. Η δουλειά βέβαια του HGP θα αργούσε ακόμα να τελειώσει. Τρία χρόνια αργότερα, το 2004, το IHGSC⁶ θα ανακοίνωνε ένα πολύ πληρέστερο χάρτη του ανθρωπίνου DNA, μεγέθους 2,85 δισεκατομμυρίων βάσεων με ακρίβεια 1 λάθους ανά 10⁵ βάσεις. Ακόμα όμως και αυτός ο χάρτης δεν ήταν τελειωτικός και περαιτέρω έρευνα ήταν απαραίτητη. Η πλήρης όμως περιγραφή της πορείας του HGP είναι πέρα από τις αξιώσεις αυτής της εργασίας και δεν θα την ακολουθήσουμε άλλο εδώ.

2.3.2 Η έννοια της Big Biology.

Επιστρέφοντας στο αρχικό ερώτημα του κεφαλαίου αυτού, ας αναρωτηθούμε τι συμπεράσματα μπορούμε να εξαγάγουμε για την ορθότητα ή μη της έννοιας της Βιολογίας Μεγάλης Κλίμακας, από την σύντομη αυτή παρουσίαση του HGP. Ήδη από το προηγούμενο κεφάλαιο, αναφέρθηκε πως η μεγέθυνση της βιολογίας είναι δεδομένη. Αλλά, ακόμα και εάν την εντάξουμε στην κατηγορία της Big Science, είναι η μεγέθυνση αυτή αρκετή ή οφείλουμε να τοποθετήσουμε την Big Biology ένα σκαλί χαμηλότερα από την Big Physics; Ίσως το παραπάνω ερώτημα στερείται ιδιαίτερης σημασίας. Παρακολουθώντας την πορεία του HGP είναι αδύνατον να μην παρατηρήσει κανείς την στενή του συσχέτιση με την κεντρική πολιτική σκηνή (των ΗΠΑ αλλά και των άλλων χωρών που συμμετείχαν), την υψηλή του χρηματοδότηση -άρα την εξάρτηση του από διόλου ευκαταφρόνητα οικονομικά κεφάλαια- και τον συγκεντρωτικό τρόπο οργάνωσης του, γνωρίσματα που απαντώνται και στο MP και ομοιάζουν στην κατά τον Weinberg (1961,162) τριπλή ασθένεια της Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας (journalitis, moneyitis, administratitis).

6. International Human Genome Sequencing Consortium. Finishing the euchromatic sequence of the human genome. *Nature*. 2004 Oct 21;431(7011):931-45.

Αυτή η αδυναμία να περιγραφούν επαρκώς προγράμματα όπως το HGP ή το MP χωρίς να γίνει αναφορά στα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι που συνηγορεί υπέρ της ένταξης της βιολογίας στην ίδια κατηγορία Big Science με την φυσική. Ανεξάρτητα από τις επιμέρους οργανωτικές διαφορές τους, είναι προφανές πως και οι δύο επιστήμες επηρεάστηκαν από παρόμοιες κοινωνικές δυνάμεις κατά την διάρκεια του 20ού αιώνα.

3. Η Νευροεπιστήμη Μεγάλης Κλίμακας.

3.1 Μια σύντομη εισαγωγή στη Νευροεπιστήμη.

Ο όρος Νευροεπιστήμη ή ακριβέστερα Νευροεπιστήμες χρησιμοποιείται, στην σύγχρονη ορολογία, για να περιγράψει ένα ευρύ πεδίο ερευνητικού ενδιαφέροντος που εμπεριέχει, μεταξύ άλλων, κλάδους όπως η νευροανατομία, η νευροφυσιολογία και η νευροανοσολογία, οι οποίοι σαν κοινό στόχο έχουν την κατανόηση της λειτουργίας του ανθρώπινου -κυρίως αλλά όχι αποκλειστικά- εγκεφάλου. Αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα της βιολογικής έρευνας και είχε αξιοσημείωτη ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες του 20^{ού} και τον 21^ο αιώνα. Από τις μελέτες του Santiago Ramon y Cajal στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, οι οποίες συνέβαλαν αποφασιστικά στην καθιέρωση ορισμένων από τις κύριες έννοιες της σημερινής νευροεπιστήμης, όπως το νευρικό κύτταρο (neuron), που αποτελεί τη βασική δομική μονάδα του νευρικού συστήματος (Kandel et al. 2014, 6), έως το 1952 που οι Βρετανοί Hodgkin και Huxley (1952, 500-544) περιέγραψαν για πρώτη φορά τον μηχανισμό παραγωγής του δυναμικού ενεργείας (action potential) το οποίο είναι ο βασικός -μέσω ιοντικών διαύλων- τρόπος μεταβίβασης πληροφορίας σε όλο το νευρικό σύστημα, η εικόνα που είχαμε για την οργάνωση και την λειτουργία του εγκεφάλου άλλαξε ριζικά.

Επιπλέον, η εμφάνιση ερευνητικών τεχνικών με ολοένα και αυξανόμενη ακρίβεια, κατά την διάρκεια του 20ού αιώνα, οδήγησε σε νέες ανακαλύψεις και έδρασε ενισχυτικά στην τάση προς μεγέθυνση που χαρακτηρίζει την σύγχρονη νευροεπιστήμη. Παράδειγμα τέτοιων τεχνικών είναι η απομόνωση, στις αρχές της δεκαετίας του 1960, από τον O. Shimomura της Πράσινης Φθορίζουσας Πρωτεΐνης (Green Fluorescent Protein, GFP), της οποίας η ιδιότητα να εκπέμπει πράσινο φως όταν εκτίθεται σε ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος οδήγησε στην κατά κόρον χρήση της, ως μέσο σήμανσης (tag), για να μελετηθούν οι ενδοκυττάριας λειτουργίες των νευρικών κυττάρων (Hoffman 2013, 483). Καθοριστικής σημασίας, επίσης, ήταν η ανάπτυξη απεικονιστικών τεχνικών του εγκεφάλου όπως η μαγνητική τομογραφία (Magnetic Resonance Imaging, MRI) την δεκαετία του 1970, καθώς και πιο εκλεπτυσμένων μορφών αυτής όπως η λειτουργική (functional) MRI την δεκαετία του 1990.

Στο κεφάλαιο αυτό και το επόμενο, στόχος μας είναι να μελετήσουμε πώς επηρέασε την νευροεπιστημονική έρευνα η διεξόδυση της Big Science στην βιολογία -όπως αυτή περιγράφηκε προηγουμένως-. Να εντοπίσουμε τους στόχους που έχουν τα εν εξελίξει προγράμματα Big Neuroscience -κυρίως το Human Brain Project (HBP)- και τα αίτια που οδήγησαν στην δημιουργία τους. Αρκεί άραγε να αναζητήσουμε τα αίτια αυτά αμιγώς στις έντονες συγκινήσεις που προσφέρει η περιπέτεια της επιστημονικής αναζήτησης; Αν μη τι άλλο, η κατανόηση των μηχανισμών που αποτελούν την βάση των νοητικών λειτουργιών και, κατ' επέκταση, είναι υπεύθυνοι για όλους τους τομείς της ανθρώπινης συμπεριφοράς και δραστηριότητας, είναι ένα συναρπαστικό πεδίο έρευνας. Επιπλέον η ανάγκη αντιμετώπισης ασθενειών που συνδέονται με το νευρικό σύστημα όπως η Πολλαπλή Σκλήρυνση, η νόσος Alzheimer και η χορεία Huntington αποτελεί ακόμα ένα ισχυρό κίνητρο για την ανάπτυξη της μελέτης του εγκεφάλου.

Αν όμως τα προηγούμενα κεφάλαια έχουν να διδάξουν κάτι είναι πως η μεγέθυνση πρώτα της φυσικής και έπειτα της βιολογίας δεν οφείλεται αποκλειστικά στην ανάγκη εύρεσης απαντήσεων στα επιστημονικά ερωτήματα, δεν μπορεί να αναζητηθεί αποκλειστικά εντός της επιστημονικής κοινότητας. Αντίθετα η αλληλεπίδραση των μηχανισμών εξουσίας, των οικονομικών συμφερόντων και του κοινωνικού status quo με την κόσμο της επιστήμης είναι πρόδηλη συνεχώς. Αυτού, λοιπόν, του είδους την αλληλεπίδραση θα εξετάσουμε και στην περίπτωση της νευροεπιστήμης. Πριν ξεκινήσουμε όμως μία υποσημείωση είναι απαραίτητη. Πρέπει να υπογραμμιστεί, πως ότι μελετήσαμε έως τώρα αφορούσε ολοκληρωμένα, εδώ και χρόνια, ερευνητικά προγράμματα, γεγονός που δεν ισχύει από εδώ και πέρα. Έχοντας λοιπόν υπόψιν, καθ' όλη την διάρκεια των δύο επόμενων κεφαλαίων, πως πλέον το πεδίο μελέτης μας αφορά στο επιστημονικό γίνεσθαι σε παροντικό χρόνο, θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε την μεγέθυνση της νευροεπιστήμης τον 21^ο αιώνα και τα προβλήματα που ανέκυψαν μαζί της.

3.2 Το Human Brain Project.

Κεντρικό ρόλο στην νευροεπιστήμη του 21^{ου} αιώνα κατέχει το ευρωπαϊκής έμπνευσης Human Brain Project (HBP), αν και δεν αποτελεί το μοναδικό Big Science πρόγραμμα με επίκεντρο την μελέτη του εγκεφάλου. Αντίθετα, συνυπήρξε με παρόμοια προγράμματα εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για παράδειγμα, λίγους μήνες πριν την επίσημη έναρξη του, τον Απρίλιο του 2013, ο Πρόεδρος των ΗΠΑ B. Obama ανακοίνωσε την δημιουργία της Πρωτοβουλίας Brain (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies). Δημιουργήθηκε έτσι μια αίσθηση ανταγωνισμού μεταξύ Ευρώπης και ΗΠΑ για τα επιστημονικά πρωτεία στον τομέα της νευροεπιστήμης. Στην πραγματικότητα βέβαια η πρωτοβουλία BRAIN διέφερε αρκετά από το HBP αφού ήταν ιδιαίτερα διασπασμένη σε ξεχωριστά προγράμματα με διαφορετική χρηματοδότηση (Modic & Feldman 2017, 445). Επιπλέον, ερευνητικά προγράμματα για την μελέτη του εγκεφάλου εμφανίστηκαν και σε άλλες χώρες, όπως το AusBrain από την Ακαδημία Επιστημών της Αυστραλίας, το Brain/MINDS στην Ιαπωνία και το China Brain Project στην Κίνα (Mahfoud 2021, 330).

Επίσημα, το HBP ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2013 υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αποτελώντας ένα από τα δύο πρώτα προγράμματα μιας πρωτοβουλίας υπό τον εντυπωσιακό τίτλο «Προγράμματα-Ναυαρχίδες για τις Μελλοντικές και Αναδυόμενες Τεχνολογίες» (Future and Emerging Technologies, FET Flagship projects, Amounts et al. 2016, 574). Εν περιλήψει, ένας βασικός στόχος του HBP, σύμφωνα με τους εμπνευστές του (Markram et al. 2011, 39-42), ήταν να αντιμετωπίσει την πολυδιάσπαση της έρευνας στην νευροεπιστήμη. Θεωρούσαν, δηλαδή, πως η έως τότε μελέτη του εγκεφάλου που επικεντρωνόταν, αφενός, σε διάφορα επίπεδα οργάνωσης (έκφραση γονιδίων, αλληλεπιδράσεις πρωτεϊνών, συνδέσεις μεταξύ νευρικών κυττάρων) και, αφετέρου, σε διαφορετικούς οργανισμούς, είχε οδηγήσει την νευροεπιστήμη της εποχής σε ένα συνονθύλευμα δεδομένων διαφορετικού χαρακτήρα, άρα ασύνδετων μεταξύ τους. Επιπλέον, ένας δεύτερος στόχος του HBP αναφέρεται πως ήταν η συμβολή στην αντιμετώπιση ασθενειών του νευρικού συστήματος μέσω της έρευνας πάνω στις αιτίες παθογένεσης και της μελέτης της χρησιμότητας υποψηφίων φαρμάκων.

Οι δύο αυτοί στόχοι είναι μάλλον γενικόλογoi. Θα παρουσιαστούν βέβαια παρακάτω με πιο αναλυτικό τρόπο οι επιδιώξεις του HBP, όμως η ουσιαστική διαφοροποίηση του σε σχέση με προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες βρισκόταν, εκτός από το μέγεθος του, στο επίπεδο της μεθόδου που σκόπευε να ακολουθήσει. Η μέθοδος αυτή ήταν, επιγραμματικά, η δημιουργία υπολογιστικών μοντέλων του εγκεφάλου που θα μπορούσαν να προσομοιάσουν τις εγκεφαλικές λειτουργίες. Επειδή, όμως, ίσως η συσχέτιση ηλεκτρονικών υπολογιστών και νευροεπιστήμης να φαίνεται πως ανήκει στην σφαίρα της επιστημονικής φαντασίας, είναι αναγκαίο στο σημείο αυτό να ανοίξουμε μια παρένθεση.

3.2.1 Μια εισαγωγή στην υπολογιστική νευροεπιστήμη.

Πριν περάσουμε στην περαιτέρω παρουσίαση του HBP, σκόπιμο είναι να υπογραμμιστεί, πως η δημιουργία υπολογιστικών μοντέλων που να προσομοιάζουν την λειτουργία του εγκεφάλου δεν είναι παρά ένας αρκετά πρόσφατος κλάδος στην νευροεπιστήμη, ο οποίος, ενίοτε, αντιμετωπίζεται με επιφυλακτικότητα. Ας μην ξεχνάμε άλλωστε, ότι οι πρώτες μεγάλες ανακαλύψεις στο πεδίο αυτό -αλλά και στη μοριακή βιολογία γενικότερα- προήλθαν από την παραδοσιακή μέθοδο της διαίρεσης ενός οργανισμού ή ιστού σε μικρότερα τμήματα και της ξεχωριστής μελέτης καθενός τμήματος με διάφορες απεικονιστικές τεχνικές. Η χρήση άλλωστε του μικροσκοπίου, των ιστοτεμαχίων και των τεχνικών χρώσης ήταν πολύ πιο κοντά στον τρόπο σκέψης ενός ερευνητή της βιολογίας από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Εντός λοιπόν αυτής της μακρόχρονης πειραματικής κουλτούρας, η δημιουργία και εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών κατά την διάρκεια του 20^{ου} και 21^{ου} αιώνα έδωσε ένα επιπλέον εργαλείο στα χέρια της νευροεπιστήμης. Ένα εργαλείο το οποίο, κατά τους υποστηρικτές του, θα μπορούσε να αποτελέσει σημείο τομής στην έρευνα του εγκεφάλου.

Παρά βέβαια το αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημά που προσφέρει η χρήση υπολογιστικών μοντέλων, ως προς το γεγονός πως, αφενός, δεν εμπεριέχει την χρήση πειραματόζων και πως, αφετέρου, επιτρέπει την άμεση αναπαράστασή μιας βιολογικής λειτουργίας και την τροποποίηση των παραμέτρων της -όπως της αρχικής συγκέντρωσης ενός ενζύμου ή ηλεκτρολύτη-, έχουν κατά καιρούς εκφραστεί διάφορες αντιρρήσεις που αφορούν κυρίως την πολυπλοκότητα των βιολογικών συστημάτων, η οποία δεν είναι εύκολο να προσομοιωθεί πλήρως με την χρήση υπολογιστών (in silico).

Με άλλα λόγια η κατασκευή ενός μοντέλου οδηγεί συχνά σε απλουστεύσεις ως προς την ανατομική αναπαράσταση ενός συστήματος ή τον τρόπο λειτουργίας του, γεγονός που δεν είναι πάντα ομόφωνα αποδεκτό εντός και εκτός της υπολογιστικής νευροεπιστήμης. Το πρόβλημα αυτό όπως θα δούμε είναι καίριας σημασίας και για το HBP.

Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών ήταν, όπως αναφέρθηκε, κομβικής σημασίας για όλο τον κλάδο της υπολογιστικής νευροεπιστήμης. Στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας αυτής, βέβαια, η δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων που προσέφεραν οι υπολογιστές ήταν ιδιαίτερα περιορισμένη. Σύμφωνα με τους de Garis et al. (2010, 3), την δεκαετία του 1960 ένας υπολογιστής είχε χωρητικότητα μνήμης ίση περίπου με 8 kB ($\sim 8 \times 10^3$ bits). Η ποσότητα πληροφορίας, όμως, που επεξεργάζεται ο ανθρώπινος εγκέφαλος των 100 δισεκατομμυρίων κυττάρων, που το καθένα συνδέεται με κατά μέσο όρο 10.000 άλλα κύτταρα μέσω των συνάψεων,⁷ η κάθε μια από τις οποίες έχει μέγιστη λειτουργία περίπου ίση με 10 bits/s, είναι της τάξης των 10^{16} bits το δευτερόλεπτο. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς, ότι μέχρι πολύ πρόσφατα ο στόχος να δημιουργηθούν υπολογιστικά μοντέλα του ανθρώπινου εγκεφάλου ανήκε όντως στην σφαίρα της επιστημονικής φαντασίας. Η κατάσταση αυτή βέβαια παρουσίασε δραματική βελτίωση τις επόμενες δεκαετίες φθάνοντας στους σημερινούς υπερυπολογιστές, (supercomputers) οι οποίοι είναι ικανοί να επεξεργάζονται πληροφορίες με ταχύτητες της τάξης των petaflops (10^{15} flops⁸), άρα θεωρητικά βρίσκονται αρκετά κοντά στις ταχύτητες με τις οποίες λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος (Markram 2006, 153).

Παρά όμως την εντυπωσιακή αυτή αύξηση στην ταχύτητα των υπολογιστών, η οποία επιτεύχθηκε στο πολύ μικρό χρονικό διάστημα των περίπου 60 ετών, και κατά τα φαινόμενα θα συνεχίσει με τους ίδιους ταχείς ρυθμούς, η προσομοίωση ενός βιολογικού συστήματος ή μιας βιολογικής λειτουργίας εξακολουθεί να εμφανίζει δυσκολίες.

7. Νευρική σύναψη ή απλά σύναψη είναι μια δομή του νευρικού κυττάρου η οποία του επιτρέπει να μεταφέρει ένα ηλεκτρικό ή χημικό σήμα σε κάποιο άλλο γειτονικό ή μακρινό κύτταρο. Είναι ο βασικός τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των κυττάρων του εγκεφάλου.

8. Τα flops (floating point operations per second) είναι μια μονάδα μέτρησης της απόδοσης ενός υπολογιστή. Η μάλλον περίπλοκη εξήγηση της ακριβούς σημασίας τους είναι εκτός επιδιώξεων για το θέμα που εξετάζουμε.

Για τις δυσκολίες αυτές ευθύνεται ως ένα βαθμό η διχογνωμία μεταξύ ερευνητών ως προς το πόσο ακριβής πρέπει να είναι μια *in silico* κατασκευή των κυκλωμάτων (circuits) του εγκεφάλου ώστε να φτάσει κανείς σε μία επιτυχημένη αναπαράσταση μιας εγκεφαλικής λειτουργίας (de Garis et al. 2010, 4). Όπως είναι ίσως εύκολο να αντιληφθεί κανείς, το τίμημα για την λεπτομερέστερη προσομοίωση μιας βιολογικής λειτουργίας είναι η αύξηση των αναγκών για υπολογιστική δύναμη άρα και η αύξηση του χρόνου και των οικονομικών πόρων που απαιτούνται για να ολοκληρωθεί η προσομοίωση αυτή. Οπότε κατά την διαδικασία δημιουργίας υπολογιστικών μοντέλων, πέραν από επιστημονικά ζητήματα, προκύπτουν και ζητήματα πρακτικής φύσεως για το ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος να προσεγγίσει κανείς το νευρικό σύστημα.

Όπως αναφέρουν οι Eliasmith και Trujillo (2014, 4), υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις στην διαδικασία κατασκευής μοντέλων του νευρικού συστήματος. Η πρώτη, που αφορά και το HBP, ονομάζεται bottom-up και το γενικό χαρακτηριστικό της είναι πως έχει σαν στόχο την κατά το δυνατόν λεπτομερέστερη προσομοίωση των βιολογικών διεργασιών εντός του εγκεφάλου. Ξεκινώντας από το επίπεδο του νευρικού κυττάρου, χρησιμοποιεί ανατομικά και ηλεκτροφυσιολογικά δεδομένα με στόχο να αναπαράγει νευρωνικά δίκτυα (ομάδες κυττάρων που συνδέονται μέσω συνάψεων ώστε να επιτελέσουν μια λειτουργία). Από βιολογικής σκοπιάς είναι η πιο λεπτομερής προσέγγιση αν και απαιτεί μεγαλύτερης διάρκειας προσομοιώσεις (Mahfoud 2021, 333). Η δεύτερη, που ονομάζεται top-down, αφορά την διατύπωση υποθέσεων για τον τρόπο με τον οποίο μια συμπεριφορά -για παράδειγμα η επιλογή δράσης (action selection)- πραγματοποιείται με βάση ένα προτεινόμενο νευρικό κύκλωμα και στην συνέχεια στον έλεγχο του κυκλώματος αυτού ως προς τα δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του. Αντί για το μεμονωμένο κύτταρο, το σημείο εκκίνησης εδώ είναι ένα δίκτυο κυττάρων ενώ ιδιαίτερη χρησιμότητα βρίσκουν δεδομένα από τεχνικές απεικόνισης του εγκεφάλου όπως η μαγνητική τομογραφία και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG).

Το παράδειγμα του οργανισμού ο οποίος έχει την ικανότητα να πετάει, που παραθέτουν οι Eliasmith και Trujillo, είναι αρκετά διαφωτιστικό ως προς τις διαφορές των δύο αυτών τρόπων κατασκευής υπολογιστικών μοντέλων του εγκεφάλου. Για να δημιουργηθεί, λοιπόν, ένα μοντέλο οργανισμού ικανού να πετάξει, μια bottom-up προσέγγιση θα ήταν να διαιρεθεί στα κατά το δυνατόν ελάχιστα τμήματα ένας οργανισμός που είναι γνωστό πως πετάει (κάποιο είδους πουλιού) και στην συνέχεια να πραγματοποιηθεί ενδεδειγμένη ανάλυση του κάθε τμήματος -του ράμφους για παράδειγμα-. Μοιραία βέβαια, η απαίτηση για την κατά το δυνατόν διαίρεση σε ελάχιστα τμήματα θα οδηγούσε στο μοριακό επίπεδο. Το πρόβλημα με την προσέγγιση αυτή είναι πως φτάνοντας στο μοριακό επίπεδο δεν είμαστε σε θέση να εξηγήσουμε τον τρόπο με τον οποίο ο οργανισμός υπό μελέτη επιτυγχάνει να πετάξει ή όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι συγγραφείς: «Δυστυχώς σε χαμηλό (μοριακό) επίπεδο ένα ακτινίδιο είναι πολύ παρόμοιο με μία πάπια» (2014, 4). Αντίθετα ένα μοντέλο top-down θα προσπαθούσε να εντοπίσει συγκεκριμένες δομές που θα υπήρχε ισχυρή υποψία πως σχετίζονται με την ικανότητα πτήσης και να τις κατασκευάσει, να δημιουργήσει για παράδειγμα απλοποιημένα φτερά. Ίσως σε αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα να στερούνταν των λεπτομερειών μιας bottom-up προσέγγισης αλλά θα είχε επιτευχθεί μια γρηγορότερη κατανόηση των αρχών που διέπουν την λειτουργία υπό μελέτη (την ικανότητα πτήσης).

Οι διαφορές μεταξύ των δύο παραπάνω προσεγγίσεων στην κατασκευή μοντέλων του εγκεφάλου θα συζητηθούν και παρακάτω. Προς το παρόν χρήσιμο είναι να κρατήσουμε το γεγονός πως δεν υπάρχει ένας αποδεκτός τρόπος για να κατασκευαστούν τεχνητά νευρικά κυκλώματα. Έτσι, ήταν ίσως αναπόφευκτο, η διχογνωμία αυτή να επηρεάσει ένα τόσο σημαντικό επιστημονικά και δαπανηρό οικονομικά πρόγραμμα όπως το HBP. Ένα πρόγραμμα που όπως θα δούμε χαρακτηριζόταν από την προσπάθεια ενοποίησης των ερευνητικών τεχνικών στην υπολογιστική νευροεπιστήμη.

3.2.2 Ο πρωταγωνιστής του HBP.

Κεντρική φιγούρα του HBP ήταν ο H. Markram, νευροεπιστήμονας και καθηγητής της Ομοσπονδιακής Πολυτεχνικής Σχολής της Λωζάννης (EPFL), ο οποίος εν γένει είναι μια φυσιογνωμία με βαρύνουσα σημασία στον χώρο της νευροεπιστήμης. Η αλήθεια είναι πως λίγοι επιστήμονες συνέδεσαν το όνομα τους με ένα τόσο μεγάλο ερευνητικό πρόγραμμα, έστω και εάν στη συγκεκριμένη περίπτωση τα πράγματα δεν εξελίχθηκαν με ομαλό τρόπο. Όσον αφορά την υπολογιστική νευροεπιστήμη πάντως, ο Markram είχε διανύσει αρκετό δρόμο. Ήδη από το 2005, σε συνεργασία με το EPFL και την εταιρεία IBM (International Business Machines), είχε δημιουργήσει το πρόγραμμα Blue Brain Project (BBP), το οποίο εν πολλοίς αποτέλεσε την βάση για το HBP. Το BBP, που βασίστηκε στον κατασκευασμένο από την IBM υπερυπολογιστή Blue Gene/L, ανήκει στην κατηγορία των bottom-up προγραμμάτων και σαν στόχο είχε την δημιουργία ενός μοντέλου των φλοιϊκών στηλών (cortical columns) του εγκεφάλου του αρουραίου (Markram 2006, 153). Η συνεργασία του BBP είχε πετύχει την δημοσίευση ενός αρχικού μοντέλου το 2007, το οποίο στην συνέχεια προσπάθησε να βελτιώσει συγκρίνοντας το με ήδη υπάρχοντα ανατομικά και φυσιολογικά δεδομένα (Mahfoud 2021, 332).

Η επίτευξη κατά την διάρκεια του BBP της δημιουργίας κυκλωμάτων του εγκεφάλου του αρουραίου με προσθήκη λεπτομερειών από το κυτταρικό επίπεδο (Markram et al. 2011, 40) θα χρησιμοποιούνταν ως proof of concept για το μελλοντικό HBP. Παρεμπιπτόντως, ενδεικτικό στοιχείο για την συνέχεια είναι ο τρόπος που αντιλαμβάνονταν το BBP οι εμπνευστές του. Με τα λόγια του ίδιου του Markram, η αναζήτηση για την κατανόηση της δομής των φλοιϊκών στηλών που στόχο είχε να φέρει σε πέρας το BBP, είχε ξεκινήσει πάνω από 100 χρόνια πριν, από τις μελέτες δηλαδή του Ramon y Cajal (Markram 2006, 155). Αυτή η αίσθηση συνέχειας μεταξύ ενός πρωτοπόρου της κλασσικής νευροεπιστήμης και του έργου του Markram, που αν και ερχόμενος από τον χώρο της βιολογίας δραστηριοποιείται σαφώς εντός της υπολογιστικής νευροεπιστήμης, αν και ίσως λίγο πομπώδης, θα έδινε ένα μέρος της απαραίτητης τεκμηρίωσης για να υποστηριχθεί η χρησιμότητα του HBP.

3.2.3 Η οργάνωση του HBP.

Η δομή του HBP ήταν εξ αρχής πολυπολική, κατά τα πρότυπα της Βιολογίας Μεγάλης Κλίμακας. Εκτάθηκε σε 117 ινστιτούτα διασκορπισμένα σε 19 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και αν υπολογίσει κανείς και τα περίπου 120 Προγράμματα Συνεργασίας (Partnering Projects, PP) το μέγεθος του ήταν πολύ μεγαλύτερο. Τα Προγράμματα Συνεργασίας ήταν επί της ουσίας δορυφορικά προγράμματα του HBP, με χρηματοδότηση που προερχόταν από την χώρα στην οποία διεξάγονταν. Σαν έννοια, η ύπαρξη επικουρικών κομματιών ενός μεγαλύτερου προγράμματος ήταν κάτι γνωστό πλέον στην βιολογική έρευνα, αφού όπως αναφέρθηκε είχαν χρησιμοποιηθεί και στο πρόγραμμα του ανθρωπίνου γονιδιώματος (HGP). Ο βαθμός ελευθερίας που απολάμβαναν βέβαια τα PP του HBP ήταν πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με το HGP, κίνηση που στόχο είχε -μεταξύ άλλων- την διευκόλυνση της διεθνούς συνεργασίας στον τομέα της υπολογιστικής νευροεπιστήμης. Έτσι, δεκτό μπορούσε να γίνει οποιοδήποτε πρόγραμμα με ερευνητικό στόχο συμπληρωματικό ως προς το HBP και αυτόνομη χρηματοδότηση (Amounts et al. 2016, 574-581), γεγονός που ίσως εξηγεί τον εντυπωσιακό αριθμό (120) των PP που αναπτύχθηκαν.

Ο συντονισμός του HBP κατανεμήθηκε σε τρεις δομές, την Επιτροπή των Μετόχων (Stakeholder Board), την Επιτροπή Επιστήμης και Οργάνωσης (Science and Infrastructure Board) και την Διεύθυνση (Directorate). Οι σημαντικότερες αποφάσεις λαμβάνονταν από την Επιτροπή των Μετόχων, στην οποία δικαίωμα συμμετοχής με ένα αντιπρόσωπο είχε κάθε χώρα που συμμετείχε στο πρόγραμμα. Οι άλλες δύο δομές είχαν σαν αντικείμενο την επίβλεψη του Κεντρικού Προγράμματος (Core Project, CP). Το Κεντρικό Πρόγραμμα αυτό, το οποίο αποτελούσε το κυρίως μέρος του HBP, αρθρωνόταν σε επιμέρους υπό-προγράμματα (subprojects), όπως για παράδειγμα το Ethics and Society Subproject, το οποίο λάμβανε χρηματοδότηση που αντιστοιχούσε στο 4.5% του συνολικού προϋπολογισμού του CP και είχε σαν σκοπό να αναλύσει τα ηθικά, κοινωνικά και φιλοσοφικά ζητήματα τα οποία θα μπορούσαν να ανακύψουν (Salles 2019, 381). Όπως ειπώθηκε αντίστοιχο τμήμα υπήρχε και για το πρόγραμμα του ανθρωπίνου γονιδιώματος.

Όσον αφορά το υπόλοιπο CP, αν λάβουμε υπόψιν μια αναφορά προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Απρίλιο του 2012 (A report to the European Commission⁹), αποτελούσε στόχο του HBP να κατασκευάσει μια τεχνική υποδομή που θα ήταν χρήσιμη για την έρευνα του εγκεφάλου και τις εφαρμογές αυτής. Προς επίτευξη του στόχου αυτού θα δημιουργούνταν 6 πλατφόρμες (ICT platforms), η λειτουργία των οποίων θα διευκόλυνε την αλληλεπίδραση μεταξύ των μελών της επιστημονικής κοινότητας. Συγκεκριμένα, θα δημιουργούνταν η πλατφόρμα Νευροπληροφορικής (Neuroinformatics), με σκοπό να κάνει απλούστερη την ανταλλαγή ερευνητικών δεδομένων μέσω της τυποποίηση τους σε άτλαντες – θα υπήρχε για παράδειγμα άτλας δεδομένων του εγκεφάλου του ποντικίου-. Η δεύτερη θα ήταν η πλατφόρμα Προσομοίωσης του Εγκεφάλου (Brain simulation), που θα είχε σαν αντικείμενο την κατασκευή μοντέλων του εγκεφάλου σε διάφορα επίπεδα οργάνωσης, σε συνδυασμό με την πλατφόρμα Υπολογιστών Υψηλής Απόδοσης (High Performance Computing), που θα παρείχε τους κατάλληλους υπολογιστές για τα μοντέλα αυτά. Έπειτα υπήρχε η πλατφόρμα Ιατρικής Πληροφορικής (Medical Informatics), που θα έδινε τη δυνατότητα στο HBP να έχει πρόσβαση σε δεδομένα ασθενών, για παράδειγμα σε απεικονίσεις του εγκεφάλου (όπως οι μαγνητικές τομογραφίες). Τέλος, θα δημιουργούνταν η πλατφόρμα Νευρομορφικών Υπολογιστών (Neuromorphic Computing), με αντικείμενο την χρήση της γνώσης της δομής του εγκεφάλου για την βελτίωση της απόδοσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η πλατφόρμα Νευρορομποτικής (Neurorobotics), που θα προωθούσε την έρευνα για την κατασκευή ρομπότ που θα λειτουργούσαν με βάση τις δομές του νευρικού συστήματος.

Ο χρονικός ορίζοντας του HBP -που συνολικά ήταν δέκα χρόνια- παρουσιάζεται επίσης στην αναφορά προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή την άνοιξη του 2012. Σύμφωνα με αυτή, το HBP διαιρείται σε 3 φάσεις. Η πρώτη, που θα διαρκούσε δύομισή χρόνια (ramp-up phase), θα αποσκοπούσε στην κατασκευή των 6 βάσεων ICT οι οποίες θα ήταν ο πυρήνας του προγράμματος και θα έπρεπε να έχουν ολοκληρωθεί πριν την λήξη της.

9. Διαθέσιμο στο https://sos-ch-dk-2.exo.io/public-website-production/filer_public/14/01/14014871-a946-47b9-8238-381b945468a8/hbp_report_to_the_ec_april_2012.pdf. Τελευταία επίσκεψη 06/03/24.

Η δεύτερη φάση, που θα διαρκούσε τεσσερις μήνες, θα στόχευε να εμπλουτίσει με δεδομένα τις παραπάνω πλατφόρμες, ενώ η τρίτη και τελευταία φάση θα είχε σαν στόχο την οικονομική αυτάρκεια του προγράμματος με βάση την χρησιμότητα που θα είχαν τα αποτελέσματα του για την ευρωπαϊκή και όχι μόνο νευροεπιστήμη.

3.2.4 Η πρόταση για την δημιουργία του HBP

Σημαντική πηγή, για να αντιληφθεί κανείς τις προθέσεις του Markram και των συνεργατών του για το HBP, αποτελεί μια αδρή παρουσίαση του προγράμματος στην Ευρωπαϊκή Συνάντηση και Έκθεση για τις Μελλοντικές Τεχνολογίες (The European Future Technologies Conference and Exhibition), η οποία πραγματοποιήθηκε στην Βουδαπέστη τον Μάιο του 2011 (Markram et al. 2011, 39-42). Παραπάνω από ένα χρόνο νωρίτερα, δηλαδή, από την κατάθεση της αναφοράς στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή που μόλις αναφέρθηκε. Την περίοδο εκείνη το HBP δεν είχε, ακόμα, ξεκινήσει επίσημα αλλά αποτελούσε μία από τις έξι συνολικά Πιλοτικές Δράσεις (Pilot Actions), οι οποίες αντιστοιχούσαν σε εν δυνάμει ερευνητικά προγράμματα του μέλλοντος και επρόκειτο να χρηματοδοτηθούν για ένα έτος ξεκινώντας από την λήξη της Συνάντησης. Μετά το πέρας του έτους, δύο από τις έξι δράσεις θα επιλέγονταν για να ονομαστούν FET Flagship Projects, γεγονός που θα συνεπαγόταν το προνόμιο, πρώτον, της δεκαετούς διάρκειας και, δεύτερον, της χρηματοδότησης συνολικού ύψους άνω του ενός δισεκατομμυρίου ευρώ (Kroes 2011, 24).

Η παρουσίαση λοιπόν αυτή (Introducing the Human Brain Project), που συντάχθηκε από νευροεπιστήμονες διασκορπισμένους σε διάφορα πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα της Ευρώπης -μεταξύ των οποίων η Γερμανία, η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Σουηδία και η Ισπανία- στόχο είχε να πείσει για την υπεροχή του, υπό κατασκευή τότε, HBP ως προς τα υπόλοιπα προγράμματα-ανταγωνιστές. Ξεκινώντας, δίνεται έμφαση στις πολυποίκιλες επιπτώσεις -οικονομικές και κοινωνικές- που έχουν οι ασθένειες που σχετίζονται με βλάβες στο νευρικό σύστημα και εκφράζεται η αναντιστοιχία των επιπτώσεων αυτών με τον διασπασμένο χαρακτήρα της έρευνας του εγκεφάλου.

Η πολυδιάσπαση αυτή δεν μπορούσε να συνεχιστεί. Έτσι, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, ο Markram και οι συνεργάτες του τόνιζαν την ανάγκη ενοποίησης όλης της υπάρχουσας γνώσης της νευροεπιστήμης μέσω της χρήσης της τεχνολογίας των υπερυπολογιστών για την κατασκευή μοντέλων ολόκληρου του εγκεφάλου.

Δεν υπάρχει αμφιβολία πως αν και τεκμηριωμένος ο στόχος αυτός ήταν φιλόδοξος. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κατά την διάρκεια του προγράμματος Blue Brain, το οποίο χρησιμοποίησε υπολογιστές τάξης teraflops (10^{12} flops), επιτεύχθηκε η μετάβαση από το επίπεδο της προσομοίωσης ενός νευρικού κυττάρου στο επίπεδο προσομοίωσης μικροκυκλωμάτων σε κυτταρικό επίπεδο -λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη ιδιότητες του εκάστοτε κυττάρου όπως η λειτουργία διαύλων ιόντων και οι μεταβολές στην συγκέντρωση των νευροδιαβιβαστών στο κατασκευασμένο μοντέλο-. Η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών είχε σαν συνέπεια, στις αρχές της δεκαετίας του 2010, να έχουν κατασκευαστεί υπολογιστές της τάξης των petaflops (10^{15} flops), γεγονός που αναμενόταν -κατά τους συγγραφείς- να είναι αρκετό για την κατασκευή μοντέλων ολόκληρου του εγκεφάλου απλούστερων οργανισμών όπως των τρωκτικών (ποντικιού ή αρουραίου). Καθώς όλο και πιο ισχυροί υπολογιστές θα ήταν διαθέσιμοι – το άρθρο προέβλεπε ταχύτητες της τάξης των exaflops (10^{18} flops) πριν το τέλος της δεκαετίας του 2010- ο δρόμος για την κατασκευή μοντέλων ολόκληρου του ανθρωπίνου εγκεφάλου σε κυτταρικό επίπεδο φαινόταν ανοιχτός. Οι εμπνευστές του HBP μάλιστα αναφέρουν πως θα ήταν δυνατή η προσομοίωση τμημάτων του εγκεφάλου και σε μοριακό επίπεδο, το οποίο είναι ακόμα πιο λεπτομερές από το κυτταρικό άρα και δυσκολότερο να προσομοιωθεί (Markram et al. 2011, 40).

Ποιο θα ήταν όμως το άμεσο όφελος από μία τόσο δαπανηρή ερευνητική προσπάθεια; Παρά το γεγονός πως τα περισσότερα -αν όχι όλα- τα ερευνητικά προγράμματα στην νευροεπιστήμη ισχυρίζονται πως έχουν σαν απώτερο στόχο την βελτίωση των θεραπευτικών μεθόδων εναντίον των νευρολογικών ή των ψυχιατρικών ασθενειών, είναι κοινός τόπος πως η πρόοδος στον τομέα αυτό έρχεται αργά. Χρειάζονται χρόνια αν όχι δεκαετίες πριν να κατανοηθεί πλήρως ένας μηχανισμός παθογένεσης, να προταθεί κάποια δραστική ουσία ως φάρμακο και κατόπιν να ξεκινήσει ο δεύτερος - και δυσκολότερος- γύρος, αυτός των κλινικών δοκιμών, έως ότου να υπάρχει διαθέσιμη κάποια ικανοποιητική θεραπεία.

Το HBP όμως, του εκτιμώμενου κόστους του ενός δισεκατομμυρίου ευρώ, είχε ανάγκη και από μια πιο βραχυπρόθεσμη απάντηση προκειμένου να γίνει πειστικό. Η απάντηση αυτή βρισκόταν αφενός στο διαφορετικό είδος δεδομένων που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν. Η δημιουργία μοντέλων που θα ενσωμάτωναν όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα από την ανατομία και την φυσιολογία του νευρικού συστήματος θα έδινε, σύμφωνα με τον Markram, την δυνατότητα της περαιτέρω διαλεύκανσης της δομής του εγκεφάλου. Για παράδειγμα, η ένταξη σε ένα μοντέλο δεδομένων από διάφορα επίπεδα οργάνωσης όπως η έκφραση γονιδίων, η δομή των νευρικών κυττάρων και το πλήθος των συνάψεων τους θα μπορούσε να οδηγήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τους μηχανισμούς με τους οποίους τα τρία αυτά χαρακτηριστικά αλληλεξαρτώνται, κάτι που θα ήταν αδύνατο εάν καθένα από αυτά ήταν υπό μελέτη ξεχωριστά (Markram et al. 2011, 40).

Πέραν των παραπάνω, από το HBP αναμένονταν μεγάλα οφέλη στον τομέα της τεχνολογίας των υπολογιστών. Αναφέρεται ρητά στο κείμενο-παρουσίαση του προγράμματος, πως παρά το γεγονός πως η σύγχρονη τεχνολογία μπορεί να ξεπεράσει το ανθρώπινο εγκέφαλο σε πολλούς τομείς,¹⁰ εξακολουθούσε να υστερεί σε άλλους. Τέτοιοι τομείς ήταν, για παράδειγμα, η αναλογία κατανάλωσης ενέργειας–αποδοτικότητας και η προσαρμοστικότητα ή πλαστικότητα, η οποία είναι στην ουσία η ικανότητα του εγκεφάλου να τροποποιεί την δραστηριότητα του με βάση τα ερεθίσματα που δέχεται. Οπότε, κατά την διάρκεια του HBP και με βάση τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν, θα διεξάγονταν μελέτες από θεωρητικούς νευροεπιστήμονες, οι οποίοι ξεκινώντας από απλά νευρικά κυκλώματα θα ασχολούνταν με την ανάπτυξη της νευρομορφικής τεχνολογίας (neuromorphic technology). Η τεχνολογία αυτή στην ουσία είναι η αναπαραγωγή κάποιων λειτουργιών του εγκεφάλου σε υπολογιστικά συστήματα με σκοπό όχι πια την κατανόηση του, αλλά την ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων καθαυτών.

10. Η εταιρεία IBM που, όπως ειπώθηκε, συνεργάστηκε με τον Markram κατά το Blue Brain Project, είχε κατασκευάσει τον υπολογιστή Deep Blue, ο οποίος το 1997 νίκησε τον Παγκόσμιο Πρωταθλητή σκακιού Γκάρι Κασπάροφ.

Επιπλέον, καθώς οι επιδιώξεις του HBP δεν στερούνταν φιλοδοξίας, στον ορίζοντα της δεκαετίας που θα διένυε το πρόγραμμα, προβλεπόταν η κατασκευή ολοένα και πιο σύνθετων συσκευών με βάση την λειτουργία του εγκεφάλου, οι οποίες κάποια στιγμή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν βάση για την κατασκευή έξυπνων ρομπότ (intelligent robot).

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται ένας αδρός προγραμματισμός του HBP. Ξεκινώντας και πάλι από εγκεφάλους με απλούστερη δομή, τα πρώτα χρόνια του προγράμματος θα αφορούσαν την δημιουργία μοντέλων που με εκκίνηση τα νευρικά κύτταρα και τις συνάψεις τους θα οδηγούσαν στην κατασκευή νευρικών κυκλωμάτων μικρού και μεγαλύτερου μεγέθους. Καθώς σταδιακά αναμενόταν η περαιτέρω βελτίωση της ταχύτητας των υπερυπολογιστών, θα γινόταν και η μετάβαση στην προσομοίωση πολυπλοκότερων εγκεφάλων με τελική κατάληξη τον άνθρωπο. Τα βήματα αυτά θα πραγματοποιούνταν εντός των τριών φάσεων του προγράμματος που περιγράφηκαν παραπάνω.

Ο Markram και οι συνεργάτες του κατάφεραν να είναι πειστικοί ως προς την χρησιμότητα του HBP, το οποίο ξεκίνησε και επίσημα στα τέλη του 2013. Όπως τα περισσότερα μεγάλα βεληνεκούς προγράμματα, αντιμετώπιστηκε εξ αρχής με κάποιο σκεπτικισμό αν και με πολύ περισσότερο ενθουσιασμό ειδικά σε ειδησεογραφικό επίπεδο. Οι αιτίες του σκεπτικισμού, βέβαια, δεν ήταν απαραίτητα αμιγώς επιστημονικής φύσεως. Η Mahfoud, για παράδειγμα, (2021, 329), παραθέτει την άποψη ενός -ανώνυμου- επιστήμονα ο οποίος κλήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για να αξιολογήσει το HBP. Στην αξιολόγηση αυτή, το HBP χαρακτηρίζεται ως μια προσπάθεια δημιουργίας Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας κατά τον ευρωπαϊκό τρόπο. Η προσπάθεια αυτή ήταν αναμενόμενο -κατά τον αξιολογητή- να συναντήσει δυσκολίες καθώς θα στηριζόταν σε πολλές διαφορετικές χώρες εντός της ΕΕ, άρα σε πολυποίκιλη αντιπροσώπηση, αλλά, ταυτόχρονα, θα ήταν αναγκαίο να βασίζεται σε μια κεντρική διευθύνουσα αρχή που θα είχε την ευθύνη των αποφάσεων. Σκεπτικισμό δημιουργούσαν επίσης ζητήματα οικονομικής φύσεως. Σύμφωνα με την Mahfoud (2021, 330), αποτελούσε πεποίθηση ενός από τους συντάκτες της πρότασης για το HBP -ο οποίος και πάλι δεν κατονομάζεται- ότι η προτεινόμενη ίση χρηματοδότηση μεταξύ των χωρών που συμμετείχαν στο πρόγραμμα θα δημιουργούσε χάσμα μεταξύ των πλουσιότερων χωρών και των λιγότερο πλούσιων, καθώς οι πρώτες θα είχαν την δυνατότητα -και με βάση τον θεσμό των Partnering Projects- να ξοδεύουν περισσότερα

χρήματα για να συμβάλλουν περισσότερο στο HBP. Οι απόψεις αυτές βέβαια δεν δημιούργησαν εξαρχής κάποια μεγάλη αμφισβήτηση ως προς το HBP. Όμως οι αντιδράσεις εναντίον του έμελλε να είναι εντονότερες.

3.2.5 Το γράμμα.

Παρά τη φιλόδοξη ρητορική κατά την έναρξη του, τα πρώτα μαύρα σύννεφα δεν άργησαν να μαζευτούν γύρω από το HBP. Με την μορφή μιας «Ανοικτής Επιστολής προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχετικά με το HBP» (Open message to the EC concerning the Human Brain Project¹¹), η οποία δημοσιεύτηκε τον Ιούλιο του 2014 - λιγότερο από ένα χρόνο δηλαδή από την έναρξη του προγράμματος- στην ειδικά κατασκευασμένη για τον σκοπό αυτό ιστοσελίδα Neurofuture.eu, εκφράστηκαν σοβαρές διαφωνίες σχετικά με το μέλλον του HBP. Η κίνηση αυτή δεν άργησε να πάρει μορφή χιονοστιβάδας. Η επιστολή που, κατά την κατάθεση της στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, είχε συνολικά 156 υπογράφοντες, οι οποίοι συστήνονταν ως «κύριοι ερευνητές (Principal Investigators) ή διευθυντές (Directors) που πληρούν τις προϋποθέσεις για χρηματοδότηση από το HBP», έως τις 6 Αυγούστου είχε 488 υπογραφές (*The Lancet Neurology* 2014, Editorial) ενώ μέχρι τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους ο συνολικός αριθμός ανερχόταν στις 750. Η κατάσταση αυτή ήταν κάθε άλλο από συνηθισμένη για τα ευρωπαϊκά δεδομένα. Εύλογο, λοιπόν, είναι να αναρωτηθεί κανείς τι είχε πάει στραβά στο ένα από τα μόλις δύο κορυφαία ερευνητικά προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ποιες ήταν οι αιτίες που οδήγησαν στην δημοσιοποίηση της διαμαρτυρίας αυτής;

Η αλήθεια είναι πως ο μεγάλος αυτός όγκος των υπογραφών πιθανότατα θα αρκούσε για να είναι ήδη η κατάσταση δύσκολη για να την διαχειριστεί κανείς. Αυτό που περιέπλεκε όμως ακόμα περισσότερο τα πράγματα, και δημιουργούσε μια ιδιαίτερα κρίσιμη για την διοίκηση του HBP ατμόσφαιρα, ήταν η ρητή δέσμευση που λάμβαναν υπογράφοντας το κοινό κείμενο οι παραπάνω επιστήμονες, πως, εάν δεν εισακούγονταν, δεν θα συμμετείχαν σε οποιοδήποτε σχεδιασμένο ή μελλοντικό Partnering Project (Frégnac & Laurent 2014, 27).

11. Διαθέσιμη στο <https://web.archive.org/web/20140831141213/http://www.neurofuture.eu/>. Τελευταία επίσκεψη 06/03/24.

Δεν επρόκειτο, επομένως, για μια κίνηση που έμενε στο επικοινωνιακό επίπεδο άλλα απειλούσε να έχει σοβαρό πρακτικό αντίκτυπο. Καθώς περίπου το 50% της συνολικής χρηματοδότησης του HBP αναμενόταν να προέλθει από τα PP, τα πράγματα κινδύνευαν να βγουν εκτός ελέγχου και η αξία του προγράμματος να υποβαθμιστεί.

Επιπλέον, εκτός από τον συλλογικό τρόπο διαφωνίας μέσω της επιστολής, ορισμένοι επιστήμονες εξέφρασαν δημόσια τις αντιρρήσεις τους και σε προσωπικό επίπεδο. Κάποιες από αυτές τις αντιρρήσεις ήταν μάλιστα ιδιαίτερα οξείες. Για παράδειγμα, ο Peter Dayan, διευθυντής, τότε, του Τμήματος Υπολογιστικής Νευροεπιστήμης Gatsby στο University College London ο οποίος βρισκόταν ανάμεσα σε αυτούς που υπέγραψαν το γράμμα εναντίον του HBP, θεωρούσε πως: «Το πρόγραμμα κατάφερε να γίνει πειστικό με βάση την ιδέα της κατασκευής μια δομής για την προσομοίωση του ανθρώπινου εγκεφάλου. Αυτό απλά είναι ανοησία. Δεν μπορούμε καν να κατασκευάσουμε μια προσομοίωση για τα νηματώδη¹²» (Watts, 2014).

Αναζητώντας τις αιτίες της αντιπαράθεσης λοιπόν, σημαντικό ρόλο στην κίνηση εναντίον της πορείας που είχε χαράξει το HBP έπαιξε ο χειρισμός, εκ μέρους του Markram και της διοίκησης του HBP (Board of Directors), του υπό-προγράμματος, (subproject) της Γνωσιακής Νευροεπιστήμης¹³ που διηύθυνε ο Stanislas Dehaene, γνωστός Γάλλος νευροεπιστήμονας ο οποίος, παρεμπιπτόντως, βρισκόταν ανάμεσα στους συγγραφείς που είχαν συντάξει την παρουσίαση του HBP (Introducing the Human Brain Project) το 2011 όταν αυτό βρισκόταν ακόμα σε δοκιμαστικό στάδιο. Το πρόγραμμα του Dehaene, υπό τον τίτλο Cognitive Architectures, απέτυχε να είναι εντός της δεύτερης αίτησης για χρηματοδότηση που συνέταξε το Board of Directors το 2014, για λόγους που δεν έγιναν επίσημα γνωστοί. Όπως μάλιστα αναφέρει η Mahfoud (2021, 334), σε κανένα από τους δύο εμπλεκόμενους επιστήμονες (Markram-Dehaene) δεν επιτράπηκε να εξηγήσουν τους λόγους της διαφωνίας τους στους δημοσιογράφους.

12. Πρόκειται για ένα είδος σκουληκιού πολύ χρήσιμο για την έρευνα στην νευροεπιστήμη. Προφανώς κατά πολύ απλούστερος οργανισμός από τον άνθρωπο.

13. Η Γνωσιακή Νευροεπιστήμη (Cognitive Neuroscience) είναι ένας κλάδος της νευροεπιστήμης που εμφανίστηκε την δεκαετία του 1990 και μελετά τον τρόπο με τον οποίο αναδύονται οι γνωστικές λειτουργίες όπως η μνήμη και η αντίληψη από την δραστηριότητα των νευρικών κυττάρων. Χρησιμοποιεί μεταξύ άλλων σύγχρονες απεικονιστικές τεχνικές όπως η fMRI και PET καθώς και υπολογιστικά μοντέλα (McClelland, 2001).

Η de facto αφαίρεση του sub-project Cognitive Architectures από το HBP είχε σαν συνέπεια να αμφισβητηθεί ο ίδιος ο χαρακτήρας του HBP, καθώς όπως ανέφερε χαρακτηριστικά ο Alexandre Rouget του Πανεπιστημίου της Γενεύης (Sample, 2014), «Υπάρχει ο κίνδυνος, η Ευρώπη να πιστεύει πως επενδύει σε ένα μεγάλο πρόγραμμα νευροεπιστήμης αλλά δεν πρόκειται για κάτι τέτοιο. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα IT» (Information Technology). Ο κύριος προβληματισμός, δηλαδή, που εξέφραζαν οι επιστήμονες που συμμερίζονταν την άποψη του Rouget ήταν πως ο σχεδιασμός του HBP δεν είχε σαν σημείο εκκίνησης τους προβληματισμούς της σύγχρονης νευροεπιστήμης για τον τρόπο λειτουργίας του εγκεφάλου αλλά περισσότερο την δημιουργία καλύτερων υπολογιστικών συστημάτων. Ας μην ξεχνάμε πως το HBP, προγραμματικά τουλάχιστον, αποτελούσε ένα συνδυασμό των δύο αυτών πεδίων, οπότε μια μορφή ισορροπίας ήταν απαραίτητη. Ο τερματισμός, όμως, του προγράμματος που διηύθυνε ο Dehaene φαινόταν πως διατάραζε την ισορροπία αυτή, επιβεβαιώνοντας του φόβους πολλών νευροεπιστημόνων.

Το πιθανότερο σενάριο βέβαια, είναι πως η υπόθεση του Cognitive Architectures δεν ήταν παρά μια αφορμή για να εκφραστούν βαθύτερες αντιρρήσεις για την πορεία που είχε χαράξει το HBP. Πέραν αυτών, είναι σαφές πως την κατάσταση επιδείνωνε ακόμα περισσότερο το γεγονός πως η προσωπικότητα και οι επιλογές του Markram δεν ήταν ιδιαίτερα δημοφιλείς ή τουλάχιστον έγιναν αντικείμενο έντονης κριτικής. Για την ακρίβεια, η ηγετική φυσιογνωμία του HBP είχε να αντιμετωπίσει την δυσπιστία πολλών επιστημόνων που θεωρούσαν πως δρούσε με αυταρχικό και μη δίκαιο τρόπο. Χαρακτηριστική του παραπάνω είναι η άποψη του Zachary Mainen, αμερικάνου νευροεπιστήμονα και εκ των συντακτών της επιστολής, πως «το HBP δεν είναι δημοκρατία είναι το παιχνίδι του Henry (Markram) και είτε μπορείς να πειστείς από τα επιχειρήματα του είτε να αποχωρήσεις» (Enserink, 2014). Το πρόβλημα αυτό γινόταν ακόμα μεγαλύτερο αν αναλογιστεί κανείς την υπερσυγκέντρωση εξουσιών που υπήρχε ήδη στο HBP. Σε αντίθεση με την συνηθισμένη για την Ευρώπη τακτική να ανατίθεται η διαχείριση μεγάλων προγραμμάτων σε οργανισμούς με πολυπρόσωπη συμμετοχή, στην περίπτωση του HBP ίσχυε το ακριβώς αντίθετο.

Επ' αυτού, οι Frégnac και Laurent (2014, 29) αναρωτιούνται χαρακτηριστικά: «Γιατί τότε, η (ευρωπαϊκή) επιτροπή παραχώρησε σχεδόν όλο τον σχεδιασμό, την διαχείριση και την δυνατότητα λήψης αποφάσεων ενός τεράστιου, δημόσιου, ευρωπαϊκού έργου σε ένα ακαδημαϊκό ίδρυμα και τρεις κύριους ερευνητές (Principal Investigators), οι δύο από τους οποίους είναι μέλη στο ίδρυμα αυτό;».

Ακόμα, πέραν του δεδομένου προβλήματος με τον Markram, υπό αμφισβήτηση τέθηκε με ξεκάθαρο τρόπο ο ρεαλισμός των επιδιώξεων του HBP. Όπως αναφέρουν οι Frégnac & Laurent (2014, 28), ήδη από την αρχή του προγράμματος υπήρχαν φωνές που τόνιζαν πως η γνώση γύρω από τον εγκέφαλο ήταν σε πολύ πρώιμο στάδιο για να ικανοποιηθούν οι απαραίτητες προϋποθέσεις ώστε να δημιουργηθούν ακριβείς υπολογιστικές προσομοιώσεις. Παράδειγμα τέτοιας έλλειψης δεδομένων είναι η απουσία ενός χάρτη των συνδέσεων μεταξύ των κυττάρων (connectome), ο οποίος θα μπορούσε να είναι πολύ χρήσιμος στην κατασκευή των μοντέλων. Υπό αυτό το πρίσμα, πολλοί επιστήμονες -αναφέρθηκε ήδη ο P. Dayan- δεν ήθελαν να δουν ένα τόσο σημαντικό οικονομικό κεφάλαιο όσο αυτό που λάμβανε το HBP να δαπανάται για κατασκευή υπολογιστικών μοντέλων και λόγω του φόβου πως έτσι δεν θα υπήρχε αρκετή χρηματοδότηση για πιο ρεαλιστικά προγράμματα τα οποία θα ήταν εγγύτερα στην μελέτη του εγκεφάλου.

3.2.6 Οι πρώτες συνέπειες της διαμάχης.

Είναι ίσως εύκολο να φανταστεί κανείς πως η παραπάνω επιστολή μαζί με το έντονο παρασκήνιο που την είχε προκαλέσει αλλά που δεν έβρισκε το φως της δημοσιότητας δεν θα μπορούσε να μην δημιουργήσει αίσθηση εντός και εκτός της επιστημονικής κοινότητας. Όπως επίσης, δεν θα μπορούσε να μην έχει συνέπειες στην πορεία του HBP. Ήδη από την κατάθεση της επιστολής στα τέλη του 2014 είχε ζητηθεί από τους υπογράφοντες να γίνει η προγραμματισμένη αξιολόγηση της πρώτης (ramp-up) φάσης του προγράμματος κατά διαφανή τρόπο και να προταθούν αλλαγές στην ηγεσία του. Έτσι τον Ιανουάριο του 2015, μετά από την αξιολόγηση αυτή, ο H. Markram αντικαταστάθηκε από τον Philippe Gillet, έως τότε κοσμήτορα του EPFL, ενώ το πρόγραμμα Cognitive Architectures αποκαταστάθηκε ως επίσημο τμήμα του HBP. Βέβαια, αυτή η αλλαγή φρουράς στην κορυφή δεν ήταν, όπως θα δούμε παρακάτω, η

μοναδική αλλαγή στο HBP αλλά ήταν με διαφορά η πιο ηχηρή. Άλλωστε ο Markram ήταν το πιο προβεβλημένο πρόσωπο του HBP.

Σαν εισαγωγή για το επόμενο κεφάλαιο, δεν μπορούμε να αποφύγουμε την ερώτηση που προκύπτει από την διαμάχη εντός του HBP. Ήταν πράγματι οι στόχοι που έθεσε το πρόγραμμα αυτό μη ρεαλιστικοί; Εάν η απάντηση είναι ναι, προκύπτει η ακόμα πιο σημαντική -από πλευράς Big Science- ερώτηση για το πώς ένα πρόγραμμα που δεν μπορούσε να ικανοποιήσει τους στόχους που έθεσε, έφτασε να λάβει χρηματοδότηση τέτοιου ύψους από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Κατάφερε ο H. Markram να εξαπατήσει τους ιθύνοντες της ΕΕ ή επρόκειτο για κάτι άλλο; Πριν προχωρήσουμε σε οποιαδήποτε ετυμηγορία είναι σημαντικό να θυμηθούμε δύο βασικά προβλήματα. Το πρώτο είναι πως εξετάζουμε ένα πρόγραμμα που εκτυλίσσεται σε παροντικό χρόνο. Η τελευταία Σύνοδος Κορυφής του HBP πραγματοποιήθηκε τον Μάρτιο του 2023 ενώ το πρόγραμμα ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο του 2023¹¹. Το δεύτερο είναι πως στο βαθμό που δεν επιτρέπεται στους εμπλεκόμενους επιστήμονες να εξηγήσουν την κατάσταση που επικρατούσε προ και κατά την διάρκεια της κρίσης είναι δυσχερέστερη η εξαγωγή συμπερασμάτων με ασφάλεια.

Δοθέντων των δύο παραπάνω περιορισμών, ορισμένες αιτίες για την διαμάχη που ξέσπασε εντός του HBP σίγουρα πρέπει να αναζητηθούν εντός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Theil, 2015), καθώς, ανεξάρτητα από την δεδομένη ικανότητα του Markram να πείθει του ακροατές του, η τελική απόφαση που έδωσε το πράσινο φως στο HBP δεν ήταν δική του άλλα των διαχειριστικών οργάνων της ΕΕ που η λειτουργία τους είναι να αξιολογούν με ορθό τρόπο τα πιθανά οφέλη και το μέγεθος του ρίσκου κάθε επιστημονικού προγράμματος. Καθώς βρισκόμαστε στο επίπεδο της Big Science, δεν πρέπει να ξεχνάμε πως αν ένα πράγμα φαίνεται να είναι απαραίλλακτο σε αυτή είναι η συσχέτιση επιστήμης με την εκάστοτε εξουσία. Η ευρωπαϊκή ελίτ που προώθησε την δημιουργία του HBP σίγουρα δεν είχε σαν μοναδικό κίνητρο το κυνήγι της επιστημονικής γνώσης, αλλά σαν απώτερο στόχο είχε την εξασφάλιση κέρδους όχι μόνο με την αυστηρά οικονομική έννοια. Ο τρόπος όμως που το όραμα του Markram συνδυάστηκε με τις πολιτικές και οικονομικές επιδιώξεις της ΕΕ θα είναι αντικείμενο συζήτησης του επόμενου κεφαλαίου.

11. The Human Brain Project ends: What has been achieved. 2023. Διαθέσιμο στο <https://www.humanbrainproject.eu/en/follow-hbp/news/2023/09/28/human-brain-project-ends-what-has-been-achieved/>. Τελευταία επίσκεψη 06/03/24

4. Η Νευροεπιστήμη εντός και εκτός πολιτικών ορίων.

4.1 Η πολιτική διάσταση του HBP.

4.1.1. Η ανομοιογένεια της ΕΕ.

Η διαμάχη εντός του HBP, που είχε σαν αποτέλεσμα την αμφισβήτηση της αξιοπιστίας του προγράμματος και την αντικατάσταση του επικεφαλής του, αποτελεί ένα στιγμιότυπο με βαρύνουσα σημασία στην ιστορία της Big Science. Όχι όμως τόσο της Big Science γενικά και αόριστα, αλλά της Big Science στην ευρωπαϊκή εκδοχή της. Η διαφορά αυτή έχει την σημασία της. Ειδικά αν αναλογιστεί κανείς πως τα δύο μεγάλα επιστημονικά προγράμματα τα οποία εξετάστηκαν προηγουμένως ήταν το Manhattan Project (MP) και το Human Genome Project (HGP). Το μεν πρώτο αποτελεί ένα εγχείρημα του οποίου οι ερευνητικές εγκαταστάσεις βρισκόταν ολοκληρωτικά εντός της αμερικάνικης ηπείρου. Το δεύτερο είχε αρχικά μια πιο διεθνή φυσιογνωμία αλλά, όπως αναφέρθηκε, η τελική του μορφή διαρθρωνόταν κυρίως από ερευνητικά κέντρα με βάση τις ΗΠΑ και το Ηνωμένο Βασίλειο.¹² Τα δύο αυτά προγράμματα βασικά αντανakλούν τον συσχετισμό των κοινωνικών και πολιτικών δυνάμεων εντός των ΗΠΑ της αντίστοιχης περιόδου και πρέπει να κατανοηθούν ως εκφάνσεις της αμερικάνικης επιστημονικής και γεωπολιτικής εξακτίωσης που συντελέστηκε κατά την διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου και έπειτα από αυτόν.

Όσο αφορά το Human Brain Project όμως, το οποίο σχεδιάστηκε, τον 21^ο αιώνα, από την ηγεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα πράγματα ήταν πολύ διαφορετικά. Αποτελούμενη από κράτη-μέλη με ξεχωριστό πολιτισμικό αποτύπωμα, πολιτικές φιλοδοξίες και οικονομικές δυνατότητες η Ευρώπη είναι πολύ περισσότερο ανομοιογενής σε σχέση με την κοινωνία των ΗΠΑ. Παρά βέβαια, αυτή την παραδοσιακή διαφορετικότητα εντός της ΕΕ, εξίσου παραδοσιακή και μακρόχρονη ήταν η κουλτούρα διεθνούς αλληλεπίδρασης στις επιστήμες μέσω, ανταλλαγής δεδομένων και πειραματικών τεχνικών. Η επιστημονική αλληλεπίδραση αυτή είχε, άλλωστε, σημαντικούς λόγους για να ενισχυθεί κατά το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα.

12. Βλέπε Κεφ. 2 σελ. 23.

Συγκεκριμένα, το γεγονός πως μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο η ΕΕ βρέθηκε να υστερεί σε αρκετούς τομείς της επιστημονικής έρευνας, είχε οδηγήσει σε προσπάθειες να γεφυρωθεί το χάσμα με την απέναντι πλευρά του Ατλαντικού μέσω δημιουργίας ευρωπαϊκών δομών προώθησης της επιστημονικής συνεργασίας. Παραδείγματα ως προς αυτό, αποτελούν η ίδρυση του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου για την Πυρηνική Έρευνα (CERN) το 1953 και του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Μοριακής Βιολογίας (EMBO) την δεκαετία του 1960.

Αναντίρρητα πάντως, η ΕΕ είναι μια πολύ διαφορετική οντότητα από τις ΗΠΑ. Ο τρόπος συνεπώς με τον οποίον θα μπορούσε να πετύχει εντός αυτής ένα πρόγραμμα Big Science, ειδικά εφόσον επρόκειτο για ένα πρόγραμμα Νευροεπιστήμης Μεγάλης Κλίμακας, αποτέλεσε ένα διαφορετικό, πολιτικά και διοικητικά, και πιθανότατα δυσκολότερο πρόβλημα σε σχέση με το ΜΡ και το ΗΓΡ. Το πρόβλημα αυτό, ουσιαστικά αποτελούνταν από τουλάχιστον δύο επιμέρους προβλήματα. Αφενός μεν, την απουσία οποιουδήποτε προηγούμενου μεγάλης κλίμακας εγχειρήματος στην νευροεπιστήμη και αφετέρου την ίδια την δομή της ΕΕ.¹³

4.1.2. Η ευρωπαϊκή οικονομική κρίση.

Καθοριστικό ρόλο, για το ΗΒΡ, φαίνεται ότι έπαιξε το γεγονός πως στις αρχές της δεκαετίας του 2010 η Ευρώπη είχε να αντιμετωπίσει τις συνέπειες της οικονομικής κρίσης του 2007 (Mahfoud 2021, 328). Όπως φαίνεται στο κείμενο «Ευρώπη 2020, Μια στρατηγική για έξυπνη, αειφόρο και συμπεριληπτική ανάπτυξη» (ΕC, 2010), το οποίο υπογράφεται τον Μάρτιο του 2010 στις Βρυξέλλες από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η τότε κατάσταση της ΕΕ απέπνεε ανησυχία. Άμεσες δράσεις ήταν απαραίτητες καθώς η οικονομική ανάπτυξη των προηγούμενων ετών δεν υπήρχε πιά, το συνολικό ευρωπαϊκό ΑΕΠ είχε μειωθεί κατά 4% το προηγούμενο έτος (2009), η βιομηχανική παραγωγή είχε πέσει σε επίπεδα συγκρίσιμα με το 1990 και υπολογίζονταν πως περίπου 23 εκατομμύρια άνθρωποι ήταν πλέον άνεργοι (ΕC 2010, 5).

13. Όπως αναφέρει ο Υ. Frégnac, ήταν δύσκολο να οριστεί το σημείο έναρξης του ΗΒΡ σε διάφορους τομείς, καθώς τότε στην ΕΕ υπήρχε -μεταξύ άλλων- πολυδιάσπαση της νευροεπιστήμης με συνέπεια να μην υπάρχει, αφενός, συμφωνία σε διάφορα σημαντικά ζητήματα όπως οι βάσεις δεδομένων που θα χρησιμοποιούνταν και, αφετέρου, προηγούμενη εμπειρία στον συντονισμό μεγάλης κλίμακας προγραμμάτων στην νευροεπιστήμη (Frégnac 2023, 3).

Εκτός αυτού, κυριαρχούσαν τάσεις διάλυσης με χαρακτηριστικό παράδειγμα την πολιτική και οικονομική διαμάχη για την αποχώρηση της Ελλάδας -αρχικά αλλά και άλλων χωρών στην συνέχεια- από την Ένωση. Οι φυγόκεντρες τάσεις αυτές πήραν, εν τέλει, σάρκα και οστά με την αποχώρηση του Ηνωμένου Βασιλείου τον Ιανουάριο του 2020.

Η ευρωπαϊκή απάντηση στις παραπάνω συνθήκες συνοψίζονταν στην στρατηγική «Ευρώπη 2020», η οποία εκτός των άλλων εμπεριείχε την έννοια της έξυπνης ανάπτυξης (smart growth), μιας οικονομίας δηλαδή βασισμένης στην καινοτομία και την επιστημονική γνώση. Επιπλέον, στόχοι του «Ευρώπη 2020» ήταν η αειφόρος (sustainable) και η συμπεριληπτική (inclusive) ανάπτυξη ώστε η μελλοντική οικονομία της ΕΕ να είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον και να προσφέρει περισσότερες θέσεις εργασίας (EC 2010, 8). Για την επίτευξη της έξυπνης ανάπτυξης, το 3% του ευρωπαϊκού ΑΕΠ επρόκειτο να επενδυθεί σε προγράμματα Έρευνας και Ανάπτυξης (Research and Development, R&D).¹⁴ Αυτό πρακτικά σήμαινε ότι θα γίνονταν προσπάθειες ώστε να ενταθεί η ήδη στενή αλληλεπίδραση πανεπιστημίων και ερευνητικών ιδρυμάτων με ιδιωτικές εταιρείες ΙΤ ή εταιρείες κατασκευής ερευνητικού εξοπλισμού. Επιπλέον, η συνεργασία αυτή θα γινόταν υπό την σκέπη των κέντρων λήψης αποφάσεων της ΕΕ, με σκοπό την καλύτερη διαχείριση των οικονομικών πόρων που θα ήταν διαθέσιμοι. Ως προς αυτό, σκόπιμο είναι, να έχει υπόψιν του κανείς πως καλύτερη διαχείριση οικονομικών πόρων από την σκοπιά της Big Science σημαίνει αυστηρά προσηλωμένη χρήση τους για την επίτευξη των στόχων που πρέπει να επιτευχθούν χωρίς άσκοπες αποκλίσεις.

Με βάση το παραπάνω πλάνο αντιμετώπισης των συνεπειών της οικονομικής κρίσης λοιπόν, προέκυψαν τα Flagship Project στα οποία συγκαταλεγόταν και το HBP. Από το πρόγραμμα αυτό, αναμένονταν πολλαπλά οφέλη για την ΕΕ. Αφενός, υπήρχε η προσδοκία ότι το μέγεθος και η μοναδικότητα του θα κατάφερναν να αποτελέσουν πόλο έλξης για επιστήμονες εντός και εκτός της Ευρώπης. Θα ήταν, λοιπόν, ένα δείγμα ευρωπαϊκής ανταγωνιστικότητας ως προς τις υπόλοιπες χώρες του κόσμου, μια μορφή επίδειξης δύναμης.

14. Ο όρος Έρευνα και Ανάπτυξη (Research and Development) χρησιμοποιείται για να περιγράψει την δραστηριότητα εκ μέρους μιας ιδιωτικής δομής ή ενός κρατικού θεσμού (εταιρίας ή κυβέρνησης) με σκοπό την δημιουργία νέων προϊόντων ή υπηρεσιών και στην περίπτωση που εξετάζουμε αφορά και το HBP.

Αφετέρου, λόγω της διάρκειας του, το σχέδιο ήταν πως το HBP θα αποτελούσε την βάση για να δημιουργηθεί ένα νέο παράδειγμα συνεργασίας στην ευρωπαϊκή έρευνα το οποίο θα ήταν ακόμα πιο μακρόπνοο. Η επίτευξη κυρίως αυτού του τελευταίου στόχου ήταν μεγάλης σημασίας, καθώς όπως είδαμε μια βασική διαφορά ΕΕ και ΗΠΑ ήταν η πολιτική και πολιτισμική ανομοιογένεια. Οπότε ένα παράδειγμα επιτυχημένης επιστημονικής συνεργασίας, παρά τις διαφορές μεταξύ των κρατών, θα ήταν μια ιδιαίτερα σημαντική παρακαταθήκη και πιθανόν να λειτουργούσε ως ανάχωμα για την Ευρώπη των κοινωνικοπολιτικών και οικονομικών προβλημάτων των αρχών του 21^{ου} αιώνα. Ως προς το τελευταίο βέβαια, είναι σαφές πως τα πράγματα πήραν αρκετά διαφορετική πορεία από την προσδοκώμενη. Όπως αναφέρθηκε, η κρίση δεν αποφεύχθηκε ούτε εντός του ίδιου του HBP παρά την πεποίθηση του τότε προέδρου της Ευρωπαϊκής Επιτροπής J. M. Baroso πως «οι Ευρωπαίοι ηγέτες έχουν μια κοινή ανάλυση για τα μαθήματα που πρέπει να εξαχθούν από την κρίση» (EC, 2010).

4.1.3. Το ισοζύγιο πολιτικής και επιστήμης.

Ως ένα βαθμό λοιπόν, η ύπαρξη του HBP φαίνεται να οφείλεται στην προσπάθεια αντίδρασης εκ μέρους της ΕΕ απέναντι στην κρίση ταυτότητας που την απειλούσε. Πού όμως οφείλεται η ανεκτικότητα με την οποία αντιμετωπίστηκαν οι μη ρεαλιστικές αρχικές επιδιώξεις του; Το ενδεχόμενο να υπήρχε, ως προς το θέμα αυτό, άγνοια δεν φαίνεται πιθανό. Δύσκολα μπορεί, δηλαδή, να δεχθεί κανείς πως οι ιθύνοντες της Ευρώπης δεν γνώριζαν για τις ενστάσεις που αντιμετώπιζε το πρόγραμμα, ως προς τον βαθμό στον οποίο ήταν δυνατό να επιτευχθούν οι στόχοι που είχαν τεθεί (Rüland 2023, 562). Ήταν άραγε τα οικονομικά, πολιτικά και επιστημονικά οφέλη που αναμένονταν, αρκετά για να υποβαθμιστεί αυτή η έλλειψη ρεαλισμού; Σύμφωνα με την Mahfoud, η απάντηση είναι ναι. Η ίδια παραθέτει, μάλιστα, την άποψη ενός ανώτερου μέλους της διοίκησης (senior administrator) του HBP, το οποίο δεν κατονομάζεται, σύμφωνα με την οποία: «ο επιστημονικός στόχος του HBP είναι στην πραγματικότητα κατά μεγάλο βαθμό δευτερεύων ... θα έλεγα πως ο κύριος στόχος είναι η ενοποίηση της επιστημονικής προσπάθειας κατά μήκος της Ευρώπης ... αυτό που προσομοιώνεις, θα μπορούσε να είναι ένα πόδι» (αντί για τον εγκέφαλο) (Mahfoud 2021, 331).

Παρεμπιπτόντως, είναι φανερή και εδώ η μυστικότητα που περιβάλλει ορισμένα σημεία του HBP, καθώς δύσκολα μπορεί κανείς να αξιολογήσει την προέλευση τέτοιων απόψεων ή την απήχηση που είχαν. Εάν, πάντως, το παραπάνω είναι αληθές, το HBP φαίνεται πως ήταν ένα πρόγραμμα Big Science που παρά τον δημόσια εκφρασμένο στόχο του, να δημιουργήσει ένα πλήρες υπολογιστικό μοντέλο του ανθρωπίνου εγκεφάλου, είχε εντούτοις, σε παρασκηνιακό επίπεδο, τοποθετήσει τον στόχο αυτό σε δεύτερη μοίρα.

Ίσως, βέβαια, με μια πρώτη ματιά, το συμπέρασμα αυτό να φαίνεται λίγο βεβιασμένο. Αφενός, είναι ιδιαίτερης σημασίας η στάση που κράτησε ως προς το HBP η ευρωπαϊκή νευροεπιστημονική κοινότητα που συμμετείχε σε αυτό, η οποία, φυσικά, δεν μπορεί να λογιστεί ως σκεπτόμενη με τον ίδιο τρόπο ή δρώσα με οδηγό τα ίδια συμφέροντα. Ο ίδιος ο Markram (2012, 50-55), για παράδειγμα, φαίνεται ότι πίστευε πραγματικά πως μια πλήρης προσομοίωση του ανθρωπίνου εγκεφάλου θα ήταν δυνατή έως το τέλος του προγράμματος. Η αισιοδοξία του αυτή μάλλον προερχόταν από την προσδοκία πως στο άμεσο μέλλον θα επιτυγχανόταν η κατασκευή ολοένα και ισχυρότερων υπολογιστών που ήταν απαραίτητοι για την τεχνική υποστήριξη των προσομοιώσεων. Αρκεί όμως μια τέτοια πεποίθηση -ακόμα και εάν προέρχεται από μια ηγετική φυσιογνωμία- για να πειστεί κανείς για τους στόχους ολόκληρου του προγράμματος;

Σύμφωνα με τον Y. Frégnac, ενεργό μέλος του HBP, οι περισσότεροι επιστήμονες που συμμετείχαν ήταν εξαρχής πεπεισμένοι πως η κατασκευή ενός μοντέλου ολόκληρου του ανθρωπίνου εγκεφάλου, ήταν απίθανο να επιτευχθεί στα δέκα χρόνια που ήταν ο χρονικός ορίζοντας του προγράμματος. Παρόλα αυτά, ο λόγος για τον οποίο συμμετείχαν ήταν επειδή: «πολλοί από εμάς σκέφτηκαν ότι μια τέτοια αναγωγιστική (reductionist) εξερεύνηση θα μπορούσε να αποκαλύψει δρόμους απαραίτητους για να κατασκευαστεί ένα πιο πλήρες μοντέλο του εγκεφάλου, την ύπαρξη των οποίων δεν είχαμε υποπτευθεί» (Frégnac 2023, 2 &7). Μπορεί δηλαδή να ήταν σαφές για πολλούς επιστήμονες, ότι το HBP δεν θα κατάφερνε να υλοποιήσει τις προσδοκίες που το ίδιο είχε δημιουργήσει αλλά θα υπήρχαν παράπλευρα οφέλη τα οποία θα έδιναν ώθηση στις μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες.

Ίσως σε μια πιο κυνική εκδοχή, η τόσο γενναία χρηματοδότηση που υποσχόταν το HBP και τα Partnering Projects να έπαιξε κάποιο ρόλο στο να δοθεί μια αρχική πίστωση χρόνου, κατά την αρχή «when the money is coming your way you don't ask any questions».¹⁵ Από τα παραπάνω φαίνεται να ενισχύεται περαιτέρω η θέση πως ένα τμήμα των στόχων του HBP -και βασικά ο τελικός στόχος της κατασκευής ενός μοντέλου ολόκληρου του ανθρώπινου εγκεφάλου- δεν ήταν ζωτικής προτεραιότητας ούτε για το ευρωπαϊκό πολιτικό σύστημα ούτε για το μεγαλύτερο μέρος του επιστημονικού δυναμικού που συμμετείχε στο πρόγραμμα αυτό. Οι δύο αυτές πλευρές ανέμεναν βέβαια σημαντικά οφέλη από το HBP, αλλά η δημιουργία ενός μοντέλου ολόκληρου του ανθρώπινου εγκεφάλου δεν ήταν απαραίτητα μέσα σε αυτά.

4.1.4 Οι πολιτικές προεκτάσεις του γράμματος.

Στο πλαίσιο αυτό, της έντονης ανάμιξης του ευρωπαϊκού πολιτικού και οικονομικού γίνεσθαι με το HBP, προκύπτει επιπλέον το ερώτημα εάν πίσω από την διαμάχη που ξέσπασε μέσω της ανοιχτής επιστολής υπήρχαν επίσης πολιτικές προεκτάσεις. Επ' αυτού, αξίζει να αναφερθεί πως μεταξύ Ιουλίου 2014, όπου και δημοσιεύεται η επιστολή, μέχρι τον Ιανουάριο του 2015, όπου ο Markram απομακρύνεται από την ηγεσία του HBP, μεσολαβούν περίπου 6 μήνες κατά τους οποίους η ΕΕ συνέχιζε να προσφέρει την στήριξη της στην αρχική ηγετική ομάδα. Η Rüländ (2023, 563-564), παραθέτοντας μια συνέντευξη από ένα ανώνυμο μέλος του HBP και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, αναφέρει πως ο κύριος λόγος της στήριξης αυτής ήταν πως σε αντίθετη περίπτωση -όπου θα γινόταν δηλαδή αποδεκτές οι αντιρρήσεις των συντακτών της επιστολής- θα έπρεπε η Επιτροπή να προχωρήσει στην αντικατάσταση της ηγεσίας του HBP. Πρόκειται, εδώ, για μια ένδειξη πως εκ μέρους της ΕΕ δεν δόθηκε, αρχικά, ιδιαίτερη σημασία στις διαφωνίες μιας σημαντικής μερίδας επιστημόνων, γεγονός από το οποίο θα μπορούσε να συμπεράνει κανείς πως και εδώ η νευροεπιστήμη έμπαινε σε δεύτερη μοίρα σε σύγκριση με τις πολιτικές επιλογές της ευρωπαϊκής ηγεσίας.

15. Φράση του F. Underwood από την τηλεοπτική σειρά House of cards.

Πως, εν ολίγοις, δεν είχε τόση σημασία το ποια θα ήταν η επόμενη μέρα της νευροεπιστήμης στην Ευρώπη, αρκεί αυτή να ήταν όσο το δυνατόν πιο ενοποιημένη. Βλέποντας στο εξάμηνο διάστημα αυτό πως η κίνηση του γράμματος δεν έβρισκε ανταπόκριση, οι συντάκτες του αναζήτησαν στήριξη απευθυνόμενοι, αφενός, στην επιστημονική κοινότητα, της οποίας ένα σημαντικό τμήμα ανησυχούσε για την πιθανή κατασπατάληση πόρων από το HBP και τις συνέπειες που θα μπορούσε να έχει κάτι τέτοιο για την υπόλοιπη έρευνα στην νευροεπιστήμη. Αφετέρου, προσπάθησαν να ευαισθητοποιήσουν το ευρύτερο κοινό μέσω δημοσιευμάτων σε μέσα ευρύτερης κυκλοφορίας, ώστε να γίνει γνωστή η διαφωνία τους. Οι κινήσεις αυτές είχαν σαφώς καλύτερα αποτελέσματα.

Η Mahfoud (2021, 322-343) τάσσεται σαφώς υπέρ της άποψης πως η διαμάχη του HBP σχετίζονταν όχι μόνο με τον τρόπο με τον οποίο θα διεξαγόταν, μελλοντικά, η έρευνα στην νευροεπιστήμη, αλλά και με το ίδιο το ευρωπαϊκό πνεύμα, τον τρόπο δηλαδή με τον οποίο θα λειτουργούσε η ΕΕ. Από την μία πλευρά ο Markram και η ομάδα του προσπάθησαν, μέσω του HBP, να ενοποιήσουν την ευρωπαϊκή νευροεπιστήμη χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα είδη μοντέλων του εγκεφάλου (που όπως ειπώθηκε ανήκουν στην κατηγορία bottom-up). Αυτή η κίνηση συνάντησε αντιδράσεις, καθώς ερχόταν σε αντίθεση με τις συνήθειες ερευνητικές πρακτικές άλλων επιστημόνων οι οποίοι δεν ήθελαν να τις εγκαταλείψουν. Το επίδικο λοιπόν φαίνεται να ήταν, εάν η ενοποιητική πρόταση της ηγετικής ομάδας του HBP θα επικρατούσε και κατά συνέπεια ποια θα ήταν η επόμενη μέρα για την ευρωπαϊκή νευροεπιστημονική κοινότητα. Εάν δηλαδή μελλοντικά, η κατασκευή μοντέλων του εγκεφάλου θα χαρακτηρίζονταν από μονοφωνία ή πλουραλισμό.¹⁶ Δεν επρόκειτο όμως μόνο για αυτό. Η διαμάχη αυτή είχε ιδιαίτερη σημασία για το γενικότερο ευρωπαϊκό status quo, καθώς έθετε υπό αμφισβήτηση την ανεκτικότητα της Ευρώπης στις διαφορετικές προσεγγίσεις.

16. Σημαντικό είναι να διευκρινιστεί πως από το είδος μοντέλων που κατασκευάζονται, εξαρτάται και το είδος των πειραματικών δεδομένων που είναι απαραίτητα για να «τρέξουν» οι προσομοιώσεις. Συνέπεια αυτού, είναι πως η χρήση ενός μόνο είδους μοντέλου, στην οποία προσέβλεπε ο Markram για το HBP, θα έθετε σε κίνδυνο αχρηστίας τα δεδομένα τα οποία δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε αυτό (Mahfoud 2021, 333). Ασφαλώς κάτι τέτοιο δεν θα γινόταν ευχαρίστως αποδεκτό από το τμήμα εκείνο της επιστημονικής κοινότητας το οποίο είχε συμβάλει στη δημιουργία αυτών των δεδομένων.

Η αιτία, λοιπόν, της αποτυχίας της αρχικής στόχευσης του HBP, να επιβληθεί ενοποίηση στην νευροεπιστημονική κοινότητα της Ευρώπης, ήταν πως η κοινότητα αυτή ήταν εξαρχής δομημένη με διαφορετικό τρόπο, ο οποίος πρέσβευε την διεθνή συνεργασία μεν αλλά ανάμεσα σε επιστημονικές ομάδες που είχαν τη δυνατότητα να διεξάγουν την δική τους αυτόνομη έρευνα. Παρά τους τριγμούς του 21ου αιώνα λόγω της οικονομικής κρίσης, των αντιπαραθέσεων Βορρά- Νότου και της μετέπειτα αποχώρησης του Ηνωμένου Βασιλείου, το όραμα της ευρωπαϊκής ενοποίησης παρέμενε σταθερά παρόν αλλά όχι με τον μονοφωνικό τρόπο που οραματιζόνταν η ηγετική ομάδα του HBP. Παρέμενε ζητούμενη η επίτευξη ενιαίων στόχων - επιστημονικών και μη- αλλά με την, κατά το δυνατόν, διατήρηση της πολιτισμικής και επιστημονικής ποικιλομορφίας. Λόγω, λοιπόν, αυτής της σχετικής ελευθερίας που υπήρχε στην ευρωπαϊκή νευροεπιστήμη -και στην ευρωπαϊκή επιστήμη γενικότερα- είμαστε σε θέση να κατανοήσουμε και την αλλαγή πορείας που πραγματοποιήθηκε στο HBP. Εκτός από την αντικατάσταση του Markram, οι νέοι στόχοι του προγράμματος προσέβλεπαν στη κατασκευή βάσεων δεδομένων που θα εμπεριείχαν όλα τα είδη μοντέλων του εγκεφάλου, γεγονός που επέτρεπε να υπάρξει πλουραλισμός και ως προς το είδος των δεδομένων που έπρεπε να συλλεχθούν. Κατά προέκταση, η νέα μορφή του HBP ήταν περισσότερο ταιριαστή με το γενικότερο φαντασιακό της Ευρώπης, με το ευρύτερο ευρωπαϊκό όραμα. Στο πλαίσιο αυτό, δεν φαίνεται να είναι άσχετο το γεγονός πως μετά την αλλαγή στην ηγεσία και την στόχευση του HBP το κέντρο συντονισμού μεταφέρθηκε από την Λωζάννη της Ελβετίας -η οποία είναι άλλωστε εκτός της Ένωσης- στις Βρυξέλλες που είναι το κέντρο της ΕΕ μετά από παρέμβαση της Γαλλίας και της Γερμανίας (Mahfoud 2021, 337-338).

4.2 Επίλογος.

Στα δυο πρώτα κεφάλαια μελετήθηκαν δύο παραδείγματα Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας πολύ διαφορετικά μεταξύ τους, είτε ως προς την εκάστοτε επιστήμη που έμπαινε σε διαδικασία μεγέθυνσης, είτε ως προς την εποχή που πραγματοποιήθηκαν. Ένα κοινό στοιχείο τους όμως, είναι ότι για καλό ή για κακό τα ΜΡ και ΗΓΡ στέφθηκαν, αν όχι με απόλυτη τότε σίγουρα, με πολύ μεγάλη επιτυχία. Αφενός, η ατομική βόμβα κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε στο τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου και, αφετέρου, το ανθρώπινο DNA αποκρυπτογραφήθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό. Όσον αφορά, όμως, στο ΗΒΡ, που σχολιάστηκε στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο, αποτελεί ερώτημα εάν μπορεί να ειπωθεί κάτι αντίστοιχο. Προέκυψαν, άραγε, τα αναμενόμενα αποτελέσματα από την επένδυση ενός τόσο μεγάλου χρηματικού ποσού, την κινητοποίηση ενός τόσο πολυπληθούς ανθρώπινου δυναμικού και τη χρήση τόσο ακριβού εξοπλισμού η μήπως όχι; Ο Υ. Frégnaç (2023, 5), σε μια προσπάθεια να απαντήσει στην ερώτηση αυτή, αναφέρει πως, συνολικά, η παραγωγικότητα του ΗΒΡ είναι δύσκολο να αξιολογηθεί, καθώς, από την μία πλευρά, πολλοί από τους στόχους του (objectives) τροποποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του και, από την άλλη, ο βαθμός στον οποίο οι στόχοι αυτοί επιτεύχθηκαν ελέγχθηκε από μια πληθώρα ειδικών αξιολογητών η σύνθεση των οποίων άλλαζε σε τακτική βάση.

Ακόμα και εάν δεχθούμε τον παραπάνω περιορισμό, γεγονός αδιαμφισβήτητο είναι πως ξεκινώντας από τη -δημόσια εκφρασμένη- πρόθεση του ΗΒΡ, να πετύχει τελικά την δημιουργία ενός μοντέλου ολόκληρου του ανθρώπινου εγκεφάλου,¹⁷ τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως επιτυχία. Το ΗΒΡ αξιολογείται εδώ, με βάση τις επιδιώξεις τις οποίες το ίδιο είχε, όπως ακριβώς θα συνέβαινε για το ΜΡ, που σαν στόχος του είχε τεθεί η κατασκευή της βόμβας και για το ΗΓΡ, ως προς την αποκωδικοποίηση του ανθρώπινου DNA. Επιπλέον, η ίδια η τοποθέτηση του Frégnaç, περί της τροποποίησης των αρχικών στόχων κατά την διάρκεια του προγράμματος, φαίνεται να είναι μια έμμεση παραδοχή ότι κάτι δεν πήγε καλά ως προς τον αρχικό σχεδιασμό.

17. Το ΗΒΡ δεν στόχευε, βέβαια, στην δημιουργία ενός πλήρους και τελειοποιημένου μοντέλου του ανθρώπινου εγκεφάλου το οποίο δεν θα επιδεχόταν καμία βελτίωση αλλά σε ένα αρχικό μοντέλο το οποίο θα εμπλουτιζόταν στην συνέχεια με περισσότερες λεπτομέρειες από την κυτταρική και μοριακή δομή των νευρικών κυκλωμάτων.

Αν μη τι άλλο, είναι σαφές πως το HBP απέτυχε να δημιουργήσει ένα μοντέλο για ολόκληρο τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Εκτός αυτού, οι αποτυχίες δεν περιορίστηκαν εκεί, καθώς, όπως ειπώθηκε παραπάνω, η ενοποίηση της ευρωπαϊκής νευροεπιστήμης -με το τρόπο που την οραματίζονταν ο Markram και η ομάδα του- δηλαδή μέσω της καθιέρωσης ενός συγκεκριμένου τρόπου κατασκευής μοντέλων του εγκεφάλου, δεν συνέβη. Αντί για αυτό, πρακτικά μετά την κίνηση της ανοιχτής επιστολής, η στοχοθεσία του HBP άλλαξε και οι δύο παραπάνω στόχοι εγκαταλείφθηκαν.

Είναι, επομένως, το HBP ένα συνολικά αποτυχημένο πρόγραμμα, ένα παράδειγμα ότι η Big Science είναι πιθανό να δημιουργήσει αδιέξοδα στην επιστήμη, τα οποία δεν μπορούν να λυθούν παρά μόνο εάν ξεσπάσει διαμάχη;¹⁸ Το ερώτημα αυτό ίσως δεν θα είχε νόημα σε κάποια άλλη περίπτωση, καθώς δεν αναμένεται πλήρης επιτυχία από κανένα επιστημονικό project οποιουδήποτε μεγέθους. Όμως, καθώς εδώ εξετάζονται προγράμματα Big Science, δεν μπορεί να μην ληφθεί υπόψιν το γεγονός, πως φαίνεται να είναι πάγιο χαρακτηριστικό αυτών των προγραμμάτων, το κυνήγι ενός -τουλάχιστον αρχικά- δυσπρόσιτου επιστημονικού επιτεύγματος.¹⁹ Αναφέρθηκαν ήδη οι ενστάσεις ως προς τον ρεαλισμό των επιδιώξεων του HBP, αλλά ακόμα και για το HGP, μόλις πέντε χρόνια πριν από την έναρξη του, ένα πάνελ ειδικών επιστημόνων, από κορυφαία αγγλικά και αμερικάνικα πανεπιστήμια, θεωρούσε τον στόχο της αποκρυπτογράφησης του ανθρώπινου DNA απλά μη εφικτό (Roberts 2001, 1182-1183). Ακόμα περισσότερο από πάγιο χαρακτηριστικό, φαίνεται πως για τα MP και HGP που εξετάστηκαν παραπάνω, η επίτευξη ενός φαινομενικά δυσπρόσιτου επιστημονικού επιτεύγματος είναι στοιχείο της φυσιολογίας τους. Στοιχείο που, χωρίς αυτό, η ύπαρξη τους δεν θα είχε νόημα.

18. Η Rüländ (2023, 571) υποστηρίζει ότι τα προγράμματα Big Science έχουν εν γένει την τάση να σχετίζονται με εμφάνιση ανταγωνισμών καθώς εμπειρεύουν πολυπληθείς ομάδες με πιθανόν αντικρουόμενα συμφέροντα, οι οποίες αλληλεπιδρούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Εν προκειμένω βέβαια, η διαμάχη του HBP δεν φαίνεται να είναι η μόνη αιτία για την αποτυχία κατασκευής ενός μοντέλου ολόκληρου του ανθρώπινου εγκεφάλου.

19. Όπως αναφέρει ο Hallonsten (2023, 33-3): «Οι οργανισμοί που προτείνουν (τη δημιουργία), αναπτύσσουν και αναλαμβάνουν τη διαχείριση των σύγχρονων προγραμμάτων Big Science, εμπλέκονται σταθερά στην προώθηση (selling) και την υπερ-προώθηση (overselling) των προγραμμάτων αυτών, με τη βοήθεια μεγαλεπήβολων και επιφανειακών υποσχέσεων για την επίτευξη θεαματικών επιστημονικών στόχων και τεράστιου κοινωνικοοικονομικού οφέλους. Αυτό γίνεται ανεκτό να συνεχίζεται, ακόμα και εάν οι επαγγελματίες στην διοίκηση των οργανισμών αυτών ... πρέπει προφανώς να γνωρίζουν ότι η Επιστήμη Μεγάλης Κλίμακας, όπως κάθε επιστήμη, χαρακτηρίζεται από εγγενή αβεβαιότητα και τα αποτελέσματα της είναι αδύνατον να προβλεφθούν.»

Κάτι τέτοιο, βέβαια, είναι μάλλον αναμενόμενο. Από την μία, είναι πολύ ωφέλιμη, σε επικοινωνιακό επίπεδο, η προοπτική κατάκτησης μιας επιστημονικής ή τεχνολογικής κορυφής, καθώς συμβάλλει στο να δικαιολογηθεί, στην ευρύτερη -επιστημονική και μη- κοινότητα, η κινητοποίηση των μεγάλων κεφαλαίων και του ανθρώπινου δυναμικού που απαιτεί η Big Science. Επιπλέον, οι κοινωνικοπολιτικές συνθήκες της εκάστοτε εποχής, ευνοούν την δημιουργία προγραμμάτων με τέτοιους στόχους, όπως στην περίπτωση του ΜΡ που η κατασκευή της βόμβας ήταν άμεσα σχετική με τον πόλεμο και την απειλή της Ναζιστικής Γερμανίας. Με τον ίδιο τρόπο, το ΗΒΡ ήταν αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης που απειλούσε την Ευρώπη και μέσω αυτού αναμένονταν οικονομικά και επιστημονικά οφέλη που θα αντιρροπούσαν αυτή την απειλή.

Αντίθετα όμως, στο ΗΒΡ δεν φαίνεται να υπήρχε απόλυτη εξάρτηση μεταξύ της επίτευξης του τελικού στόχου του και των κερδών που ανέμενε η Ευρωπαϊκή Ένωση. Μια διαφορά, λοιπόν, που υπάρχει ανάμεσα στο ΗΒΡ και στα ΗΓΡ και ΜΡ είναι πως ο τελικός στόχος του πρώτου φαίνεται να ήταν μετρίου ενδιαφέροντος και δεν αποτελούσε απόλυτη προϋπόθεση για να επιτευχθούν οι επιστημονικές και οι κοινωνικοπολιτικές επιδιώξεις που συνδέονταν με αυτό. Ενώ, για παράδειγμα, η κατάκτηση πολεμικής υπεροχής από την πλευρά των ΗΠΑ ήταν άμεσα σχετική με την επιτυχία του ΜΡ και την κατασκευή της ατομικής βόμβας, η προώθηση της ευρωπαϊκής ενοποίησης, είτε στο επίπεδο της νευροεπιστήμης, είτε σε πολιτικό επίπεδο, δεν ήταν άμεσα εξαρτημένη από την κατασκευή ενός μοντέλου ολόκληρου του εγκεφάλου.

Λόγω, λοιπόν, αυτής της εξαρχής αποσύνδεσης του απώτερου επιστημονικού στόχου του ΗΒΡ από τα οφέλη τα οποία αναμένονταν, το πρόγραμμα δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως αποτυχία με βάση το γεγονός ότι δεν επιτεύχθη τελικά η κατασκευή ενός μοντέλου ολόκληρου του εγκεφάλου. Σίγουρα όμως, το ΗΒΡ περιβάλλεται από ένα γενικότερο αίσθημα απογοήτευσης που σχετίζεται, αφενός, με την διαμάχη που αναφέρθηκε και, αφετέρου, με το γεγονός πως οι προσδοκίες κατά την έναρξη του προγράμματος ήταν πολύ μεγαλύτερες από όσα τελικά επιτεύχθηκαν. Αντιμετωπίζεται δηλαδή, σαν μια μεγάλη χαμένη ευκαιρία της ευρωπαϊκής νευροεπιστήμης, να εκμεταλλευτεί την δημοσιότητα και τους οικονομικούς πόρους που της δόθηκαν για να παρουσιάσει εντυπωσιακότερα αποτελέσματα.

Τα παραπάνω δεν σημαίνουν, βέβαια, πως η τελική αποτίμηση του HBP περιέχει μόνο αρνητικά στοιχεία. Για παράδειγμα, ένα βασικό χαρακτηριστικό του ήταν πως προωθούσε την κατασκευή υπολογιστικών μοντέλων, ως μέσο παραγωγής νέων δεδομένων, ως ένα νέο παράδειγμα πειράματος (Markram, 2012). Η προσπάθεια αντικατάστασης αυτή, των παραδοσιακών πειραματικών τεχνικών, δεν έγινε βέβαια αποδεκτή με ενθουσιασμό από μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας. Στην πραγματικότητα, η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων αυτού του είδους έρευνας είναι αμφισβητήσιμη από πολλούς νευροεπιστήμονες, οι οποίοι υποστηρίζουν πως υπάρχει διαφορά ανάμεσα στα δεδομένα που έχουν προκύψει από την χρήση υπολογιστικών μοντέλων και στα άλλα «πραγματικά» δεδομένα τα οποία έχουν προέλθει από την εφαρμογή επί μακρόν δοκιμασμένων πειραματικών τεχνικών σε πραγματικά βιολογικά συστήματα. Παρόλα αυτά, οφείλει να αναγνωρίσει κανείς πως η κατασκευή μοντέλων είναι λιγότερο αιματηρή, με την έννοια πως εξαρτάται σε πολύ μικρότερο βαθμό από παρεμβάσεις επί ζωντανών οργανισμών. Έτσι, ακόμα και εάν επί του παρόντος, τα τεχνολογικά μέσα δεν είναι σε θέση να εγγυηθούν την απόλυτη καταλληλότητα των δεδομένων που προκύπτουν από μια προσομοίωση, η προσπάθεια επ' αυτού δεν παύει να συμβάλλει στη δημιουργία μιας περισσότερο ανθρωπιστικής προσέγγισης στις βιολογικές επιστήμες. Μιας προσέγγισης για την προώθηση της οποίας, το HBP έπαιξε καθοριστικό ρόλο.

Πέρα από το ερώτημα για το εάν το HBP ήταν ένα επιτυχημένο ή αποτυχημένο πρόγραμμα, λίγες ακόμα παρατηρήσεις κρίνονται απαραίτητες. Είναι, αρχικά, σαφές πως το HBP είναι ένα πρόγραμμα Επιστήμης Μεγάλης Κλίμακας ακόμα και εάν μελετηθεί με βάση τα αρνητικά χαρακτηριστικά που της προσέδωσε ο A. Weinberg (1961,162): *journalitis*, *moneyitis*, *administratititis*. Ο τρόπος που ανέκυψε, επιπλέον, ως τρόπος αντιμετώπισης μιας κοινωνικοπολιτικής κατάστασης -εν προκειμένω της οικονομικής κρίσης στην Ευρώπη- είναι επίσης χαρακτηριστικός της Big Science. Επιπλέον, το HBP, τουλάχιστον στην αρχική φάση του, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί, από διοικητική άποψη, ως ένας συνδυασμός τόσο του MP όσο και του HGP.

Αφενός, είχε τα χαρακτηριστικά ενός προγράμματος Big Biology, με τον διασκορπισμό των εργαστηριακών υποδομών -οι οποίες ήταν ποικίλου μεγέθους- και του επιστημονικού προσωπικού σε διάφορες τοποθεσίες. Αφετέρου, είχε μια αυστηρά καθορισμένη κεντρική διοίκηση -με έδρα μια συγκεκριμένη τοποθεσία (την Λωζάννη)- η οποία ήταν επιφορτισμένη σχεδόν εξ' ολοκλήρου με την ευθύνη λήψης αποφάσεων. Αυτού του είδους η διοίκηση προσομοιάζει στην λειτουργία του MP, καθώς το HGP χαρακτηριζόταν -όπως ειπώθηκε- από διοικητική συνεργασία του DOE και του NIH, μετά βέβαια από την μεταξύ τους σύγκρουση.

Το HBP λοιπόν, όντας ένα πρόγραμμα Big Science, χαρακτηρίζεται και αυτό από διοικητικές και επιστημονικές καινοτομίες, ως προς το HGP που προηγήθηκε και το MP που ήταν ακόμα προγενέστερο. Το κατά πόσο οι καινοτομίες αυτές συνέβαλαν στην διαμόρφωση της έκβασης του μένει να διερευνηθεί περαιτέρω. Έως τότε, χρήσιμο είναι να αναγνωρίσουμε, για ακόμα μια φορά, πως η Επιστήμη Μεγάλης Κλίμακας φαίνεται να μην έχει μόνο παγιωμένα χαρακτηριστικά, αλλά να εμφανίζεται με διαφορετικές μορφές ανάλογα την εκάστοτε επιστήμη και εποχή.²⁰ Ίσως, ακόμα πιο χρήσιμο είναι να αναγνωρίσουμε πως η διάθεση των μεγάλων οικονομικών πόρων και του πολυπληθούς ερευνητικού δυναμικού που απαιτεί η Big Science οφείλουν να είναι αντικείμενο εξαιρετικά προσεκτικού σχεδιασμού, για να μην επαναληφθούν φαινόμενα όπως αυτό του HBP όπου ο αρχικός ενθουσιασμός μπροστά στο άγνωστο που μέλλεται να εξερευνηθεί οδήγησε τελικά σε μια μεγάλη απογοήτευση.

20. Για μια πολύ πρόσφατη παρουσίαση ορισμένων διαφορών ανάμεσα στην Big Science του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και στην επονομαζόμενη New Big Science του 21^{ου} αιώνα προτείνεται το Reflections on the New Big Science: capabilities and challenges (Crease 2023, 32-1 – 32-9).

Βιβλιογραφία.

- Amounts, K., Ebel, C., Muller, J., Telefont, M., Knoll, A., Lippert, T. (2016). The Human Brain Project: Creating a European Research Infrastructure to Decode the Human Brain, *Neuron*, 92 (3),574-581.
- Arabatzis, T. (2018). How Physica became Physics. *Science & Education* 27(1-2):211-218.
- Aronova, E., Baker, K. S., & Oreskes, N. (2010). Big Science and Big Data in Biology: From the International Geophysical Year through the International Biological Program to the Long-Term Ecological Research (LTER) Network, 1957–Present. *Historical Studies in the Natural Sciences*, 40(2), 183–224.
- Bullard, E., Lovell, B., & Deacon, G. (1975). The Effect of World War II on the Development of Knowledge in the Physical Sciences. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 342(1631), 519–536.
- Cook-Deegan R. M. (1991). *The Human Genome Project: The Formation of Federal Policies in the United States, 1986–1990*. Στο *Biomedical Politics*, επιμ. Κ. Ε. Hanna, Washington, National Academy Press.
- Creager, A. N. H., Santesmases, M. J. (2006). Radiobiology in the Atomic Age: Changing Research Practices and Policies in Comparative Perspective. *Journal of the History of Biology*, 39(4), 637–647.
- Creager, A. N. H. (2006). Nuclear Energy in the Service of Biomedicine: The U.S. Atomic Energy Commission’s Radioisotope Program, 1946-1950. *Journal of the History of Biology*, 39(4), 649–684.
- Crease, R. P. (2023). Reflections on the New Big Science: capabilities and challenges. Στο *Big Science in the 21st Century. Economic and Societal Impacts*, επιμ. P. Charitos, T. Arabatzis, H. Cliff, G. Dissertori, J. Forneris, J. Li-Ying, Bristol: IOP Publishing Ltd, 32-1 – 32-9.
- de Garis, H., Chen, S., Goertzel, B., Ruiting, L. (2010). A world survey of artificial brain projects, Part I: Large-scale brain simulations. *Neurocomputing* 74. 3-29.
- DeLisi, C. (1988). The Human Genome Project: The ambitious proposal to map and decipher the complete sequence of human DNA. *American Scientist*, 76(5), 488–493.
- DeLisi, C. (2008). Meetings that changed the world: Santa Fe 1986: Human genome baby-steps. *Nature* 16;455(7215):876-7.
- de Solla Price, D. J. (1963). *Little Science, Big Science*. New York: Columbia University Press.
- Eliasmith, C., Trujillo, O. (2014). The use and abuse of large-scale brain models. *Current Opinion in Neurobiology* 25, 1-6.

European Commission (2010). Europe 2020: a European strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC2020>. Τελευταία επίσκεψη 06/03/24.

Fan X, Markram H. (2019). A Brief History of Simulation Neuroscience. *Frontiers in Neuroinformatics*, 7, 13:32.

Fiers, W., Contreras, R., Duerinck, F., Haegeman, G., Iserentant, D., Merregaert, J., Min Jou, W., Molemans, F., Raeymaekers, A., Van den Berghe, A., Volckaert, G., Ysebaert, M. (1976). Complete nucleotide sequence of bacteriophage MS2 RNA: primary and secondary structure of the replicase gene. *Nature*, 8;260(5551):500-7.

Forman, P. (1987). 'Behind Quantum Electronics: National Security as Basis for Physical Research in the United States, 1940-1960'. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 18(1), 149–229.

Frégnac, Y., Laurent, G. (2014). Neuroscience: Where is the brain in the Human Brain Project? *Nature* 513, 27–29.

Frégnac Y. (2017). Big data and the industrialization of neuroscience: A safe roadmap for understanding the brain? *Science.*, 358(6362):470-477.

Frégnac Y. (2023). Flagship Afterthoughts: Could the Human Brain Project (HBP) Have Done Better? *eNeuro*. 14;10(11).

Giani, A. M., Guido, R. G., Gianfranceschi, L., Formenti, G. (2020). Long walk to genomics: History and current approaches to genome sequencing and assembly, *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 18, 9-19.

Glasner, P. (2002). Beyond the genome: reconstituting the new genetics. *New Genetics and Society*, 21(3), 267-277.

Graham, L. R. (1992). Big Science in the Last Years of the Big Soviet Union. *Osiris*, 7, 49–71.

Grunden, W. E., Walker, M., & Yamazaki, M. (2005). Wartime Nuclear Weapons Research in Germany and Japan. *Osiris*, 20, 107–130.

Hallonsten, O. (2016). *Big science transformed: Science, politics and organization in Europe and the United States*. Palgrave MacMillan.

Hallonsten, O. (2023). Selling and over-selling Big Science in the knowledge society. Στο *Big Science in the 21st Century. Economic and Societal Impacts*, επιμ. P. Charitos, T. Arabatzis, H. Cliff, G. Dissertori, J. Forneris, J. Li-Ying, Bristol: IOP Publishing, 33-1 – 33-18.

Hertz, S., Roberts, A., Salter, W. T. (1942). Radioactive Iodine as an indicator in Thyroid Physiology. IV. The metabolism of Iodine in Graves' disease. *The Journal of Clinical Investigation*, 21(1):25-29.

Hodgkin, A. L., Huxley, A. F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *The Journal of Physiology*. Aug;117(4):500-44.

- Hoffman, R. M. (2013). Cell Markers: Green Fluorescent Protein. Στο Brenner's Encyclopedia of Genetics, (Second Edition), Academic Press, 483-487.
- Hood, L., Rowen, L. (2013). The Human Genome Project: big science transforms biology and medicine. *Genome Medicine*. Sep 13;5(9):79.
- Hughes, J. (2003). *The Manhattan Project: Big Science and the Atom Bomb*. Columbia University Press.
- Isaac, J. (2007). The Human Sciences in Cold War America. *The Historical Journal*, 50(3), 725–746.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., Hudspeth, A. J., Mack, S. (Eds.), (2014). *Principles of Neural Science*, Fifth Edition. McGraw Hill.
- Keller, E. F. (1990). Physics and the Emergence of Molecular Biology: A History of Cognitive and Political Synergy. *Journal of the History of Biology*, 23(3), 389–409.
- Kevles, D. J. (1978). *The Physicists: The history of a scientific community in modern America*. Alfred A. Knopf, Inc., New York.
- Kevles, D. J. (1997). Big Science and Big Politics in the United States: Reflections on the Death of the SSC and the Life of the Human Genome Project. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 27(2), 269–297.
- Knoppers, B. M., Thorogood, A., Chadwick, R. (2013). The Human Genome Organization: towards next-generation ethics. *Genome Med*, 5:38.
- Kroes, N. (2011). Introducing Six FET Flagship Pilot Actions, *Procedia Computer Science* 7, 24-25.
- Lenoir, T., Hays, M. (2000). *The Manhattan Project for Biomedicine*. Στο *Controlling Our Destinies 19-46*. Notre Dame, Indiana: University of Notre Dame Press.
- Leonelli, S., Ankeny, R. A. (2015). Repertoires: How to Transform a Project into a Research Community. *Bioscience* 1;65(7):701-708.
- Machens, C. K. (2012). Building the human brain. *Science*, 338, 1156-1157.
- Mahfoud, T. (2021). Visions of unification and integration: Building brains and communities in the European Human Brain Project. *New Media & Society*, 23(2), 322–343.
- Marris E. (2005). Free genome databases finally defeat Celera. *Nature* 5;435(7038):6.
- Markram, H., Meier, K., Lippert, T., Grillner, S., Frackowiak, R., Dehaene, S., Knoll, A., Sompolinsky, H., Verstreken, K., DeFelipe, J., Grant, S., Changeux, J., Saria A. (2011). Introducing the Human Brain Project, *Procedia Computer Science*, 7, 39-42.
- Markram, H. (2006). The blue brain project. *Nature Reviews Neuroscience* 7(2):153-60.
- Markram, H. (2012). The human brain project. *Scientific American*, 306:50–55.

- Maxam, A. M., Gilbert, W., (1977). A new method for sequencing DNA. Proceedings of the National Academy of Science of the USA ;74(2):560-4.
- McClelland, J. L. (2001). Cognitive Neuroscience. Στο International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, επίμ. N. J. Smelser, P. B. Baltes. Pergamon, 2133-2140.
- Mills, M. A., & Mills, M. P. (2020). The Science Before the War. The New Atlantis, 61, 19–34.
- Nerlich, B., Dingwall, R., & Clarke, D. D. (2002). The book of life: how the completion of the Human Genome Project was revealed to the public. Health, 6(4), 445–469.
- Open message to the European Commission concerning the Human Brain Project. (2014). Στο <https://web.archive.org/web/20140831141213/http://www.neurofuture.eu/>. Τελευταία επίσκεψη 06/03/24.
- Pestre, D. (2006). Scientists in Time of War: World War II, the Cold War, and Science in the United States and France. French Politics, Culture & Society, 24(1), 27–39.
- Rasmussen, N. (2002). Of “small men”, big science and bigger business: the second world war and biomedical research in the united states. Minerva, 40(2), 115–146.
- Roberts, L. (2001). Controversial from the Start. Science, 291(5507), 1182–1188.
- Rüland, A. L. (2023). Big science, big trouble? Understanding conflict in and around big science projects and networks. Minerva 1–28.
- Salles, A., Bjaalie, J. G., Evers, K., Farisco, M., Tyr Fothergill, B. Guerrero, M.M Maslen, H., Muller, J., Prescott, T., Stahl, B. C., Walter, H., Zilles, K., Amunts, K. (2019). The Human Brain Project: Responsible Brain Research for the Benefit of Society, Neuron, 101(3), 380-384.
- Sample, I. (2014). Scientists threaten to boycott €1.2bn Human Brain Project. The Guardian. Διαθέσιμο στο <https://www.theguardian.com/science/2014/jul/07/human-brain-project-researchers-threaten-boycott>. Τελευταία επίσκεψη 06/03/24.
- Sanger, F., Brownlee, G. G., Barrell, B. G. (1965). A two-dimensional fractionation procedure for radioactive nucleotides. Journal of Molecular Biology 13(2):373-98.
- Sanger, F., Nicklen, S., Coulson, A. R. (1977). DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. Proceedings of the National Academy of Science of the USA; 74(12):5463-7.
- Schwiening C. J. (2012). A brief historical perspective: Hodgkin and Huxley. The Journal of Physiology. Jun 1;590(11):2571-5.
- Shampo M. A., Kyle R. A. J. (2011). Craig Venter--The Human Genome Project. Mayo Clinic Proceedings; 86(4): e26-7.
- Smith, L.M. et al. (1986) Fluorescence detection in automated DNA sequence analysis. Nature 321, 674–679.

- Strasser, B. J. (2003). The transformation of biological sciences in post-war Europe. *EMBO and the early days of European molecular biology research*. *EMBO reports* 4(6), 540-543.
- Strasser, B. J. (2010). Collecting, comparing, and computing sequences: the making of Margaret O. Dayhoff's *Atlas of Protein Sequence and Structure, 1954-1965*. *Journal of the History of Biology* 43(4):623-60.
- The Lancet Neurology. (2014) The Human Brain Project: mutiny on the flagship. *Lancet Neurology*;13(9):855.
- Tipu, H. N., Shabbir, A. (2015). Evolution of DNA sequencing. *J Coll Physicians Surg Pak*. 25(3):210-5.
- Venter, J. C., Adams, M. D., Sutton, G. G., Kerlavage, A. R., Smith, H. O., Hunkapiller, M. (1998). Shotgun sequencing of the human genome. *Science* 5;280(5369) :1540-2.
- Vermeulen, N. (2009). *Supersizing science; On building large-scale research projects in biology*. Maastricht: Maastricht University Press.
- Vermeulen, N., Parker, J. N., Penders B. (2010). Big, Small or Mezzo?: Lessons from Science Studies for the ongoing debate about 'Big' versus 'Little' Science. *EMBO reports* 11, 420-423.
- Vermeulen N, Parker J. N., Penders B. (2013). Understanding life together: a brief history of collaboration in biology. *Endeavour*, 37(3):162-71.
- Wang, Z. (1995). The Politics of Big Science in the Cold War: PSAC and the Funding of SLAC. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 25(2), 329–356.
- Watson, J. D., Crick, F. H. (1953) Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 25;171(4356):737-8.
- Watts, G. (2014) Neuroscientists condemn European brain simulation project. *BMJ* 10;349: g4546.
- Weinberg, A. M. (1961). Impact of Large-Scale Science on the United States. *Science* (134): 161–164.