

ΘΕΑΤΡΟ ΤΖΕΝΗ ΚΑΡΕΖΗ • ΘΕΑΤΡΟ ΕΞΑΡΧΕΙΩΝ

ΜΑΪΚΛ ΦΡΕΪΝ

ΚΟΠΕΓΧΑΓΗ



Ευχαριστούμε θερμά για τη συμβολή τους  
στο πρόγραμμα τον Κώστα Γεωργουσόπουλο,  
την Νιέιζη Δεκαβάλλα, την Μπεύινα Ντάβου  
και τη Λίλα Μανιώτη.

Επίσης ευχαριστούμε την κα Λερμιέση  
και τις εκδόσεις Κέδρος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε για την πολλαπλή  
βοήθειά τους στους καθηγητές του τμήματος Μεθοδολογίας,  
Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου Αθηνών,  
Κώστα Γαβρόγλου και Δημήτρη Διαλέτη.

# ΜΑΪΚΛ ΦΡΕΪΝ ΚΟΠΕΓΧΑΓΗ

ΘΕΑΤΡΟ ΤΖΕΝΗ ΚΑΡΕΖΗ • ΘΕΑΤΡΟ ΕΞΑΡΧΕΙΩΝ

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ Χρ. Μπάμπου-Παγκουρέλη

ΣΚΗΝΟΘΕΣΙΑ Τάκης Βουτέρης  
ΔΡΑΜΑΤΟΥΡΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΚΗΝΙΚΑ-ΚΟΣΤΟΥΜΙΑ Γιώργος Βαφιάς

ΜΟΥΣΙΚΗ Πλάτων Ανδριτσάκης

ΦΩΤΙΣΜΟΙ Αργύρης Θέος

ΒΟΗΘΟΣ ΣΚΗΝΟΘΕΤΗ Χριστιάνα Κατσαρού

ΒΟΗΘΟΣ ΣΚΗΝΟΓΡΑΦΟΥ Στεφανία Μπογδανοπούλου

ΜΑΡΓΚΡΕΤΕ ΜΠΟΡ Αφροδίτη Γρηγοριάδου

ΝΗΛΣ ΜΠΟΡ Κώστας Καζάκος

ΒΕΡΝΕΡ ΧΑΪΖΕΝΜΠΕΡΓΚ Τάκης Βουτέρης

ΤΣΕΛΟ ΠΑΙΖΕΙ Η Γεωργία Σαγρή



Νηλς Μπορ, Βέρνερ Χάιζενμπεργκ, Βόλφγκανγκ Πάουλι, 1934.



ΚΩΣΤΑΣ ΓΑΒΡΟΓΛΟΥ, ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΔΙΑΛΕΤΗΣ



*Γιατί; Γιατί άραγε  
ήρθε στην Κοπεγχάγη;*

Από την πρώτη φορά που παρουσιάστηκε στο Λονδίνο το 1998, το θεατρικό έργο του Μάικλ Φρέιν *Κοπεγχάγη*, αποτέλεσε αντικείμενο πολλών συζητήσεων στην κοινότητα των ιστορικών της επιστήμης. Στο έργο δύο από τους σημαντικότερους φυσικούς όλων των εποχών, ο Γερμανός Βέρνερ Χάιζενμπεργκ (Werner Heisenberg, 1901-1976) και ο Δανός Νιλς Μπορ (Niels Bohr, 1885-1962) – από τους θεμελιωτές της κβαντικής θεωρίας – μαζί με την γυναίκα του Μπορ, Μαργκρέτε (1890-1984), σε μια φανταστική συζήτηση που πραγματοποιείται μετά τον θάνατό τους προσπαθούν να διευκρινίσουν τι ακριβώς – και γιατί – ειπώθηκε μεταξύ τους στη διάρκεια μιας συνάντησης τους το 1941. Ήταν μια συνάντηση που έγινε στην κατεχόμενη από τα γερμανικά στρατεύματα Κοπεγχάγη στη διάρκεια μιας επίσημης επίσκεψης του Χάιζενμπεργκ, σε μια εποχή που το γερμανικό πρόγραμμα για την κατασκευή της ατομικής βόμβας είχε ήδη αρχίσει.

---

Οι συγγραφείς είναι καθηγητές Ιστορίας των Επιστημών στο τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Παρά το ότι δεν ήταν η πρώτη φορά που ένα θεατρικό έργο είχε ως θέμα του τους επιστήμονες και την επιστήμη –ας θυμηθούμε μεταξύ άλλων τα έργα του Φρίντριχ Ντύρενματ *Οι Φυσικοί*, και του Μπέρτολτ Μπρέχτ *Ο Βίος του Γαλιλαίου*– το συγκεκριμένο έργο ανέδειξε ενδιαφέροντα ερωτήματα τόσο για την ίδια την επιστήμη και τη σχέση της με την κοινωνία, όσο και για τους τρόπους που το θέατρο πραγματεύεται και τελικά ανασυγκροτεί τα ιστορικά γεγονότα. Τα θεωρητικά προβλήματα που θέτει το έργο του Φρέιν, αλλά και τα συγκεκριμένα θέματα που θίγει, προκάλεσαν το έντονο ενδιαφέρον των ιστορικών των επιστημών. Γράφτηκαν άρθρα, οργανώθηκαν συμπόσια και συνέδρια, δημιουργήθηκαν έντονες αντιπαραθέσεις. Το έργο επαινέθηκε και κατηγορήθηκε με πάθος. Ο ίδιος ο Φρέιν αναγκάστηκε να γράψει δύο διαφορετικά υστερόγραφα για να διευκρινίσει τις απόψεις του για τα ιστορικά πρόσωπα του έργου, τον τρόπο δουλειάς του, τους σκοπούς του. Ο αντίκτυπος αυτής της συζήτησης υπήρξε τόσο μεγάλος, που τελικά τα «αρχαία Νίλς Μπορ», μετά από απόφαση της οικογένειας Μπορ, αποφάσισαν να επιτρέψουν την κατ' εξαίρεση πρόσβαση στα 14 έγγραφα που αφορούσαν στην περιβόητη συνάντηση στην κατεχόμενη Κοπεγχάγη μεταξύ του Μπορ και του Χάιζενμπεργκ, πολύ πριν περάσουν 50 χρόνια μετά τον θάνατο του Μπορ, χρονικό όριο που είχε τεθεί για την δημοσιοποίηση του συγκεκριμένου αρχειακού υλικού.

Όταν αρχίσαμε να συζητάμε τα προβλήματα που έθετε το έργο ανακαλύψαμε ότι και οι δυο είχαμε νιώσει ταυτόχρονα γοητεία και αμηχανία. Η γοητεία οφείλονταν κατά κύριο λόγο σε μια έντονη αίσθηση *déjà vu*. Εικόνες γεγονότων γνωστές από την ιστορία της φυσικής αναδύονταν σε μια φανταστική μετά-θάνατον συζήτηση των πρωταγωνιστών. Αυτή ακριβώς η μεταθανάτιος συζήτηση, δηλαδή η έξω και πέραν της ιστορίας δυνατότητα ύπαρξής τους, τους έδινε και την αντίστοιχη «μη ιστορική» και «πέραν της ιστορίας» ελευθερία κίνησης που συνιστά η δυνατότητα ταυτόχρονης ύπαρξης σε πολλούς ιστορικούς χρόνους. Ο Φρέιν ανασυγκροτεί τελικά τα γεγονότα όχι μόνο από ιστορικά

στοιχεία, αλλά και από τις αλληλοαναιρούμενες διαχρονικές, αλλά και πέραν του χρόνου, αναμνήσεις των πρωταγωνιστών του. Για έναν ιστορικό της επιστήμης, μια τέτοια ανασυγκρότηση από έναν θεατρικό συγγραφέα, συνιστά αμφιλεγόμενο στις συνέπειές του, αλλά εξαιρετικά γοητευτικό και ενδιαφέροντα πειραματισμό.

Την αμηχανία δημιουργεί η οριακή θέση στην οποία ο Φρέιν οδηγεί τη σχέση του θεάτρου με την ιστορία. Θεωρούμε συνήθως ως δεδομένο ότι από τη φύση της η θεατρική ανασυγκρότηση ιστορικών γεγονότων μπορεί, αν ο συγγραφέας το θελήσει, να έχει στοιχεία που υπερβαίνουν τα γεγονότα όπως τα γνωρίζουν οι ιστορικοί. Ο συγγραφέας δεν δεσμεύεται από αυτά, ή τουλάχιστον δεν δεσμεύεται να περιλάβει όλα τα ιστορικά τεκμήρια που σχετίζονται με μια υπόθεση. Η ανάδειξη της «αλήθειας» επιχειρείται διαφορετικά. Πρόκειται άλλωστε συνήθως για μια άλλη, «μη ιστορική» αλήθεια. Σε αντιστάθμισμα αυτής της «ελευθερίας» ένα θεατρικό έργο δεν διεκδικεί τον χαρακτήρα ιστορικής έρευνας. Το συγκεκριμένο όμως έργο, χωρίς ποτέ να δηλώνεται ρητά από τον συγγραφέα, δημιουργεί στον θεατή την πεποίθηση ότι συνιστά και ιστορική έρευνα. Όσο η συζήτηση μεταξύ των τριών πρωταγωνιστών προχωρά οι θεατές, ανεπαισθήτως, μετατρέπονται και σε ενόρκους. Κατηγορούμενος είναι φυσικά ο Χάιζενμπεργκ. Για τους θεατές η συμμετοχή στην έρευνα για την «αλήθεια» είναι συναρπαστική, συνιστά ίσως έναν από τους λόγους επιτυχίας του έργου, ο ιστορικός όμως νοιώθει αμήχανος. Αναλογίζεται όχι μόνο ποια ιστορικά στοιχεία περιέχει το έργο αλλά και όλα όσα ο συγγραφέας άφησε – συνειδητά άραγε; – απέξω. Πόσο μάλλον αφού οι δυνατές «ερμηνείες» που ο συγγραφέας προβάλλει μέσω των πρωταγωνιστών είναι μη συμβατές, δηλαδή αλληλοαποκλείονται.

Ο χειρισμός αυτός, όμως, που καθιστά το έργο αμφιλεγόμενο, συνιστά ίσως και το πιο γοητευτικό στοιχείο του για τους ιστορικούς, γιατί η ιστορία των επιστημών δεν εξαντλείται στην γραμμική εξιστόρηση της εξέλιξης των επιστημονικών ιδεών και



Ο Μπορ με τη μητέρα του, 1902.

των γεγονότων που σχετίζονται με τις ιδέες αυτές. Διερευνά την ιστορία των ανθρώπων που δημιούργησαν τις ιδέες, το ιδεολογικό, κοινωνικό και πολιτικό υπόβαθρο που επηρέασε τις επιστημονικές εξελίξεις αλλά και επηρεάστηκε από αυτές. Δεν περιορίζεται στις νικηφόρες στιγμές του ανθρώπινου πνεύματος, δεν είναι απλά μια ιστορία επιτυχιών, μελετά τις αποτυχίες, τα αδιέξοδα και, κυρίως, τις διαμάχες ανάμεσα στους επιστήμονες. Προσπαθεί να κατανοήσει πώς και γιατί μια επιστημονική ιδέα γίνεται αποδεκτή στο πλαίσιο της επιστημονικής κοινότητας μέσα από πολύπλοκες διαδικασίες αντιπαραθέσεων και πειραματισμών που αλλάζουν αργά το εννοιολογικό πλαίσιο των θεωριών και καθιστούν «κοινό τόπο» το μέχρι προχθές αδιανόητο, το μέχρι χτες αμφισβητούμενο. Γι' αυτό και μια ολοκληρωμένη ιστορία της φυσικής, για την περίοδο που αναφέρεται το έργο, θα πρέπει να περιλαμβάνει όχι μόνο τα εννοιολογικά προβλήματα που συνόδευαν τις πρώτες εργασίες που θεμελιώναν την κβαντική φυσική, τα προβλήματα που σχετίζονται με την φυσική υπόσταση των μαθηματικών, τις ερμηνείες των πειραματικών μετρήσεων,





Ο Χάϊζενμπεργκ και η οικογένειά του στο τέλος του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου.

την σχέση της κβαντικής φυσικής με την κλασική φυσική, αλλά και την πολιτισμική κατάσταση στην Δημοκρατία της Βαϊμάρης, τη δομή των πανεπιστημίων στο μεσοπόλεμο, την άνοδο των Ναζί και τις διώξεις των εβραίων φυσικών στη Γερμανία, την κατάσταση στις τέχνες και την ανατροπή των καθιερωμένων προτύπων, όπως και την εμπλοκή του Χάϊζενμπεργκ με τον Ναζισμό, τις πολλές ερωτικές ιστορίες του Σρέντινγκερ (Schrödinger), τις αντιζηλίες των πρωταγωνιστών της επιστημονικής κοινότητας, την αυτοκτονία του Έρενφεστ (Ehrenfest) κ.ά.

Ο Φρέιν είναι σήμερα – λόγω των μυθιστορημάτων και, κυρίως, των θεατρικών έργων που είχε γράψει πριν την *Κοπεγχάγη* – ένας από τους καταξιωμένους εκπροσώπους της αγγλόφωνης λογοτεχνίας. Δεν είμαστε οι καταλληλότεροι να σχολιάσουμε τις όποιες αρετές του έργου, δηλωτική των οποίων είναι η τεράστια

επιτυχία του ανά τον κόσμο, ούτε και τις όποιες δραματουργικές ατέλειες. Εμάς μας ενδιαφέρουν δύο πράγματα. Το πρώτο είναι να παραθέσουμε κάποια στοιχεία και σχόλια από την ιστορία της σύγχρονης φυσικής, συμπεριλαμβανομένων και ορισμένων γεγονότων που σχετίζονται με το γερμανικό πρόγραμμα για την κατασκευή της ατομικής βόμβας, ώστε οι θεατές να μπορέσουν, στοιχειωδώς έστω, να τοποθετήσουν το έργο στο ιστορικό του πλαίσιο. Το δεύτερο είναι να υπενθυμίσουμε ότι με τέτοιου είδους έργα – που δημιουργούν την εντύπωση στους θεατές ότι συμβάλλουν στην ιστορική έρευνα – τίθεται ένα πολύ ουσιαστικό ζήτημα. Θα πρέπει να αποτιμώνται μόνο με θεατρολογικά ή και με ιστορικά κριτήρια; Η απάντηση δεν είναι προφανής. Το ερώτημα αποτέλεσε το αντικείμενο της πλειοψηφίας των άρθρων που έχουν γραφτεί για το έργο, αλλά και των συζητήσεων που έγιναν σε περισσότερα από δέκα συμπόσια που έχουν διοργανωθεί σε διάφορες πόλεις του κόσμου.

Από ένα τμήμα της κοινότητας των ιστορικών των επιστημών το έργο κρίθηκε με αυστηρά ιστορικά κριτήρια. Η κριτική εστίαστηκε τόσο στη μεθοδευμένη επιλογή των γεγονότων, που ωθεί – συναισθηματικά κυρίως – τους θεατές προς συγκεκριμένες ερμηνείες, όσο και σε εναλλακτικές εκδοχές που αναδεικνύονται μέσα από τους διαλόγους για γεγονότα για τα οποία διαθέτουμε μόνο «έμμεσες» μαρτυρίες, αλλά όχι και αρχειακό υλικό που τα τεκμηριώνει «άμεσα». Το περιεχόμενο της συζήτησης που είχαν οι Μπορ-Χάιζενμπεργκ στην κατεχόμενη Κοπεγχάγη ανάγεται από τον Φρέιν σε ερμηνευτικό κλειδί μιας αλληλουχίας γεγονότων που συνιστούν, σε τελευταία ανάλυση, την μακρόχρονη κοινή πορεία τους, την επιστημονική παραγωγή τους, την κοινωνική λειτουργία τους ως επιστήμονες, αλλά και την σχεδόν αδιόρατη μετατροπή της κοινής αυτής πορείας σε διαμάχη. Το μυστήριο λοιπόν – τι είπαν σε εκείνη την συνάντηση – η διαλεύκανση του οποίου επαφίεται στους θεατές, δημιουργείται τελικά από την διαφορετική αξιολόγηση των τεκμηρίων που μπορούν να στηρίξουν διαφορετικές ερμηνευτικές προσεγγίσεις εξίσου πειστικές, αλλά

τελικά μη συμβατές. Πράγματι λοιπόν τίθεται το θέμα αν και κατά πόσο το έργο καθαυτό, συνιστά μια νόμιμη ιστορική πραγμάτευση του προβλήματος. Το συμπέρασμα στο οποίο οδηγούνται οι θεατές, ότι τελικά δεν είναι δυνατή η όποια μονοσήμαντη – ιστορική ερμηνεία των πράξεων του «θεατρικού» Χάιζενμπεργκ ή του «θεατρικού» Μπορ, δεν σημαίνει βέβαια ότι το ίδιο ισχύει και για τον «ιστορικό» Χάιζενμπεργκ και τον «ιστορικό» Μπορ. Οι ιστορικοί των επιστημών, μέσα από τις έρευνες τους οδηγούνται στη μερική μεν, αλλά υπαρκτή δυνατότητα να ανακτηθεί ένα τμήμα της αντικειμενικής ιστορικής γνώσης. Διερευνώντας το παρελθόν αποκλείονται ορισμένες ερμηνείες και στοιχειοθετούνται άλλες. Ενώ όλες οι δυνατές ερμηνείες δεν είναι ιστοριογραφικά νόμιμες, παραμένουν θεατρικά νόμιμες.

Ο Φρέιν υπερασπίστηκε τον εαυτό του, ανταπαντώντας σχεδόν ως ιστορικός, γεγονός που προκάλεσε ακόμη περισσότερες συζητήσεις. Για μας το κύριο ζήτημα δεν είναι αν το έργο συμβάλει στην ιστορική έρευνα αυτή καθαυτή, αλλά το ότι αποτέλεσε ουσιαστικό ερέθισμα για να ξεκινήσει η συζήτηση για το πώς η ιστορική έρευνα μπορεί να γίνει πιο γόνιμη όταν μπολιαστεί με πλευρές ερμηνευτικών μεθοδολογιών που αναδεικνύει η θεατρική γραφή.

### **Η κβαντική θεωρία: περίεργη, περίπλοκη και παράξενη.**

Ας έλθουμε όμως τώρα στον ιστορικό περίγυρο του έργου και των πρωταγωνιστών του. Η διαδικασία διατύπωσης και θεμελίωσης της κβαντικής θεωρίας πραγματοποιήθηκε στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα. Την περίοδο αυτή διατυπώνονται και θεμελιώνονται και οι θεωρίες της σχετικότητας (ειδική και γενική) από τον Άλμπερτ Αϊνστάιν (Einstein), οι οποίες μαζί με την κβαντική θεωρία αποτελούν αυτό που αποκαλούμε σύγχρονη φυσική – δηλαδή έναν νέο τρόπο θέασης και κατανόησης της φύσης, ριζικά διαφορετικό από αυτόν που γνωρίζαμε ως τότε, και ο οποίος είχε αρχίσει να συγκροτείται από τα τέλη του 16ου αιώνα. Αυτή η ριζική αλλαγή δεν αποτελούσε προνόμιο της φυσικής και



Ο Μπορ και ο Πλανκ στη δεκαετία του '20.

των φυσικών. Το ίδιο διάστημα ριζικές ανακατατάξεις είχαν γίνει στις τέχνες, στην πολιτική, στην αρχιτεκτονική, στη λογοτεχνία. Ο νέος, λοιπόν, τρόπος ανάγνωσης και κατανόησης της φύσης, αλλά και τα νέα χαρακτηριστικά της φύσης που αναδείκνυε η σύγχρονη φυσική, αποτελούσαν τμήμα ευρύτερων φιλοσοφικών, ιδεολογικών αλλά και πολιτισμικών ανακατατάξεων.

Η μεγάλη περιπέτεια της κβαντικής φυσικής άρχισε από τη μελέτη της θερμικής

ακτινοβολίας, δηλαδή της έντασης και της κατανομής της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα «μαύρο» σώμα, δηλαδή ένα σώμα που απορροφά όλη την ενέργεια που πέφτει επάνω του και, επειδή δεν εκπέμπει το ίδιο φως, μοιάζει μαύρο σε όσους το παρατηρούν. Το πρόβλημα κατάφερε να λύσει ο Μαξ Πλανκ (Planck), το 1900, χρησιμοποιώντας μια πρωτοφανή στην ιστορία της φυσικής υπόθεση. Η υπόθεση αυτή βασίζεται στην ιδέα ότι η ακτινοβόλουμένη ενέργεια αποτελείται από αδιαίρετες μονάδες ενέργειας, τα «κβάντα» ενέργειας. Όλη η κλασική φυσική στηριζόταν στην αρχή ότι η ενέργεια ήταν κάτι το συνεχές ενώ η κβαντική θεωρία θα στηριχτεί στην αρχή της ασυνέχειας: οι δυνατές τιμές της ενέργειας ήταν ακέραια πολλαπλάσια μιας μονάδας ενέργειας. Η προσέγγιση του Πλανκ που έμελλε να παίξει τόσο σπουδαίο ρόλο στη μελέτη του μικρόκοσμου διέφερε ουσιαστικά από τις προσεγγίσεις όλων των προηγούμενων ερευνητών, δεν αποτελούσε τη νομοτελειακή εξέλιξη τους αλλά κάτι ριζικά

διαφορετικό που άνοιγε το δρόμο για μια νέα φυσική.

Στην εποχή της η γενέθλια αυτή ανακοίνωση της κβαντικής φυσικής κάθε άλλο παρά ως λαμπρή ανακάλυψη χαρακτηρίστηκε. Τριανταένα χρόνια αργότερα ο ίδιος ο Πλανκ — ένας γενικά συντηρητικός άνθρωπος — θα μας πει γιατί αποφάσισε να διακινδυνεύσει το κύρος του με την ανακοίνωση μιας τόσο τολμηρής και αβέβαιης υπόθεσης: «Μπορώ να χαρακτηρίσω την όλη διαδικασία ως μια πράξη απόγνωσης, γιατί από τη φύση μου είμαι γαλήνιος

άνθρωπος και αποφεύγω τις αμφίβολες περιπέτειες. Εντούτοις είχα ήδη παλέψει έξι ολόκληρα χρόνια (από το 1894) με το πρόβλημα της ισορροπίας μεταξύ ακτινοβολίας και ύλης χωρίς να έχω φτάσει σε κανένα επιτυχημένο αποτέλεσμα. Γνώριζα ότι το πρόβλημα αυτό ήταν πρωταρχικής σημασίας για τη φυσική, γνώριζα τον τύπο που έδινε την κατανομή της ενέργειας... με όποιο τίμημα, όσο ψηλό και να ήταν αυτό, έπρεπε να βρεθεί μια θεωρητική ερμηνεία».

Παρά το ότι η σπουδαιότητα της υπόθεσης του Πλανκ πέρασε για τους πολλούς απαρατήρητη, έγινε αποδεκτή σε ένα περιορισμένο κύκλο φυσικών που άρχισαν να την εφαρμόζουν σε ποικίλα προβλήματα. Το 1905 — την ίδια χρονιά που δημοσιεύει την ειδική θεωρία της σχετικότητας — ο Άλμπερτ Αϊνστάιν σε ηλικία τότε 26 ετών θα υποθέσει ότι και η ενέργεια μιας δέσμης φωτός είναι επίσης κβαντισμένη. Το 1911 ο νεοζηλανδός Έρνεστ Ράδερφορντ (Rutherford), που εργαζόταν στο Μάντσεστερ, ανα-



Ο Μπορ και η γυναίκα του, Μαργκρέτε, στη δεκαετία του '20.



καλύπτει τον πυρήνα του ατόμου. Δύο μόλις χρόνια αργότερα, ο συνεργάτης και μαθητής του δανός Νιλς Μπορ, σε ηλικία 28 ετών, βασίζεται στις κβαντικές ιδέες για την ερμηνεία του ατόμου του υδρογόνου. Η θεωρία του επιτρέπει την ερμηνεία μιας σειράς φαινομένων και γίνεται ουσιαστικά το πεδίο όπου ελέγχεται η εγκυρότητα της κβαντικής θεωρίας. Κάθε χημικό στοιχείο, έχει ένα χαρακτηριστικό φάσμα. Η ένταση των γραμμών του φάσματος και οι μεταξύ τους αποστάσεις έγινε δυνατό να ερμηνευτούν με ακρίβεια μετά την θεωρία του Μπορ. Η μεγάλη επιτυχία της θεωρίας κινεί αυτή τη φορά αμέσως την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας.

Μετά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο η ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας είναι εντυπωσιακή. Στο επίκεντρο των εξελίξεων βρίσκονται πια δυο ερευνητικά Ινστιτούτα. Το Ινστιτούτο Θεωρητικής Φυσικής στην Κοπεγχάγη, υπό τη διεύθυνση του Νιλς Μπορ, και η ομάδα θεωρητικής φυσικής του Πανεπιστημίου του Γκέτινγκεν (Göttingen), υπό τη διεύθυνση του Μαξ Μπορν (Born). Κοντά στον Μπορν εργάζεται και ένας εικοσιτριάχρονος ερευνητής, ο Βέρνερ Χάιζενμπεργκ, που μόλις έχει πάρει το διδακτορικό στο Μόναχο με τον Άρνολντ Ζόμερφελντ (Sommerfeld). Ο Χάιζενμπεργκ εργάζεται συστηματικά με μαθηματικές μεθόδους που του επιτρέπουν να προχωρήσει σε υπολογισμούς από τους οποίους προκύπτουν οι επιτρεπόμενες τιμές κβαντισμένων φυσικών ποσοτήτων, είτε πρόκειται για ενέργειες, είτε για θέσεις ή ταχύτητες. Το 1925 ο Χάιζενμπεργκ μετά από μια έντονη κρίση αλλεργίας αναχωρεί για διακοπές στην Ελιγολάνδη, ένα νησί στη Βόρεια Θάλασσα. Εκεί ξαναγυρνάει στους υπολογισμούς του, διορθώνει και απλοποιεί την παλιά μεθοδολογία του και καταλήγει στα πρώτα θετικά αποτελέσματα αυτής της νέας προσέγγισης. Με το τέλος του καλοκαιριού του 1925 οι Χάιζενμπεργκ, Μπορν και ο νέος συνεργάτης του Μπορν, Πασκουάλ Τζόρνταν (Jordan) αναπτύσσουν την πρώτη πλήρη και συνεπή θεωρία (όπως θα γίνει κατανοητό αργότερα) κβαντικής μηχανικής. Μια θεωρία εξαιρετικά δύσχρηστη στο χειρισμό και την εφαρμογή

της γιατί απαιτούνται ιδιαίτερα δύσκολοι υπολογισμοί. Ο Βόλφγκανγκ Πάουλι (Pauli) – φίλος και συμφοιτητής του Χάιζενμπεργκ κοντά στον Ζόμερφελντ – είναι από τους πρώτους που γνωρίζει τη νέα θεωρία και την υποδέχεται μάλλον ψυχρά, ακριβώς λόγω του φορμαλισμού της.

Οι φυσικοί όμως δεν εργάζονταν μόνο στο Γκέτινγκεν και την Κοπεγχάγη. Το 1923 ο γάλλος Λουί ντε Μπρέϊγ (Louis de Broglie)

αναπτύσσει στη διδακτορική διατριβή του την ιδέα ότι ένα σωματίδιο συνοδεύεται από ένα «εσωτερικό περιοδικό φαινόμενο» – ένα κύμα, χωρίς ποτέ όμως να γίνει πολύ σαφής σχετικά με το τι εννοεί με αυτό. Αυτός που θα μεταμορφώσει αυτή την ασαφή ιδέα σε μια θεωρία είναι ο Έρβιν Σρέντινγκερ, ένας αυστριακός φυσικός που εργάζεται στη Ζυρίχη. Διατυπώνει τη θεωρία του τα Χριστούγεννα του 1925 σε ηλικία 38 ετών, όταν βρίσκεται στο χειμερινό θέρετρο της Αρόζα στην Ελβετία με την παρέα «μιας παλιάς φίλης από τη Βιέννη».

Εικοσιπέντε μόλις χρόνια μετά την αρχική θεωρία του Πλανκ, η νέα κβαντική φυσική όχι μόνο έχει αναπτυχθεί, αλλά υπάρχουν δύο φαινομενικά ανταγωνιστικές εκδοχές της. Ποια είναι άραγε η σωστή; Στις 8 Ιουνίου του 1926 ο Χάιζενμπεργκ θα γράψει στον Πάουλι «Όσο πιο πολύ σκέφτομαι το φυσικό μέρος της θεωρίας του Σρέντινγκερ, τόσο πιο πολύ το μισώ». Η διαμάχη δεν θα κρατήσει για πολύ. Το 1926 ο ίδιος ο Σρέντινγκερ και ανεξάρτητα από αυτόν ο Κάρλ Έκερτ (Eckert) στο Καλτέκ – αλλά και ο Πάουλι χωρίς όμως να το δημοσιεύσει ποτέ – απέδειξαν ότι οι δύο νέες μηχα-



Ο Χάιζενμπεργκ στο Γκέτινγκεν, 1924.

νικές, παρά τις διαφορές τους ήταν ισοδύναμες. Την ίδια χρονιά, ο Μπορν εγκαταλείπει την αιτιοκρατία της κλασικής φυσικής.

Το 1927 ο Χάιζενμπεργκ καταλήγει στην «αρχή της αβεβαιότητας». Στην κλασική φυσική είναι δυνατό να μετρηθεί η θέση και η ορμή ενός σώματος με όση ακρίβεια θέλουμε. Με άλλα λόγια, η κλασική φυσική θεωρεί ότι η θέση και η ορμή ενός σώματος μπορούν να μετρηθούν με απόλυτα ακριβή τρόπο, και οι όποιες αποκλίσεις είναι αποτέλεσμα των οργάνων που χρησιμοποιούμε για τις μετρήσεις. Πιο χοντροκομμένα όργανα εισάγουν μεγαλύτερη απόκλιση από τις πραγματικές τιμές απ' ότι πιο εκλεπτυσμένα όργανα. Ο Χάιζενμπεργκ, μέσα από την ανάλυση της διαδικασίας παρατήρησης των οντοτήτων του μικρόκοσμου, καταλήγει στην θέση ότι, λόγω της κβαντικής συμπεριφοράς των σωματιδίων που αποτελούν τον μικρόκοσμο, υπάρχει μια εγγενής ασάφεια, μια εγγενής απροσδιοριστία όταν πρόκειται να μετρηθεί *ταυτοχρόνως* η θέση και η ορμή ενός σωματιδίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια με την οποία μετρείται η θέση ενός σωματιδίου, τόσο αυξάνει η απροσδιοριστία στη μέτρηση της ορμής. Και όσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια με την οποία μετράμε την ορμή, τόσο περισσότερο αυξάνεται η απροσδιοριστία στον προσδιορισμό της θέσης. Ο Χάιζενμπεργκ, μέσα από μια εξαιρετικά πρωτότυπη συλλογιστική, συνειδητοποίησε ότι ενώ δεν υπάρχουν όρια στην ακρίβεια με την οποία μπορεί να οριστεί είτε η θέση είτε η ορμή, υπάρχει ένα θεμελιώδες όριο στην ακρίβεια με την οποία και η θέση και η ορμή μπορούν να προσδιοριστούν *συγχρόνως*. Με άλλα λόγια, η διαδικασία μέτρησης της θέσης  $x$  ενός σωματιδίου διαταράσσει την ορμή του  $p$ , και αντιστρόφως. Αν  $\Delta x$  είναι η αβεβαιότητα στη θέση και  $\Delta p$  είναι η αβεβαιότητα στην ορμή, η αρχή της αβεβαιότητας του Χάιζενμπεργκ  $[(\Delta x) \cdot (\Delta p) \neq h/2\pi]$  δηλώνει ότι το γινόμενο των δύο αβεβαιοτήτων δεν μπορεί να είναι μικρότερο από κάποιο συγκεκριμένο μέγεθος. Το  $h$  είναι η σταθερά του Πλανκ, μια εξαιρετικά μικρή ποσότητα, που παίζει μεν σημαντικό ρόλο στον μικρόκοσμο αλλά δεν έχει μετρήσιμες επιπτώσεις σε φαινόμενα του



Η Μαργκρέτε Μπορ με τρεις από τους γιούς της, τον Έρνστ, τον Κρίστιαν και τον Χανς στο Τίσβιλντε, 1933.

μακρόκοσμου. Η αβεβαιότητα αυτή *δεν* είναι το αποτέλεσμα των περιορισμένων δυνατοτήτων των οργάνων μέτρησης, αλλά είναι εγγενής στα πράγματα και προκύπτει από αυτή καθαυτή την διαδικασία μέτρησης.

Στον Μπορ οφείλεται η διατύπωση δύο άλλων αρχών, της «αρχής της αντιστοιχίας» και της «αρχής της συμπληρωματικότητας», που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην αποσαφήνιση των εννοιολογικών προβλημάτων της κβαντικής θεωρίας. Με την αρχή της αντιστοιχίας δηλώνεται ότι η κβαντική θεωρία παίρνει τη μορφή της κλασικής φυσικής όταν εφαρμόζεται σε οριακές συνθήκες. Δηλαδή, η κβαντική θεωρία, έχει ως όριο της την κλασική φυσική. Με την αρχή της συμπληρωματικότητας, ο Μπορ επεξεργάστηκε το νέο ρόλο του παρατηρητή που από το χαρακτήρα της κβαντικής θεωρίας επηρεάζει το αποτέλεσμα των μετρήσεων. Είναι και πάλι φανερή μια ριζική διαφοροποίηση από την κλα-



Ο Αϊνστάϊν με τον Μπορ στο συνέδριο του Σολβαί, 1930.

σική φυσική, όπου η πράξη της παρατήρησης δεν επηρεάζει τις μετρήσιμες ποσότητες.

Οι θεωρίες της φυσικής διατυπώνονται με μαθηματικά. Απαιτείται λοιπόν όχι μόνο ο πειραματικός έλεγχος τους, αλλά και η ερμηνεία τους, δηλαδή η κατανόηση των μαθηματικών οντοτήτων και συμπερασμάτων με την γλώσσα που επικοινωνούμε. Δεν ήταν απλή υπόθεση να ερμηνευτεί η κβαντομηχανική. Μιλούσε για εγγενείς πιθανότητες στη φύση. Στην κλασική φυσική, στον μακρόκοσμο, οι πιθανότητες προκύπτουν λόγω της πολυπλοκότητας ενός φαινομένου και λόγω της αδυναμίας μας να γνωρίζουμε τις αρχικές συνθή-

κες, τις οποίες όμως, θεωρούμε, ότι μπορούμε τελικά να τις γνωρίσουμε έστω και αν στις περισσότερες των περιπτώσεων αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο. Αντιθέτως, η κβαντομηχανική θεωρεί ότι υπάρχουν, στον μικρόκοσμο, καταστάσεις που περιγράφονται με πιθανότητες που είναι εγγενείς στην φύση των φαινομένων και δεν είναι αποτέλεσμα της δικής μας άγνοιας των αρχικών συνθηκών.

Τα μαθηματικά της κβαντικής θεωρίας αντί να είναι συνεπή με μια κλασική αιτιοκρατική ερμηνεία, φάνηκαν να είναι περισσότερο κατάλληλα για μια πιθανοκρατική ερμηνεία. Ενώ στην κλασική φυσική η θεωρία προβλέπει με απόλυτη σιγουριά το αποτέλεσμα των μετρήσεων, στην κβαντική θεωρία η θεωρία προβλέπει τις πιθανότητες που έχει κάποιος να βρει ένα συγκε-



κριμένο αποτέλεσμα από τις μετρήσεις που κάνει. Αυτή, όμως, η άποψη, παρά την εξαιρετική πρακτική της επιτυχία, δεν ήταν εύκολα αποδεκτή ως εγγενές στοιχείο της κβαντικής θεωρίας, ακόμη και από πολλούς από τους πρωτεργάτες της. Ο διασημότερος εκπρόσωπος αυτής της στάσης δυσπιστίας ήταν ο ίδιος ο Αϊνστάιν που σε ένα γράμμα στον Μαξ Μπορν στις 4 Δεκεμβρίου του 1926 θα συμπυκνώνει τις αντιρρήσεις του λέγοντας *“Η κβαντική μηχανική είναι πολύ εντυπωσιακή. Αλλά μια εσωτερική φωνή μου λέει ότι δεν τα έχουμε ακόμη καταφέρει.....Σε κάθε, όμως, περίπτωση έχω πειστεί ότι Εκείνος δεν παίζει ζάρια.”* Στην πραγματικότητα αυτή η εσωτερική φωνή συνόδευε τον Αϊνστάιν μέχρι το θάνατο του, ποτέ δεν έχασε την ευκαιρία να εκφράζει την δυσπιστία του. Αυτός που αναλαμβάνει την πρωτοβουλία να απαντήσει στις κριτικές και να «νομιμοποιήσει» πλήρως τη νέα θεωρία είναι ο Μπορν, ο οποίος θα καταφέρει τελικά να οικοδομήσει την απαραίτητη συναίνεση ανάμεσα στα μέλη της κοινότητας των φυσικών για το πώς θα ερμηνεύεται η κβαντομηχανική.

Η πιο εντυπωσιακή πράξη στο έργο της νομιμοποίησης της κβαντικής φυσικής θα παιχθεί στο 5ο Συνέδριο Σολβέ (Solvay) στο Κόμο της Ιταλίας το 1927, όπου και θριαμβεύει ο Μπορν. Στην γνωστή άποψη του Αϊνστάιν ότι *“Εκείνος δεν παίζει ζάρια”* ο Μπορν απαντά ότι χρειάζεται μεγάλη προσοχή όταν αποδίδονται χαρακτηριστικά στην Θεία Πρόνοια χρησιμοποιώντας την καθημερινή γλώσσα. Τα επιχειρήματα της κάθε πλευράς απλοποιήθηκαν στην εκλαϊκευτική φιλολογία της επιστήμης και εφευρέθηκε ένας φανταστικός διάλογος μεταξύ τους, που στην πραγματικότητα ποτέ δεν έγινε. Σύμφωνα με αυτόν στην παρατήρηση του Αϊνστάιν ότι *“ο Θεός δεν παίζει ζάρια με το σύμπαν”* ο Μπορν απάντησε *“Σταματήστε να υποδεικνύετε στον Θεό πώς θα συμπεριφέρεται”*. Σίγουρο είναι ότι ο ένας δεν έπεισε τελικά τον άλλο, αλλά μέσα από τη διαμάχη αυτή υιοθετήθηκε από την κοινότητα των φυσικών η «ερμηνεία της Κοπεγχάγης» για την κβαντομηχανική: η φύση είναι εγγενώς πιθανοκρατική και η ίδια η πράξη της παρατήρησης, επηρεάζει, τελικά, αυτά που παρατηρούνται. Στο Κόμο

γίνεται πια σαφές ότι η σύγχρονη φυσική οφείλεται στις επεξεργασίες του Μπορ και του Χάιζενμπεργκ. Η “επίσημη” άποψη που καθιερώνεται οφείλεται στα ριζοσπαστικά βήματα που κατά κύριο λόγο έχουν κάνει αυτοί. Ο πρώτος αποσαφηνίζοντας πολλές από τις έννοιες που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία της παρατήρησης στην κβαντική θεωρία, ο δεύτερος αναδεικνύοντας τους εγγενείς περιορισμούς που θέτει η κβαντική θεωρία στην ακρίβεια με την οποία μπορούν να μετρηθούν ταυτόχρονα η θέση και η ορμή ενός σωματιδίου. Ο πρώτος προσπαθώντας να κρατήσει τα στοιχεία συνέχειας με την θεώρηση μας του παλιού κόσμου – και λόγω του διαλόγου με τον Αϊνστάιν –, ο δεύτερος προσπαθώντας να υπογραμμίσει όλα τα στοιχεία ρήξης. Η αρχή της συμπληρωματικότητας και η αρχή της αβεβαιότητας γίνονται οι ακρογωνιαίοι λίθοι της «ερμηνείας της Κοπεγχάγης». Ο Αϊνστάιν, ο άλλος πόλος της σύγχρονης φυσικής, θα φύγει «ηττημένος» από το συνέδριο του Κόμο. Το 1932 ο φον Νούμαν (von Neumann) θα δώσει στον φορμαλισμό της κβαντικής φυσικής τη μαθηματική αυστηρότητα που έλειπε από πολλές από τις εργασίες των πρωτεργατών της νέας θεωρίας κλείνοντας τον κύκλο αυτής της περιόδου των τριάντα ετών, που θα ανατρέψουν για μια ακόμα φορά στην ανθρώπινη ιστορία την εικόνα του φυσικού κόσμου.

Παράξενα πράγματα ενός παράξενου κόσμου που ανακαλύπτουν οι φυσικοί στην διάρκεια της πρώτης εικοσιπενταετίας του 20ου αιώνα. Παράξενος; Απλώς ριζικά διαφορετικός από αυτόν που είχαμε συνηθίσει. Το ίδιο παράξενος θα έπρεπε να ήταν και για τους ανθρώπους του 17ου αιώνα ο νέος κόσμος, όταν καθιερώθηκε ότι ο ήλιος είναι στο κέντρο του σύμπαντος και όχι η γη, ότι η γη κινείται με ιλιγγιώδεις ταχύτητες γύρω από τον ήλιο και τον άξονα της, ότι δεν υπήρχε πια ο διαχωρισμός ανάμεσα στον υποσελήνιο και υπερσελήνιο χώρο, που είχε αντέξει για τόσους πολλούς αιώνες, και ακόμη πως οι νόμοι που ίσχυαν για το μικρότερο κομμάτι ύλης στη γη ίσχυαν και για τα φαινόμενα στα πιο απομακρυσμένα μέρη του σύμπαντος.

Έτσι στην διάρκεια του πρώτου τετάρτου του 20ου αιώνα, ανατρέπεται η εικόνα που είχαμε για τον κόσμο από τον 17ο αιώνα, και αντικαθίσταται με μια άλλη ριζικά διαφορετική. Νέοι φυσικοί νόμοι και νέα φαινόμενα που δεν είχαμε καν φανταστεί προηγουμένως κυριαρχούν στο μικρόκοσμο των ατόμων και στο μεγάλοκοσμο των πλανητών και των άστρων. Η ιστορία των Δυτικών κοινωνιών μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα είχε γνωρίσει μόνο δυο μεγάλες ανατροπές στον τρόπο που κατανοούμε τον φυσικό κόσμο. Την πρώτη με τους Αρχαίους Έλληνες που ανέτρεψαν την μυθολογική κατανόηση και ερμηνεία του κόσμου, τη δεύτερη, 20 σχεδόν αιώνες αργότερα, στη διάρκεια της Επιστημονικής Επανάστασης τον 16ο και 17ο αιώνα, με τη δημιουργία της κλασικής φυσικής και το πέρασμα από τον κλειστό κόσμο στο άπειρο σύμπαν, μέσα από το έργο του Κοπέρνικου, του Κέπλερ, του Γαλιλαίου και του Νεύτωνα. Στις αρχές του 20ου αιώνα ο Αϊνστάιν, ο Πλανκ, ο Μπορ, ο Χάιζενμπεργκ, ο Σραϊντιγκερ, ο Πάουλι και σχεδόν όλοι όσοι αναφέρονται στο έργο του Φρέιν, ανέτρεψαν τον κόσμο της κλασικής φυσικής πραγματοποιώντας την τρίτη μεγάλη ανατροπή στον τρόπο που μελετούμε και κατανοούμε τη φύση. Σε ποιο βαθμό, και πώς, οι ίδιοι βίωσαν και κατανόησαν αυτό τον εξαιρετικά ιδιαίτερο ρόλο είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα κεφάλαια της ιστορίας της φυσικής και της ιστορίας των ιδεών.

### **Η επιστημονική κοινότητα**

Ένα άλλο στοιχείο του γενικότερου πλαισίου είναι η κατάσταση της κοινότητας των φυσικών όταν γίνεται η συνάντηση του Μπορ με τον Χάιζενμπεργκ. Η κατάσταση αυτή το 1941 δεν είναι πολύ διαφορετική από ότι ήταν πριν την αρχή του Πολέμου. Στο τέλος του Ιανουαρίου του 1933, ο Χίτλερ αναλαμβάνει την Καγκελαρία. Μόλις τρεις μήνες αργότερα, τον Απρίλιο του 1933, υπογράφεται ειδικό διάταγμα για τους δημοσίους υπαλλήλους και πολλοί γερμανοί πανεπιστημιακοί εβραϊκής καταγωγής αρχίζουν να ψάχνουν αγωνιωδώς για εργασία εκτός Γερμανίας. Ο αριθμός

τους δεν ήταν ευκαταφρόνητος. Το ιδιαίτερα, όμως, σημαντικό στοιχείο είναι ότι πολλοί από αυτούς εκπροσωπούσαν ό,τι πιο πρωτοποριακό υπήρχε στην Θεωρητική Φυσική, και σε ορισμένες περιπτώσεις στην Πειραματική Φυσική, στη Γερμανία. Αρκετοί ήταν και από άλλες ειδικότητες. Τα περισσότερα από τα μέλη αυτής της αξιοζήλευτης επιστημονικής κοινότητας σκόρπισαν στην Αμερική, στην Αγγλία, στη Γαλλία, στην Τουρκία, στην Περσία. Στις 9 Μαρτίου του 1933 στη διάρκεια ενός ταξιδιού στις ΗΠΑ ο Αϊνστάιν παρατείνεται – με μια επιστολή κόλαφο για τους Ναζί – από την Γερμανική υπηκοότητα και από τη θέση του στην Πρωσική Ακαδημία Επιστημών. Έκτοτε μένει στο «Ινστιτούτο Προκεχωρημένων Σπουδών» του Πρίνστον (Princeton).

Αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι από τα τέλη του 19ου αιώνα στη Γερμανία είχε αρχίσει μια διαδικασία κοινωνικής «ενσωμάτωσης» των γερμανών εβραίων μέσω της βάπτισης τους σε χριστιανούς. Πολλοί χριστιανοί, αλλά και εβραϊκής καταγωγής γερμανοί διανοούμενοι ενθάρρυναν αυτή την κίνηση. Είναι ενδεικτική αυτής της στάσης η φράση του Χάινε, ότι η βάπτιση ήταν «το διαβατήριο για τον Ευρωπαϊκό πολιτισμό». Αυτό διευκόλυνε την πρόσβαση τους σε πανεπιστημιακές θέσεις, και πολλοί εβραϊκής καταγωγής φυσικοί διορίστηκαν στα Πανεπιστήμια την περίοδο που συμπίπτει με τα τραγικά αδιέξοδα της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης. Στην πρόσληψη επιστημόνων εβραϊκής καταγωγής σε πανεπιστημιακές θέσεις συνέβαλαν καθοριστικά και πολλοί μη εβραϊκής καταγωγής γερμανοί πανεπιστημιακοί, που στη συνέχεια αναδείχθηκαν σε ηγετικές μορφές της επιστήμης και τεχνολογίας. Είναι αυτοί που κατηγορήθηκαν από το ναζιστικό καθεστώς ότι μετέτρεψαν το Πανεπιστήμιο του Γκέτινγκεν σε εβραϊκό πανεπιστήμιο. Την περίοδο των διώξεων οι γερμανοί πανεπιστημιακοί καθηγητές έδειξαν γενικά απροθυμία να προχωρήσουν σε ουσιαστικές ενέργειες προκειμένου να στηρίξουν ή να υπερασπιστούν τους συναδέλφους τους που είχαν ουσιαστικά πάψει να έχουν την δυνατότητα να συνεχίσουν να ασκούν το λειτούργημά τους στο πανεπιστήμιο μετά τα διατάγ-



Σιδηροδρομικός σταθμός Στοκχόλμης, 1933. Από δεξιά προς τα αριστερά οι νομπελίστες Σρέντινγκερ, Χάιζενμπεργκ, Ντιράκ, η μητέρα του Ντιράκ, η γυναίκα του Σρέντινγκερ και η μητέρα του Χάιζενμπεργκ.

ματα της κυβέρνησης του Χίτλερ τον Απρίλιο του 1933. Ένας από τους λόγους για αυτή τη στάση τους ήταν ότι οι γερμανοί καθηγητές ήταν δημόσιοι υπάλληλοι, πιστοί συνήθως στις Πρωσικές παραδόσεις, σύμφωνα με τις οποίες οι διαμαρτυρίες για οτιδήποτε θεωρούσαν άδικο έπρεπε να εκφράζονται χωρίς να διαταράσσουν την ευπρέπεια και την ηρεμία της καθημερινής λειτουργίας του Πανεπιστημίου. Θορυβώδεις εκδηλώσεις διαμαρτυρίας ήταν σχεδόν αδιανόητες. Βέβαια αυτή η παθητική στάση δεν χαρακτήρισε όλους τους καθηγητές των γερμανικών πανεπιστημίων. Οι ηγέτες της κοινότητας των φυσικών όπως ο Πλανκ, ο φον Λάουε (von Laue), ο Ζόμερφελντ, ο Χαν (Hahn), αλλά ακόμη και ο Χάιζενμπεργκ – όλοι, εκτός του Ζόμερφελντ, κάτοχοι βραβείων Νόμπελ – ανέλαβαν ουσιαστικές πρωτοβου-



λίες προκειμένου να προφυλάξουν τους συναδέλφους τους και την πανεπιστημιακή κοινότητα από τα αποτελέσματα της πολιτικής των ναζιστών. Υπέβαλαν μνημόνια προς τις πανεπιστημιακές αρχές, συμβούλεψαν πολλούς συναδέλφους τους να μείνουν στη Γερμανία για να μην διαλυθεί η επιστημονική κοινότητα, χρησιμοποιούσαν τις επαφές τους στο εξωτερικό για να βρουν εργασία όσοι επέμεναν να φύγουν. Η προσπάθεια τους δεν υπήρξε ιδιαίτερα επιτυχής. Όλοι σχεδόν οι εβραϊκής καταγωγής φυσικοί εγκατέλειψαν τη Γερμανία. Τους ακολούθησαν και ελάχιστοι μη εβραϊκής καταγωγής Γερμανοί επιστήμονες, αποφεύγοντας όμως να κοινοποιήσουν τους λόγους για τους οποίους έφυγαν. Μοναδική ίσως εξαίρεση αποτέλεσε ο Ότο Νούγκεμπάουερ (Neugebauer), ο διάσημος αργότερα ιστορικός των μαθηματικών, βοηθός τότε του μεγάλου μαθηματικού Ντέιβιντ Χίλμπερτ (Hilbert), που πήγε στο Πανεπιστήμιο του Chicago. Δήλωσε ρητά όταν έφυγε, ότι εγκαταλείπει τη Γερμανία για πολιτικούς λόγους. Η τρέχουσα – και βέβαια λανθασμένη – πολιτική άποψη μεταξύ των γερμανών πανεπιστημιακών αλλά και πολλών άλλων, στην Ευρώπη το 1933, ήταν ότι, είτε ο Χίτλερ θα υποχρεωνόταν να προσαρμοστεί στους κανόνες διακυβέρνησης μιας αστικής δημοκρατίας, είτε ότι θα ανατρεπόταν. Οι περισσότεροι από τους μεγάλους γερμανούς φυσικούς – με εξαίρεση τον Χάιζενμπεργκ – φρόντισαν στη συνέχεια να περιορίσουν τις σχέσεις τους με το ναζιστικό καθεστώς. Για τον λόγο αυτό, η τουλάχιστον αμφιλεγόμενη σχέση του Χάιζενμπεργκ με τους Ναζί δεν μπορεί να περάσει απαρατήρητη για τους ιστορικούς. Ο φον Λάουε, μάλιστα αρνήθηκε την όποια συνεργασία με το καθεστώς, όντας σίγουρος ότι μια μέρα θα καταρρεύσει. Όπως δήλωσε δημόσια ο ίδιος στη συνέλευση της Γερμανικής Εταιρείας Φυσικών και Γιατρών το 1933 ήθελε την μέρα της κατάρρευσης να είναι στη Γερμανία για να συμβάλει *“στην πολιτισμική ανασυγκρότησή της πάνω στα ερείπια του Τρίτου Ράιχ”*. Το ότι ο ρόλος αυτός – μετά την ήττα της Γερμανίας – ανατέθηκε ουσιαστικά από τους συμμάχους στον Χάιζενμπεργκ, και όχι στον φον Λάουε,

αποτελεί ένα άλλο ενδιαφέρον ζήτημα προς μελέτη.

Ας έλθουμε τώρα σε ένα άλλο ουσιαστικό, και για τα όσα θίγονται στο έργο, ζήτημα. Αρκετοί έχουν την εσφαλμένη άποψη, ότι η εντυπωσιακή ανάπτυξη της φυσικής και της χημείας στις ΗΠΑ μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1930, οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην μετανάστευση στην Αμερική των εβραϊκής καταγωγής γερμανών φυσικών και χημικών. Αυτό δεν φαίνεται να ευσταθεί. Στην Αμερική υπήρχε ήδη μια πολύ δυναμική και εξαιρετικά αξιόλογη κοινότητα φυσικών και χημικών, στην ανάπτυξη της οποίας συνέβαλε απλώς, με ουσιαστικό βέβαια τρόπο, η έλευση και των εβραϊκής καταγωγής γερμανών επιστημόνων. Οι αμερικανοί φυσικοί είχαν ήδη έντονη παρουσία σε πρωτοποριακές ερευνητικές δραστηριότητες και βρίσκονταν σε στενή συνεργασία με ευρωπαϊκές ερευνητικές ομάδες. Προς την κατεύθυνση αυτή είχε συμβάλει ουσιαστικά η καθιερωμένη, από τις αρχές του 20ου αιώνα, πρακτική πολλοί αμερικανοί φοιτητές είτε να ολοκληρώνουν το διδακτορικό τους στην Γερμανία είτε, μετά την ολοκλήρωση του διδακτορικού τους στις ΗΠΑ, να περιοδεύουν σε γνωστά ερευνητικά ινστιτούτα στην Ευρώπη, παραμένοντας κάποιο διάστημα κοντά σε γνωστούς φυσικούς ή χημικούς. Αυτή η πρακτική συνεχίστηκε και μετά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, και μάλιστα μια από τις σημαντικότερες δραστηριότητες του νεοϊδρυθέντος Ιδρύματος Ροκφέλερ ήταν η ενίσχυση αυτών των επαφών μέσω υποτροφιών. Η νέα γενιά των φυσικών των ΗΠΑ, ήταν μια γενιά που είχε εκπαιδευτεί από την αρχή στο πλαίσιο της νέας κβαντικής φυσικής και είχε ήδη αναδείξει πολλούς ερευνητές με ερευνητικό έργο εξαιρετικά υψηλού επιπέδου. Όταν λοιπόν, μετά το 1933, άρχισαν να εγκαθίστανται στις ΗΠΑ οι επιστήμονες από την Γερμανία, εντάχθηκαν σε μια επιστημονική κοινότητα, με άτομα πολύ νεώτερης ηλικίας, πολλά από τα οποία είχαν ήδη συναντήσει και είχαν συνεργαστεί μαζί τους σε ευρωπαϊκά πανεπιστήμια. Ακριβώς σε αυτή την προϋπάρχουσα πολυπληθή και δυναμική κοινότητα φυσικών και χημικών, αλλά και στην εξαιρετικά προηγμένη αμερικανική

τεχνολογία, θα στηριχθεί κατά κύριο λόγο αργότερα το «σχέδιο Μανχάταν» για την κατασκευή της αμερικανικής ατομικής βόμβας.

### **Ο Χάιζενμπεργκ και η γερμανική ατομική βόμβα**

Το κεντρικό ιστορικό ζήτημα, που αποτέλεσε και για τον Φρέιν το ουσιαστικό ερέθισμα για τη συγγραφή του έργου του, αφορά στη σχέση του Χάιζενμπεργκ με το γερμανικό πρόγραμμα για την κατασκευή ατομικής βόμβας. Γνωρίζουμε με βεβαιότητα ότι ο Χάιζενμπεργκ εργάστηκε σε ένα πρόγραμμα των Ναζί για την αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας για στρατιωτικούς σκοπούς. Ο ίδιος, όμως, μετά την λήξη του πολέμου δήλωνε με κάθε τρόπο ότι με τη συμμετοχή του επεδίωκε να το υπονομεύσει εκ των έσω, και να έχει τη δυνατότητα να επεμβαίνει στις ερευνητικές κατευθύνσεις, με απώτερο σκοπό τον αποπροσανατολισμό τους. Η ερμηνεία αυτή του Χάιζενμπεργκ αμφισβητήθηκε από πολλούς ιστορικούς με βάση τα υπάρχοντα τεκμήρια. Ο Χάιζενμπεργκ, υποστηρίζουν, δεν είχε κατανοήσει το πώς πρακτικά μπορεί να κατασκευαστεί μια ατομική βόμβα, παρά το γεγονός ότι είχε όντως κατανοήσει τη δυνατότητα να κατασκευαστεί μια βόμβα εντελώς διαφορετική απ' όσες υπήρχαν έως εκείνη την εποχή. Πράγματι δεν υπάρχει κανένα τεκμήριο που να πείθει ότι ο Χάιζενμπεργκ – και οι συνεργάτες του – γνώριζε τη διαδικασία ελέγχου της απελευθέρωσης ενέργειας, την ποσότητα ουρανίου που ήταν απαραίτητη για να κατασκευαστεί μια βόμβα αλλά και το πλήθος των τεχνικών προβλημάτων που έπρεπε να επιλυθούν για να γίνει δυνατή η κατασκευή μιας τέτοιας βόμβας. Οι πιο σκληροί επικριτές του υποστηρίζουν ότι μετά τον πόλεμο, παρουσίασε την απόλυτη άγνοια του για την κατασκευή της βόμβας ως την ενάρετη στάση του παθητικού συνεργάτη ενός καθεστώτος με το οποίο καμώνεται εκ των υστέρων ότι δεν συμφωνούσε. Είναι γεγονός ότι για το πρόβλημα αυτό δεν υπάρχει κάποια συναίνεση ανάμεσα στους ιστορικούς των επιστημών. Ο Φρέιν, εκμεταλλευόμενος δραματουργικά αυτήν την έλλειψη συναίνεσης έστησε το

έργο του με έναν τέτοιο τρόπο ώστε όλες οι πιθανές εκδοχές που στηρίζονται στις τόσο διαφορετικά αντίθετες θεωρήσεις για την στάση του Χάιζενμπεργκ, να μπορούν να είναι αληθείς.

Θα αναφέρουμε ορισμένα από τα ιστορικά τεκμήρια που στοιχειοθετούν τις δύο διαφορετικές αποτιμήσεις της στάσης του Χάιζενμπεργκ, και στη συνέχεια θα απαριθμήσουμε τις εκδοχές του Φρέιν όπως δηλώνονται ή και υπονοούνται στο έργο σχολιάζοντάς τες με βάση τα ιστορικά τεκμήρια.

Η διαμάχη για το περιεχόμενο της συνάντησης ανάμεσα στον Μπορ και τον Χάιζενμπεργκ στην Κοπεγχάγη το 1941, αρχίζει το 1956 με την έκδοση του βιβλίου του Ρόμπερτ Γιούνγκ (Jungk) *Λαμπρότερη από χίλιους ήλιους (Brighter than a Thousand Suns)*. Ήταν η πρώτη απόπειρα για μια συστηματική ιστορία της κατασκευής της ατομικής βόμβας. Ο συγγραφέας βασιζόταν σε απόρρητα αρχεία που είχαν ήδη αποχαρακτηριστεί και κυρίως σε προσωπικές συνεντεύξεις. Ο Γιούνγκ ζήτησε από τον Χάιζενμπεργκ, αλλά όχι και από τον Μπορ, τη δική του εκδοχή τόσο για τη συμμετοχή του στο στρατιωτικό πρόγραμμα των ναζί όσο και για τη συνάντησή του με τον Μπορ στην κατεχόμενη Κοπεγχάγη. Ο Χάιζενμπεργκ έστειλε μια επιστολή στην οποία έθιγε όλα αυτά τα ζητήματα, και η οποία τελικώς συμπεριελήφθη στο βιβλίο.



Ο Χάιζενμπεργκ με δύο από τους γιούς του στη δεκαετία του '40.

Διατύπωσε την άποψη ότι συμμετείχε στο πρόγραμμα για να το υπονομεύσει, και ότι αυτό το είχε αποκαλύψει και στον Μπορ στην συνάντησή τους το 1941. Έχει ενδιαφέρον, όμως, ότι ο Γιούνγκ μετά την έκδοση του βιβλίου του αποστασιοποιήθηκε από την εκδοχή του Χάιζενμπεργκ, την οποία είχε ουσιαστικά υιοθετήσει, λέγοντας ότι την πίστεψε επηρεασμένος από τις ιδιαίτερα εντυπωσιακές προσωπικότητες των Γερμανών φυσικών. Στο όλο θέμα επανήλθε αρκετά χρόνια αργότερα ένας άλλος ερευνητής ο Τόμας Πάουερς (Powers). Στο βιβλίο του *Ο πόλεμος του Χάιζενμπεργκ (Heisenberg's War)* που δημοσιεύεται το 1993 μελετά μεγάλο αριθμό τεκμηρίων που στο μεταξύ είχαν αποχαρκτηρισθεί, μελέτες άλλων ιστορικών σχετικές με την περίοδο, και απομνημονεύματα φυσικών που είχαν εργαστεί για την κατασκευή της βόμβας. Ο Πάουερς ενισχύει τη θέση που ο Χάιζενμπεργκ πρόβαλε στο γράμμα προς τον Γιούνγκ. Ισχυρίζεται ότι η αποτυχία του γερμανικού προγράμματος οφείλεται στην απροθυμία των Γερμανών φυσικών να εξοπλίσουν τον Χίτλερ με μια τέτοια βόμβα, παρά το γεγονός ότι και πατριώτες ήταν και με αυτόν τον τρόπο στερούσαν από τον εαυτό τους σοβαρές ερευνητικές δυνατότητες. Για τον Χάιζενμπεργκ γράφει ότι δεν αρκέστηκε σε μια παθητική στάση, αλλά έκανε το παν για να αποπροσανατολίσει τους ιθύνοντες, ώστε να συνεχίζουν να χρηματοδοτούν το πρόγραμμα και να τον κρατούν στη θέση του.

Στην πλειονότητα τους οι ιστορικοί της επιστήμης επεφύλαξαν αρνητικές κριτικές στο βιβλίο. Ελάχιστοι πείστηκαν από την επιχειρηματολογία του Πάουερς ότι πράγματι αυτοί ήταν οι λόγοι της συμμετοχής του Χάιζενμπεργκ στο πρόγραμμα για την κατασκευή της γερμανικής βόμβας. Δύο ήταν οι βασικοί λόγοι. Ο πρώτος σχετίζεται με τις περιβόητες συζητήσεις μεταξύ των αιχμάλωτων γερμανών φυσικών που είχαν μαγνητοφωνηθεί στον τόπο κράτησής τους στο Φαρμ Χωλ (Farm Hall) την επομένη της έκρηξης της ατομικής βόμβας στην Χιροσίμα στις 6 Αυγούστου 1945. Η ιστορία αυτή έχει ως εξής: μετά τη λήξη του πολέμου με τη Γερμανία μια ομάδα της Βρετανικής στρατιωτικής αντικατα-

σκοπίας μαζί με κάποιους βρετανούς φυσικούς εισχώρησαν, με τη σύμφωνη γνώμη των Αμερικανών, στην περιοχή της Γερμανίας –η οποία μάλιστα ήταν υπό Γαλλική διοίκηση– όπου ο Χάιζενμπεργκ μαζί με άλλους εργαζόταν για την κατασκευή της βόμβας. Συνέλαβαν κάποιους από τους φυσικούς που είχαν πάρει μέρος στο πρόγραμμα και μαζί με άλλους γερμανούς φυσικούς που συνελήφθησαν σε άλλα μέρη της Γερμανίας τους μετέφεραν σε ένα μεγάλο εξοχικό σπίτι στην Αγγλία, το Φαρμ Χωλ, όπου και τους κράτησαν απομονωμένους για έξι περίπου μήνες για να τους ανακρίνουν. Οι Άγγλοι δικαιολόγησαν αργότερα αυτή την ενέργεια λέγοντας ότι έγινε για να εμποδίσουν πιθανή απαγωγή των επιστημόνων από τους Σοβιετικούς, αλλά και για να εντοπίσουν και να καταστρέψουν ένα σχετικά πρωτόγονο πυρηνικό αντιδραστήρα, ώστε να αποφευχθούν καταστάσεις εκτός ελέγχου εκείνο το κρίσιμο διάστημα. Στο Φαρμ Χωλ οι αγγλικές μυστικές υπηρεσίες είχαν τοποθετήσει μικρόφωνα με τα οποία παρακολουθούσαν και κατέγραφαν όλες τις συνομιλίες των γερμανών φυσικών. Ο «φάκελος Φαρμ Χωλ» έμεινε ερμητικά κλειστός μέχρι το 1962, τότε για πρώτη φορά δόθηκαν στη δημοσιότητα σε αγγλική μετάφραση τα κείμενα που προέκυψαν από την απομαγνητοφώνηση των συζητήσεων. Όμως ούτε οι αρχικές μαγνητοταινίες, αλλά ούτε και οι πρώτες μεταγραφές στα γερμανικά είχαν διασωθεί. Οι αποχρώσεις στη φωνή, το είδος των εκφράσεων, ο τόνος των συζητήσεων, η ταυτόχρονη ομιλία λόγω διαφωνιών κτλ. έχουν για πάντα χαθεί. Σύμφωνα με τον ταγματάρχη Ρίτνερ (Rittner), που είχε την ευθύνη φύλαξης των γερμανών επιστημόνων στο Φαρμ Χωλ, όταν πληροφορήθηκαν για πρώτη φορά την επιτυχημένη ρίψη της αμερικανικής ατομικής βόμβας είχαν εκπλαγεί. Ο Χάιζενμπεργκ ειδικά φαινόταν εξαιρετικά δύσπιστος, δεν πίστευε ότι οι αμερικανοί είχαν κατασκευάσει τη βόμβα, πίστευε ότι μπλόφαραν. Επαναλάμβανε συνέχεια την άποψη ότι ήταν αδύνατο να είχαν καταφέρει να απομονώσουν την εξαιρετικά μεγάλη ποσότητα ουρανίου 235 που θεωρούσε απαραίτητη για την κατασκευή της. Είναι άραγε ειλικρι-



νείς αυτές οι πρώτες αντιδράσεις του Χάιζενμπεργκ ή υποκρίνεται; Πιστεύει πράγματι ότι χρειάζονται πελώριες ποσότητες ουρανίου 235, που σημαίνει ότι δεν γνώριζε πως να προχωρήσει στην κατασκευή της βόμβας ή μήπως θέλει να δείχνει ότι δεν το γνωρίζει; Οι αμφιβολίες προκύπτουν κυρίως από μια συζήτηση ανάμεσα στον Χάιζενμπεργκ και τον χημικό Ότο Χαν. Οι έρευνες του Χαν – που δεν είχε εργαστεί στο πρόγραμμα κατασκευής της γερμανικής βόμβας – είχαν συμβάλει καθοριστικά το 1939 στην κατανόηση του μηχανισμού της αλυσιδωτής αντίδρασης, στην οποία βασιζόταν η κατασκευή της ατομικής βόμβας. Ο Χάιζενμπεργκ επαναλαμβάνει και σε αυτόν την άποψη του για την ανάγκη πολύ μεγάλων ποσοτήτων ουρανίου, αλλά ο Χαν του υπενθυμίζει ότι σε παλαιότερη συζήτησή τους στη Γερμανία του είχε πει ότι αρκεί μια ποσότητα μόλις 50 κιλών. Θυμάται άραγε καλά ο Χαν; Το παζλ έρχεται να περιπλέξει μια ακόμα ενέργεια του Χάιζενμπεργκ. Μέσα στην επόμενη από την έκρηξη βδομάδα, παρουσιάζει σε όλους τους υπό κράτηση φυσικούς αποτελέσματα νέων υπολογισμών του που είναι παρόμοια με αυτά της ομάδας του αμερικανικού προγράμματος Μανχάταν. Πράγματι είναι υπολογισμοί που έγιναν από τον Χάιζενμπεργκ για πρώτη φορά στο Farm Hall; Όντως εκεί κατανόησε για πρώτη φορά ότι η κρίσιμη μάζα για την κατασκευή της βόμβας είναι πολύ μικρότερη από αυτή που υποτίθεται ότι πίστευε τα προηγούμενα χρόνια; Ανάμεσα στους έγκλειστους είναι και ο Βάλτερ Γκέρλαχ (Gerlach), ο υπεύθυνος του προγράμματος για την κατασκευή της γερμανικής ατομικής βόμβας. Από τις συζητήσεις προκύπτει ότι τουλάχιστον αυτός δεν γνώριζε την ορθή λύση του προβλήματος. Γνώριζε λοιπόν ο Χάιζενμπεργκ και αγνοούσε ο Γκέρλαχ; Το αγνοούσαν και οι δύο; Είναι σχεδόν αδύνατο από την συμπεριφορά και μόνο του Χάιζενμπεργκ στο Φαρμ Χωλ να προχωρήσουμε σε συμπεράσματα για το κατά πόσο ήταν σε θέση να κατασκευάσει την ατομική βόμβα και το απέφυγε συνειδητά. Το υλικό των συζητήσεων μπορεί να στηρίξει πολλές υποθέσεις και για έναν επιπλέον λόγο. Οι έγκλειστοι

Γερμανοί (του Χάιζενμπεργκ συμπεριλαμβανομένου) υποστήριξαν αργότερα ότι μιλούσαν μεταξύ τους ελεύθερα και αυθόρμητα χωρίς να παίρνουν προφυλάξεις για να αποκρύψουν κάτι, γιατί δεν πίστευαν ότι οι Βρετανοί τους παρακολουθούν μέσω μικροφώνων. Η διαβεβαίωση αυτή δεν είναι ιδιαίτερα πειστική. Όλοι τους ήταν γνώστες παρόμοιων μεθόδων παρακολούθησης, και πολλοί από αυτούς τις είχαν ήδη υποστεί από τους ναζί. Δεν υπήρχε λόγος να πιστέψουν ότι οι Βρετανοί δεν θα χρησιμοποιούσαν τέτοιες μεθόδους. Τελικά το απομαγνητοφωνημένο υλικό των συζητήσεων του Φαρμ Χωλ, πολύτιμο τεκμήριο για μια σειρά ιστορικά προβλήματα, από μόνο του δεν βοηθά ιδιαίτερα τον ιστορικό για την κατανόηση του ρόλου του Χάιζενμπεργκ.

Το καθοριστικό στοιχείο για να διευκρινίσουμε αν ο Χάιζενμπεργκ είχε λύσει όλα τα βασικά τουλάχιστον προβλήματα φυσικής που σχετιζόνταν με την κατασκευή της ατομικής βόμβας, είναι το θέμα της κρίσιμης μάζας. Η κρίσιμη μάζα είναι εκείνη η ποσότητα ουρανίου που είναι τόσο μεγάλη ώστε να συντηρήσει μια ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση, και τόσο μικρή ώστε να μην εκραγεί με ανεξέλεγκτο τρόπο. Ο υπολογισμός αυτής της ποσότητας ήταν απολύτως καθοριστικός για την κατασκευή της βόμβας, αφού από την ποσότητα αυτή εξαρτάται και ο χρόνος που χρειάζεται για τις εξαιρετικά χρονοβόρες διαδικασίες που απαιτείται για να απομονωθεί το ουράνιο 235 από το ουράνιο 238. Πριν τον πόλεμο οι φυσικοί (μεταξύ των οποίων και ο Μπορ) πίστευαν ότι η ποσότητα αυτή ήταν μερικοί τόνοι. Αυτό έκανε πρακτικά αδύνατη την κατασκευή της βόμβας, αφού για την παραγωγή μιας τέτοιας ποσότητας ουρανίου απαιτούνταν πελώριες εγκαταστάσεις και πάρα πολλά χρόνια. Η αντίληψη αυτή ήταν η κυρίαρχη αντίληψη μεταξύ των γερμανών φυσικών και κατά τη διάρκεια του πολέμου. Όμως στο στρατόπεδο των Βρετανών και των Αμερικανών τα πράγματα άλλαξαν ραγδαία, όταν ένας υπολογισμός που έγινε το 1940 από δύο φυσικούς εβραϊκής καταγωγής που είχαν βρει καταφύγιο στην Αγγλία,

κατέληξε σε μια ποσότητα κάποιων κιλών. Παρά τις σοβαρές μαθηματικές δυσχέρειες του υπολογισμού, που δεν τον καθιστούσαν ιδιαίτερα αξιόπιστο, η ποσότητα που υπολογίστηκε όχι μόνο αναπέρωσε τις προσδοκίες, αλλά και αποτέλεσε το πρώτο πολύ ουσιαστικό επιχείρημα υπέρ της δυνατότητας να κατασκευαστεί η βόμβα. Ο υπολογισμός αυτός δεν έγινε γνωστός στον Χάιζενμπεργκ, αλλά ούτε και στον αποκλεισμένο στη Δανία Νιλς Μπορ. Όταν οι δύο τους συζητούν στην Κοπεγχάγη δεν γνωρίζουν την κρίσιμη αυτή εξέλιξη. Η πραγματοποίηση της πρώτης αλυσιδωτής αντίδρασης από τον Ενρίκο Φέρμι (Fermi), στο Σικάγο το 1942, πιστοποίησε ότι οι πιθανότητες κατασκευής μιας ατομικής βόμβας δεν ήταν πια μόνο θεωρητική δυνατότητα.

Τα στοιχεία που διαθέτουμε για το τι γνώριζε ο Χάιζενμπεργκ σχετικά με το πρόβλημα της κρίσιμης μάζας είναι αντιφατικά. Κανένα από αυτά δεν πιστοποιεί με άμεσο τρόπο την ορθότητα των υπολογισμών του. Όλα είναι έμμεσα: κάποιες φήμες που είχαν κυκλοφορήσει ανάμεσα σε φυσικούς που εργάζονταν στη Γερμανία σε άλλα πυρηνικά προγράμματα ότι ο Χάιζενμπεργκ πίστευε πως η κρίσιμη μάζα ήταν μερικοί τόνοι· μαρτυρίες, πάλι από φυσικούς που παρέμειναν στην Γερμανία στην διάρκεια του Πολέμου, ότι ο Βάιτσεκερ (Weizsäcker) — με τον οποίο ο Χάιζενμπεργκ επισκέπτεται την Κοπεγχάγη το 1941 — διέψευσε τις φήμες· νέες μαρτυρίες, άλλων, μετά τον πόλεμο, που αναιρούσαν τις μαρτυρίες των προηγούμενων. Ο Βάιτσεκερ, σε μια έκθεση του για μια πιθανή αμερικανική πρωτοβουλία για την κατασκευή ατομικής βόμβας, αναφέρει τις καταστροφικές συνέπειες μιας βόμβας με κρίσιμη μάζα πέντε κιλών. Σε μια έκθεση για τον γερμανικό στρατό τον Φεβρουάριο του 1942 -πριν την αρχή του αμερικανικού προγράμματος Μανχάταν-αναφέρεται από τους συντάκτες, τα ονόματα των οποίων δεν γνωρίζουμε, μια ποσότητα μεταξύ δέκα και εκατό κιλών. Ο Χάιζενμπεργκ περιγράφει και μια εξαιρετικά κρίσιμη συνάντηση με τον Στρατάρχη Σπέερ (Speer) και άλλους επιτελείς του γερμανικού στρατού τον Ιούνιο του 1942. Στην ερώτηση που αφορούσε στην κρίσιμη μάζα

του ουρανίου μιας βόμβας ικανής να καταστρέψει μια πόλη, ο Χάιζενμπεργκ μας διαβεβαιώνει ότι απάντησε “ως το μέγεθος ενός ανανά”.

Υπάρχουν και πολλές άλλες τέτοιου τύπου πληροφορίες που οι ιστορικοί πρέπει να λάβουν υπ’ όψη τους για τη διερεύνηση του συγκεκριμένου προβλήματος. Στόχος μας δεν είναι να τις παρουσιάσουμε αναλυτικά, αλλά να δείξουμε πόσο περίπλοκη είναι η διερεύνησή και η τελική αποτίμησή τους. Η δική μας ανά-

γνωση των τεκμηρίων μας οδήγησε στην πεποίθηση ότι ο Χάιζενμπεργκ δεν είχε επιλύσει βασικά τεχνικά προβλήματα που σχετιζόνταν με την κατασκευή της ατομικής βόμβας, αλλά και ότι δεν είχε επιδιώξει ιδιαίτερα να το καταφέρει. Γιατί δεν το είχε επιδιώξει; Πράγματι δεν το ήθελε; Μήπως πίστευε ότι δεν ήταν δυνατό να γίνει σε μικρό χρονικό διάστημα; Μήπως είχε πειστεί, μετά από κάποια στιγμή, ότι η Γερμανία θα χάσει τον πόλεμο; Μήπως όλοι αυτοί οι λόγοι μαζί ταυτόχρονα ή σε διαφορετικές περιόδους ο καθένας;



Μπορ, Όπενχάιμερ, Φάινμαν, Φέρμι.  
Πρόγραμμα Μανχάταν.

Για να γίνει κατανοητό γιατί η γερμανική ομάδα με τα μέσα και τους πόρους που διέθετε δεν είχε καμιά ελπίδα να κατασκευάσει τη βόμβα ως αναφερθούμε πολύ σύντομα στο μέγεθος του αντίστοιχου αμερικανικού εγχειρήματος, γνωστού ως «Πρόγραμμα Μανχάταν». Υπολογίζεται πως πάνω από εκατό χιλιάδες άτομα συνέβαλαν τελικά για την κατασκευή της, συμπεριλαμβανομένων και όσων εργάστηκαν στην κατασκευή εργοστασίων και πυρηνικών σταθμών που θα εξυπηρετούσαν ειδικές ανάγκες του προγράμματος. Το συνολικό κόστος έφτασε τα δύο δισεκατομμύρια δολάρια. Συνεργάστηκαν με εξαιρετικό συντονισμό όχι μόνο οι σημαντικότεροι φυσικοί και χημικοί των ΗΠΑ, αλλά και της Αγγλίας, η οποία μετά το 1942 αποφάσισε ότι δεν είχε

νόημα να συνεχίζει το δικό της πρόγραμμα και ενέταξε και τις δικές της δυνάμεις και τους δικούς της πόρους στο αμερικανικό πρόγραμμα. Ουσιαστικό ρόλο έπαιξε και η νέου τύπου – για τα δεδομένα της εποχής – οργανωτική δομή του όλου εγχειρήματος αλλά και η ιδεολογική στράτευση και δέσμευση του συνόλου σχεδόν του επιστημονικού κόσμου με μοναδικό σκοπό την ήττα του ναζισμού. Από τη μελέτη του αμερικανικού προγράμματος γίνεται σαφές ότι η κατασκευή της βόμβας δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο μικρών, ανταγωνιστικών μεταξύ τους εργαστηριών, ότι υπερέβαινε τις μεμονωμένες επιστημονικές ικανότητες ακόμη και των ικανότερων φυσικών, ότι χρειαζόταν μια οργάνωση πολύ διαφορετική από αυτήν με την οποία ήταν εξοικειωμένοι οι επιστήμονες και οι στρατιωτικοί μέχρι τότε.

### **Η συνάντηση Μπορ - Χάιζενμπεργκ στην κατεχόμενη Κοπεγχάγη.**

Ας ξαναγυρίσουμε όμως στη συνάντηση Μπορ - Χάιζενμπεργκ στην κατεχόμενη Κοπεγχάγη το 1941. Τι ακριβώς συνέβη εκεί; Γιατί ο Χάιζενμπεργκ επεδίωξε τόσο επίμονα να δει τον Μπορ και να συζητήσει μαζί του χωρίς την παρουσία μαρτύρων; Τι τελικά ειπώθηκε μεταξύ τους στον περίπατο στο πάρκο; Οι δυνατές εκδοχές είναι πολλές. Ήθελε άραγε να εκμαιεύσει από τον Μπορ πληροφορίες για το αν οι Σύμμαχοι είχαν κάποιο πρόγραμμα αξιοποίησης της πυρηνικής ενέργειας για στρατιωτικούς σκοπούς; Ήθελε να ενημερώσει τον Μπορ για τις έρευνες του στη Γερμανία και να του εξηγήσει για ποιο λόγο αποδέχτηκε να είναι επικεφαλής αυτών των δραστηριοτήτων; Μήπως να τον ενημερώσει για τις έρευνες του, χωρίς όμως να αποκαλύψει αυτό που στη συνέχεια υποστήριζε ότι έκανε; Να ζητήσει ίσως την ενεργή συμβολή και συμμετοχή του Μπορ, αφού εκείνη την εποχή ο Χάιζενμπεργκ πίστευε ακόμη ότι η Γερμανία θα κερδίσει τον Πόλεμο; Να πείσει ίσως τον Μπορ ότι είναι ο μόνος που θα μπορούσε να αποτρέψει την κατασκευή μιας τέτοια βόμβας από τους Συμμάχους; Ή τελικά μήπως ήθελε απλώς να αποσαφηνίσει

εξαιρετικά σημαντικά προβλήματα της φυσικής για την κατασκευή της βόμβας;

Δεν θα είχε κανένα νόημα αλλά ούτε και θα βοηθούσε τους θεατές να αναπτύξουμε εδώ τη δική μας εκδοχή. Έχει, όμως, ενδιαφέρον να δούμε τι είπαν εκ των υστέρων οι δύο πρωταγωνιστές γι' αυτή τη συνάντηση.

Τα ουσιαστικότερα τεκμήρια που διαθέτουμε είναι δύο: η επιστολή του Χάιζενμπεργκ το 1955 στον συγγραφέα Ρόμπερτ Γιούνγκ όταν ετοιμάζε το βιβλίο του, και τα σχέδια των απαντητικών επιστολών προς τον Χάιζενμπεργκ που συνέταξε ο Μπορ μετά την δημοσίευση του βιβλίου, όταν οι δημοσιογράφοι άρχισαν να τον ρωτούν για τη δική του εκδοχή. Τα σχέδια των επιστολών αυτών, που γράφτηκαν από το 1957 έως το 1962 και δε στάλθηκαν ποτέ, δημοσιοποιήθηκαν τον Φεβρουάριο του 2002 από το αρχείο Μπορ στην Κοπεγχάγη, μετά από απόφαση της οικογένειάς του, και κατά παράβαση της διαθήκης του που προέβλεπε να δημοσιευτούν πολύ αργότερα. Προφανώς τόσο η επιστολή Χάιζενμπεργκ όσο και η επιστολή Μπορ δεν αποτελούν “αντικειμενικά” τεκμήρια για το τι ακριβώς έγινε στην διάρκεια της συνάντησης. Όχι μόνο δεν συμβάλλουν στην απάντηση του ερωτήματος αλλά περιπλέκουν ακόμη περισσότερο το ζήτημα. Δεν παύουν όμως να αποτελούν την εκδοχή των ίδιων των πρωταγωνιστών.

Ο Χάιζενμπεργκ δηλώνει στην επιστολή ότι η ομάδα του είχε καταλήξει στη δυνατότητα κατασκευής ενός αντιδραστήρα που θα λειτουργούσε με ουράνιο και βαρύ ύδωρ. Σε αυτόν τον αντιδραστήρα θα ήταν δυνατή η παρασκευή ενός υποπροϊόντος του ουρανίου, το οποίο θα ήταν τόσο κατάλληλο όσο και το ουράνιο 235 για να χρησιμοποιηθεί ως εκρηκτικό για την ατομική βόμβα. Γνώριζαν, επίσης, ότι χρειαζόταν να δεσμευτούν τεράστιες ποσότητες υλικών πόρων για την κατασκευή της βόμβας. Γράφει μεταξύ άλλων:

*«Γνωρίζαμε ότι είναι δυνατή η κατασκευή της ατομικής βόμβας, αλλά υπερεκτιμήσαμε τις αναγκαίες τεχνικές δαπάνες. Αυτό μας εννοούσε αφού*





Ο Χάιζενμπεργκ με τον Μπορ το 1925.

έδινε την δυνατότητα στους φυσικούς να επηρεάσουν τις εξελίξεις. Αν ήταν αδύνατο να κατασκευαστούν ατομικές βόμβες, δεν θα προέκυπτε αυτή η δυνατότητα, αλλά και αν ήταν εύκολη η παραγωγή τους, τότε οι φυσικοί δεν θα ήταν σε θέση να αποτρέψουν την κατασκευή τους. Αυτή η κατάσταση επέτρεπε στους φυσικούς να έχουν μια αποφασιστική επιρροή στις εξελίξεις, αφού θα μπορούσαν να επιχειρηματολογήσουν στις συζητήσεις τους με κυβερνητικούς παράγοντες, ότι οι ατομικές βόμβες κατά πάσα πιθανότητα δεν θα ήταν έτοιμες για να χρησιμοποιηθούν στην διάρκεια του

πολέμου..... Κάτω από αυτές τις συνθήκες σκεφτήκαμε πως μια συζήτηση με τον Μπορ θα ήταν χρήσιμη... Ήμουν σίγουρος ότι ο Μπορ θα ήταν υπό παρακολούθηση από τις γερμανικές αρχές [της Κοπεγχάγης]. Οι όποιες δηλώσεις για εμένα [στο γράμμα λέει για εμένα και όχι σε εμένα] θα αναφερόντουσαν στην Γερμανία, και γι' αυτό προσπάθησα να κάνω αυτή τη συζήτηση με έναν τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπει σε κίνδυνο η ζωή μου. Η συζήτηση άρχισε μάλλον με τη δική μου ερώτηση για το κατά πόσο ήταν σωστό για τους φυσικούς να απασχολούνται, στην διάρκεια του πολέμου, με το πρόβλημα του ουρανίου, αφού υπήρχε η πιθανότητα οι εξελίξεις σε αυτόν τον τομέα να οδηγήσουν σε σημαντικές και δυσάρεστες συνέπειες στις τεχνικές του πολέμου. Ο Μπορ κατάλαβε αμέσως το νόημα της ερώτησης μου, όπως συνειδητοποίησα από την ελαφρά τρομαγμένη αντίδρασή του. Αν' όσο μπορώ να θυμηθώ, απάντησε με μια άλλη ερώτηση. 'Πιστεύεις αλήθεια ότι η διάσπαση του ουρανίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή όπλων;' Εγώ μπορώ να απάντησα 'Γνωρίζω ότι και' αρχήν ότι είναι δυνατή,



Μπορ, Χάιζενμπεργκ, Ντιράκ, 1962.

*αλλά θα χρειαστεί μια τρομακτική προσπάθεια, η οποία μπορεί κάποιος να ελπίζει, ότι δεν θα πραγματοποιηθεί στην διάρκεια αυτού του πολέμου.' Ο Μπορ είχε σοκαριστεί από την απάντησή μου, προφανώς θεωρώντας ότι είχα την πρόθεση να του μεταφέρω το ότι η Γερμανία είχε κάνει μεγάλες προόδους στην κατεύθυνση παραγωγής ατομικών όπλων. Παρά το γεγονός ότι προσπάθησα αργότερα να διορθώσω την εσφαλμένη αυτή εντύπωση, κατά πάσα πιθανότητα δεν κατάφερα να κερδίσω την πλήρη εμπιστοσύνη του Μπορ, ειδικότερα αφού μίλησα με τόσο επιφυλακτικό τρόπο (κάτι που ήταν απολύτως λάθος εκ μέρους μου), έχοντας τον φόβο ότι κάποια φράση μπορεί αργότερα να χρησιμοποιηθεί εναντίον μου. Ήμουν πολύ στεναχωρημένος από το αποτέλεσμα αυτής της συνομιλίας μας.»*

Το πρώτο σχέδιο επιστολής του Μπορ προς τον Χάιζενμπεργκ έχει κατά πάσα πιθανότητα συνταχθεί το 1957. Σε πολλά μέρη του δεν είχαν γίνει γλωσσικές διορθώσεις. Τα επόμενα σχέδια δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές, αν και ορισμένα περιέχουν

ενδιαφέρουσες διαφοροποιήσεις στην έμφαση, αλλά όχι στην ουσία του περιεχομένου.

*«Αγαπητέ Χάιζενμπεργκ,....Προσωπικά θυμάμαι κάθε λέξη της συζήτησής μας...και πως εξέφρασες [μαζί με τον Βάιτσεκερ] την απόλυτη πεποίθηση σου ότι η Γερμανία θα κερδίσει τον πόλεμο, και ότι ήταν παράλογο να έχουμε ελπίδες για μια διαφορετική έκβαση του πολέμου και να μην ανταποκρινόμαστε στις προτάσεις της Γερμανίας για συνεργασία. Θυμάμαι επίσης καθαρά ότι μου έδωσες την σαφή εντύπωση, παρά τον αόριστο τρόπο σου, ότι κάτω από την ηγεσία σου, γινόντουσαν τα πάντα στην Γερμανία για την εξέλιξη των ατομικών όπλων, και είπες πως δεν υπήρχε λόγος να συζητάμε για λεπτομέρειες αφού τις γνώριζες καλά, και πως τα τελευταία δύο χρόνια εργαζόσουν σχεδόν αποκλειστικά πάνω σε αυτά τα θέματα. Άκουγα τα όσα είχες να μου πεις χωρίς να μιλώ, αφού διακυβευόταν κάτι το πολύ σημαντικό, και παρά την προσωπική μας φιλία, έπρεπε να θεωρούμε τους εαυτούς μας σαν τους αντιπροσώπους δύο πλευρών που είχαν εμπλακεί σε μια θανάσιμη μάχη. Το ότι η σιωπή μου, όπως γράφεις, μπορεί να θεωρηθεί ως έκφραση του σοκ που έπαθα όταν άκουσα την έκθεσή σου [για την βόμβα] είναι μια περίεργη παρεξήγηση, που θα οφείλεται μάλλον στην μεγάλη ένταση που είχες. Από την ημέρα, πριν τρία χρόνια [από τη συνάντησή], που συνειδητοποίησα ότι τα βραδέα νετρόνια μπορούν να παράγουν διάσπαση μόνο στο ουράνιο 235 και όχι στο ουράνιο 238, ήταν για μένα προφανές ότι ήταν δυνατή η παραγωγή μιας ισχυρής βόμβας, από τον διαχωρισμό των ουρανίων. Τον Ιούνιο του 1939 είχα δώσει μια δημόσια διάλεξη στο Μπέρμπινγχαμ, σχετικά με την διάσπαση του ουρανίου, όπου και μίλησα για τα αποτελέσματα μιας τέτοιας βόμβας, αλλά, βεβαίως, πρόσθεσα πως οι τεχνικές προετοιμασίες θα ήταν τόσο απαιτητικές ώστε να μην γνωρίζει κανείς πόσο σύντομα θα μπορούσαν να ολοκληρωθούν. Αν κάτι στην συμπεριφορά μου θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως σοκ, δεν ήταν αποτέλεσμα αυτών που μου εξέθεσες [για την κατασκευή της βόμβας] όσο το γεγονός ότι η Γερμανία προσπαθούσε ενεργά να αποκτήσει πρώτη ατομικά όπλα. Επιπροσθέτως, εκείνη την εποχή δεν γνώριζα τίποτα για το πόσο είχαν προχωρήσει στην Αγγλία και την Αμερική, τα έμαθα τον επόμενο χρόνο όταν κατάφερα να πάω στην Αγγλία μετά την ειδοποίηση που έλαβα ότι τα Γερμανικά στρατεύματα κατοχής στην Δανία είχαν προετοιμάσει τη σύλ-*

*ληψη μου. Όλα αυτά αποτελούν μια απόδοση όσων θυμάμαι με σαφήνεια από την συνομιλία μας, η οποία στη συνέχεια έγινε αντικείμενο συζήτησης στο Ινστιτούτο και με άλλους έμπιστους φίλους στη Δανία....»*

Είναι σαφές ότι στις επιστολές αυτές έχουμε δύο διαφορετικές εκδοχές του ίδιου γεγονότος. Παρά τη διαβεβαίωση και των δύο ότι θυμούνται με σαφήνεια τα όσα ειπώθηκαν, οι μνήμες έχουν προφανώς εξασθενήσει. Αλλά το πρόβλημα δεν είναι μόνον οι μνήμες. Είναι η διαφορετική κατανόηση των λέξεων που λέχθηκαν, τα μηνύματα που αφέθηκαν να διαφανούν χωρίς ποτέ να εκφραστούν με ακριβή τρόπο και ερμηνεύτηκαν διαφορετικά, οι κινήσεις που έγιναν και που ενδεχομένως κανείς δεν πρόσεξε ή και αν πρόσεξε δεν κατέγραψε ή και αν κατέγραψε δεν τις ερμήνευσε σωστά, οι ματιές που ανταλλάχθηκαν, τα χαμόγελα που πάγωσαν, οι σιωπές που αγνοήθηκαν. Με άλλα λόγια, η συνάντηση του Μπορ με τον Χάιζενμπεργκ στην κατεχόμενη από τα γερμανικά στρατεύματα Κοπεγχάγη του 1941, περιέχει και όλα εκείνα τα στοιχεία των συναντήσεων ανάμεσα σε ανθρώπους που χάνονται για πάντα. Οι ιστορικοί καταφέρνουν, συχνά, να ανασυγκροτήσουν ένα μικρό κομμάτι. Ο Φρέιν καταφέρνει κάτι διαφορετικό και –ενδεχομένως– πολύ πιο γοητευτικό.

