

ΣΤΕΦΑΝΟΣ Λ. ΤΡΑΧΑΝΑΣ

*Μεγάλη επιστήμη  
ενδιαφέρουσες ζωές*

ΟΙ ΠΡΩΤΑΓΩΝΙΣΤΕΣ ΤΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ

*έκδοση εκτός εμπορίου*



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ

*Ιδρυτική δωρεά Παγκρητικής Ενώσεως Αμερικής*

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2014

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ

Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας

Ηράκλειο Κρήτης; Νικ. Πλαστήρα 100, Βασιλικά Βουτών, 700 13

Τηλ. 2810 391097, Fax: 2810 391085

Αθήνα: Κλεισόβης 3, 106 77

Τηλ. 210 3849020, Fax: 210 3301583

[info@cup.gr](mailto:info@cup.gr)

[www.cup.gr](http://www.cup.gr)

© ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ & ΣΤΕΦΑΝΟΣ Α. ΤΡΑΧΑΝΑΣ

*παραγωγή* ΑΛΦΑΒΗΤΟ

*σχεδιασμός εξωφύλλου* Ιφιγένεια Βασιλείου

*Πρώτη έκδοση* Δεκέμβριος 2014

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

*Πρόλογος*

7

MAX PLANCK

11

ALBERT EINSTEIN

15

ERNEST RUTHERFORD

23

NIELS BOHR

25

ARTHUR COMPTON

33

LOUIS DE BROGLIE

35

ERWIN SCHRÖDINGER

39

MAX BORN

43

WERNER HEISENBERG

45

WOLFGANG PAULI

53

PAUL DIRAC

59

ENRICO FERMI

67

## Πρόλογος

Τι είδους απαίτηση θα πρέπει να έχει κανείς από μια συλλογή κειμένων που γράφτηκαν για να προσφερθούν ως δώρο; Να είναι ένα «βιβλιαράκι» μόνο για φίλους; Νομίζω τη μέγιστη δυνατή. Ό,τι απαιτεί κανείς από ένα δώρο: Να έχουν γραφτεί με πραγματική αγάπη. Ο συγγραφέας τους να τα έκανε δώρο στον εαυτό του πρώτ' απ' όλα. Ανεξάρτητα από το αποτέλεσμα –που δεν θα το κρίνει ο συντάκτης τους– κάπως έτσι γράφθηκαν τούτα τα κείμενα. Για να αποτελέσουν μέρος της «Βιβλιοθήκης» ενός ειδικού διαδικτυακού βιβλίου κβαντικής φυσικής που κι αυτό γράφτηκε για να προσφέρεται δωρεάν. Να είναι ελεύθερα προσβάσιμο από διαδικτυακούς φοιτητές που παρακολουθούν ένα αντίστοιχο διαδικτυακό μάθημα. Όπου η «Βιβλιοθήκη» σχεδιάστηκε να είναι εκείνο το ξεχωριστό μέρος αυτού του ηλεκτρονικού βιβλίου που ούτε διδάσκεται ούτε εξετάζεται. Αλλά απευθύνεται σ' εκείνους τους φοιτητές –τους «επιζώντες» του εκπαιδευτικού μας συστήματος– που

θα 'θελαν να μάθουν κάτι πέρα από κάθε εξεταστική σκοπιμότητα: Αποκλειστικά για τη δική τους ολοκλήρωση ως σκεπτόμενων ανθρώπων και πολιτών.

Αν όμως τα «*πορτραίτα*» των πρωταγωνιστών της κβαντικής επανάστασης –αυτά ήταν τα βασικά κείμενα της «Βιβλιοθήκης»– ήταν ένα «καλό δώρο» για τους φοιτητές μου ως σκεπτόμενους πολίτες, γιατί να μην είναι και για κάποιους από τους αγαπητούς φίλους των Πανεπιστημιακών Εκδόσεων Κρήτης; Με αφορμή και τη συμπλήρωση μόλις τούτο το μήνα τριάντα χρόνων από την ίδρυσή τους; Και κάπως έτσι προέκυψε τούτο το «βιβλιράκι».

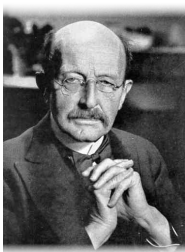
Εννοείται ότι τα βασικά βιογραφικά *στοιχεία* που δίνονται στα κείμενα που ακολουθούν δεν διεκδικούν πρωτοτυπία. Τα περισσότερα ανευρίσκονται εύκολα στο διαδίκτυο –π.χ. στη Wikipedia– ή στις κλασικές σχετικές βιογραφίες. Πρωτοτυπία –αν μπορεί να χαρακτηριστεί έτσι– υπάρχει μόνο στην επιλογή και τη σύνθεση αυτών των στοιχείων καθώς και στην αξιολόγηση της σημασίας που είχε η επιστημονική συμβολή του καθενός από τους πρωταγωνιστές της κβαντικής επανάστασης στην τελική μορφή του κβαντικού οικοδομήματος. Πάνω απ' όλα όμως είχε ενδιαφέρον να αναδειχθεί –κυρίως μέσα από τις βιογραφίες των Αϊνστάιν, Μπορ, Χάιζενμπεργκ και Φέρμι– το κλίμα μιας ταραγμένης εποχής καθώς και τα ακραία ηθικά διλήμματα που αυτή η ομάδα ανθρώπων –όσο καμιά άλλη στην ιστορία μέχρι τότε– κλήθηκε να αντιμετωπίσει. Ηθικά διλήμματα –όπως η χρήση ή μη πυρηνικών όπλων– χωρίς προηγούμενο στην ιστορία του είδους μας. Γραμμένες ως *λήμματα εγκυκλοπαίδειας*,

οι βιογραφίες αυτές σκοπεύουν λοιπόν, εκτός των άλλων, να φωτίσουν και τη σχέση της επιστήμης με τον πολιτισμό μας όχι με γενικούς κοινωνιολογικούς όρους αλλά μέσα από τις ίδιες τις ζωές των ανθρώπων που κάνουν επιστήμη. Για λόγους πληρότητας συμπεριλάβαμε στις βιογραφίες αυτές και κάποιες επιστημονικές συμβολές του βιογραφούμενου που το περιεχόμενό τους δεν αναμένεται να είναι πάντα κατανοητό από τους περισσότερους αναγώστες των «πορτραίτων». Η συμβουλή είναι απλή σ' αυτές τις περιπτώσεις. Απλώς προσπεράστε –ή διαβάστε διαγώνια– το «τεχνικό» τμήμα της βιογραφίας, και προχωρήστε στο δεύτερο και κύριο μέρος της, όπου παρουσιάζεται η... κανονική ζωή του συγκεκριμένου επιστήμονα. Σημειώστε, τέλος, ότι η παράθεση των «πορτραίτων» ακολουθεί τη χρονολογική σειρά που αντιστοιχεί στην πρώτη σημαντική συμβολή του βιογραφούμενου στην οικοδόμηση της κβαντικής θεωρίας.

*Ηράκλειο, Δεκέμβριος 2014*

# MAX PLANCK

(1858-1947)



Γερμανός θεωρητικός φυσικός με μοναδική θέση στην ιστορία της επιστήμης ως ο άνθρωπος που εισήγαγε για πρώτη φορά –το 1900– την έννοια του *φωτεινού κβάντου* και μέσω αυτής την περίφημη *σταθερά του Πλανκ* επί της οποίας στηρίζεται όλο το κβαντικό οικοδόμημα.

Γεννήθηκε στο Κίελο από ευκατάστατη «πανεπιστημιακή» οικογένεια –ο πατέρας του ήταν καθηγητής νομικής ενώ ο παππούς και ο προπάππος του καθηγητές θεολογίας– και αυτή την παράδοση συνέχισε και ο νεαρός Μαξιμιλιανός –ή απλώς Μαξ, όπως ο ίδιος υπέγραφε– στρεφόμενος όμως προς τις φυσικές επιστήμες παρά τις αντίθετες συμβουλές πανεπιστημιακού καθηγητή φυσικής –γνωστού της οικογένειάς του– ότι «τίποτε ενδιαφέρον δεν έμενε πλέον να ανακαλυφθεί σ’ αυτή την επιστήμη»! Στην πραγματικότητα το μόνο δίλημμα για τον νεαρό Πλανκ ήταν μεταξύ φυσικής και μουσικής, στην οποία φαίνεται

να είχε ένα ξεχωριστό χάρισμα. Έπαιζε πιάνο, τσέλο και αρμόνιο ενώ συνέθετε επίσης τραγούδια και όπερες.

Η μεγάλη του αγάπη στη φυσική ήταν η κλασική *θερμοδυναμική* ενώ δεν έκρυβε την απέχθειά του προς τη στατιστική μηχανική και την κινητική θεωρία των αερίων που βασιζόταν στην ατομική δομή της ύλης. Ξεκίνησε να ασχολείται με τη θερμική ακτινοβολία των σωμάτων το 1894, όταν οι ηλεκτρικές εταιρείες άρχισαν να ενδιαφέρονται ενεργά για λαμπτήρες μέγιστης απόδοσης σε φως για δεδομένη ισχύ. Πρότεινε τον εμπειρικό τύπο που φέρει το όνομά του το 1899, ενώ λίγο μετά –Οκτώβριος του 1900– ήρθε η ανακοίνωση για την *υπόθεση του φωτεινού κβάντου*. Ότι δηλαδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία –άρα και το φως– δεν έχει τον συνεχή χαρακτήρα που προέβλεπε η κλασική φυσική, αλλά αποτελείται από μικροσκοπικά *αδιάκριτα «πακέτα» ενέργειας*, ή *κβάντα*. Αυτά που αποκαλούμε σήμερα *φωτόνια*. Μια υπόθεση την οποία ο ίδιος ο Πλανκ χαρακτήρισε ως μια «πράξη απελπισίας» αντίθετη με όλες τις μέχρι τότε απόψεις και πεποιθήσεις του για τη φυσική. Γι' αυτό και αφιέρωσε ένα μεγάλο μέρος από τη μετέπειτα ζωή του για να εξηγήσει το «καταραμένο κβάντο» με καθαρά κλασικούς όρους. Εν τούτοις το κβάντο θα παραμείνει στη φυσική ως μία από τις θεμελιωδέστερες ανακαλύψεις όλων των εποχών. Και ο Πλανκ θα τιμηθεί γι' αυτό με το βραβείο Νομπέλ του 1918.

Αν και άνθρωπος συντηρητικών αρχών χωρίς ισχυρές πολιτικές πεποιθήσεις, δεν μπόρεσε να μείνει αδιάφορος στην «εισβολή» των ναζί στον ακαδημαϊκό χώρο και ιδιαίτερα στην προσπάθεια ναζιστών συναδέλφων του όπως του Σταρκ (του



γνωστού από το ομώνυμο φαινόμενο) να επανιδρύσουν τη φυσική σε φυλετικές βάσεις! Να θεμελιώσουν τη *Φυσική των Αρείων*! Ο Σταρκ κατηγορήσε τον Πλανκ, τον Ζόμερφελντ και τον Χάιζενμπεργκ ως «λευκούς εβραίους» διότι δίδασκαν τυπικές εβραϊκές θεωρίες όπως τη... *θεωρία της σχετικότητας*! Υποκινήθηκε μάλιστα και σχετική έρευνα από το... αρμόδιο «ναζιστικό γραφείο για την επιστήμη» το οποίο μελέτησε σε... βάθος την καταγωγή του Πλανκ και απέδειξε ότι ήταν εβραίος κατά το 1/16!

Οι αλληπάλληλες απώλειες αγαπητών προσώπων ήταν το κύριο χαρακτηριστικό της προσωπικής ζωής του Μαξ Πλανκ. Ο μεγαλύτερος γιος του σκοτώθηκε στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, ο δεύτερος πέθανε στα χέρια της Γκεστάπο ανακρινόμενος για συμμετοχή στο αποτυχόν πραξικόπημα κατά του Χίτλερ, ενώ έχασε επίσης πολύ νωρίς τη γυναίκα του και τις δύο κόρες του στη διάρκεια της εγκυμοσύνης τους.

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η γερμανική κυβέρνηση ίδρυσε προς τιμήν του το *Ίδρυμα* (ή *Εταιρεία*) *Μαξ Πλανκ* το οποίο καλύπτει ένα ευρύ φάσμα επιστημών και θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα ερευνητικά ιδρύματα στον κόσμο με 17 βραβεία Νομπέλ στο ενεργητικό του.

# ALBERT EINSTEIN

(1879-1955)



Αναμφίβολα ο μεγαλύτερος επιστήμονας του εικοστού αιώνα και ένας από τους μεγαλύτερους όλων των εποχών. Μέσα σ' ένα και μόνο θαυματουργό έτος –το 1905– έκανε τρεις ανακαλύψεις που κάθε μία από μόνη της θα αρκούσε για να τον ανεβάσει στον... Όλυμπο. Και έκανε τρεις. Διατύπωσε τη *θεωρία της σχετικότητας* –μια επαναστατική ρήξη με την κλασική φυσική–, έδωσε την *κβαντομηχανική εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου* –εδραιώνοντας έτσι την ιδέα του φωτεινού κβάντου που είχε σχεδόν ξεχαστεί μετά την αρχική δουλειά του Πλανκ– και, τέλος, περιέγραψε θεωρητικά την λεγόμενη *κίνηση Μπράουν* μέσω της οποίας έγινε για πρώτη φορά δυνατή η άμεση παρατήρηση της άτακτης θερμικής κίνησης των μορίων ενός υγρού μέσου – άρα και των μορίων των ίδιων. Η δεύτερη μεγάλη χρονιά για τον Αϊνστάιν ήταν το 1916, όταν διατύπωσε τη *γενική θεωρία της σχετικότητας* –δηλαδή μια σχετικιστική

θεωρία της βαρύτητας βασισμένη στην ιδέα ότι το βαρυτικό πεδίο εκδηλώνεται ως «καμπύλωση» της γεωμετρίας του χωρόχρονου– και έθεσε τις βάσεις της *σύγχρονης κοσμολογίας*.

Ο Αϊνστάιν ήταν επίσης εκείνος που έθεσε –το 1924– τις βάσεις της στατιστικής μηχανικής των σωματιδίων με ακέραιο σπιν –με το *φωτονικό αέριο* ως πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα– απ’ όπου και οι ονομασίες *στατιστική Μπόζε-Αϊνστάιν* και *συμπύκνωμα Μπόζε-Αϊνστάιν*. Προς τιμήν, βεβαίως, και του Ινδού φυσικού Σ. Μπόζε που είχε πρώτος τη βασική ιδέα.

Στον κατάλογο των θεμελιωδών συμβολών του Αϊνστάιν στην επιστήμη, θα πρέπει να συμπεριλάβουμε και το περίφημο *παράδοξο EPR* (Einstein-Podolsky-Rosen paradox) το οποίο διατυπώθηκε το 1935 για να καταδείξει –και σχεδόν τα κατάφερε– ότι η «επίσημη κβαντομηχανική» είναι εγγενώς αντιφατική και επομένως δεν μπορεί να θεωρείται ως μια θεμελιώδης θεωρία της φύσης. Αργά ή γρήγορα θα αντικατασταθεί από μια *αληθώς θεμελιώδη θεωρία* στο πλαίσιο της οποίας οι κβαντικές πιθανότητες δεν θα έχουν θέση. Η τελική θεωρία της φύσης –αυτό πίστευε ο Αϊνστάιν– θα είναι *απολύτως αιτιοκρατική*. Ο Θεός δεν μπορεί να παίζει ζάρια με τον κόσμο. Αν και τελικά αποδείχτηκε (με το πείραμα του Άσπεκτ το 1982) ότι ο Αϊνστάιν δεν είχε δίκιο –ο Θεός πράγματι παίζει ζάρια με τον κόσμο–, εν τούτοις το παράδοξο EPR που επινόησε, και οι κβαντικές καταστάσεις που το πραγματώνουν, αποδείχτηκαν θεμελιώδους σημασίας για την κβαντική μηχανική. Αποτελούν πρότυπη περίπτωση της λεγόμενης *κβαντικής σύμπλεξης* (quantum entanglement) και βρίσκονται σήμερα στο επίκεν-

τρο μιας σφύζουσας ερευνητικής δραστηριότητας πάνω στα θεμέλια της κβαντομηχανικής και στο ζήτημα των κβαντικών υπολογιστών. Η αδιαφιλονίκητη πλέον ερμηνεία της κβαντομηχανικής – η περίφημη *σχολή της Κοπεγχάγης*– βρήκε στο πρόσωπο του Αϊνστάιν τον *ιδανικό αντίπαλο*. Έναν άνθρωπο που η οξυδέρκεια και το βάθος της κριτικής του έπαιξαν κρίσιμο ρόλο στην τελική της διαμόρφωση αλλά και στις σημερινές ερευνητικές αναζητήσεις. Ο Αϊνστάιν ήταν πραγματικά μεγάλος ακόμα κι εκεί που είχε άδικο!

Στο ίδιο πνεύμα, δεν μπορούμε να μην αναφέρουμε δύο άλλες «αποτυχίες» του Αϊνστάιν που επίσης αποδείχτηκαν... *μεγαλειώδεις!* Η μία είναι η *προσπάθεια ενοποίησης του ηλεκτρομαγνητισμού με τη βαρύτητα* –που δεν αποδείχτηκε τότε εφικτή, βρίσκεται όμως στο επίκεντρο των σημερινών αναζητήσεων για μια ενοποιημένη θεωρία όλων των δυνάμεων– και η δεύτερη η *εισαγωγή της περίφημης κοσμολογικής σταθεράς* –αυτής που ο ίδιος ο Αϊνστάιν θα χαρακτηρίσει αργότερα ως τη *μεγαλύτερη γκάφα* της ζωής του– η οποία αποδεικνύεται σήμερα ως ο βασικός πρωταγωνιστής της εξέλιξης του τωρινού «ώριμου» σύμπαντος. Και ίσως αποδειχτεί ως η τρίτη θεμελιώδης σταθερά του σύμπαντος, δίπλα στη σταθερά του Πλανκ και την ταχύτητα του φωτός.

Περνώντας στο ολισθηρό έδαφος της... ψυχολογίας, δεν μπορούμε να μη σημειώσουμε ένα θεμελιώδες γεγονός της επιστημονικής ζωής του Αϊνστάιν που δεν έχει όμοιό του στην ιστορία. Είναι ο *ίδιος άνθρωπος* που μέσα στον *ίδιο χρόνο* –το 1905– κυριολεκτικά «λύτρωσε» την κλασική φυσική από τις

εσωτερικές της αντιφάσεις –ενοποιώντας μηχανική και ηλεκτρομαγνητισμό μέσω της σχετικότητας– και ταυτόχρονα τίναξε όλο το οικοδόμημα στον αέρα με την κβαντική ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, που αποκάλυψε με τον πιο αναμφίβολο τρόπο την ύπαρξη του φωτεινού κβάντου. Ότι δηλαδή η κλασική θεωρία του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου –όπως μας την παρέδωσε ο Μάξγουελ και την εδραίωσε σχετικιστικά ο Αϊνστάιν– πρέπει να «στηθεί» εκ νέου πάνω σε κβαντομηχανικές βάσεις. Η ιστορία θυμίζει λίγο τη... γέφυρα του ποταμού Κβαί. Μόνο που εδώ ο αρχιτέκτονας κι ο σαμποτέρ είναι το ίδιο πρόσωπο! Ο Αλβέρτος Αϊνστάιν. Η κριτική στάση του Αϊνστάιν απέναντι στην κβαντική θεωρία είναι ευεξήγητη σ' αυτό το πλαίσιο. Απ' όλους τους φυσικούς της γενιάς του ήταν ο μόνος που μπορούσε να εκτιμήσει πλήρως την απaráμιλλη εσωτερική συνοχή και ομορφιά που έδωσε στην κλασική φυσική η σχετικιστική της αναδόμηση. Εκ των υστέρων, είναι φανερό ότι την κβαντική επανάσταση θα μπορούσε να τη φέρει σε πέρας μόνο μια νεώτερη γενιά φυσικών που θα έμπαιναν στο «παιγνίδι» χωρίς τη συναισθηματική πρόσδεση στο κλασικό οικοδόμημα που βάραινε τον Αϊνστάιν. Και πράγματι η κβαντομηχανική ήταν τελικά έργο των «πιτσιρικάδων». Του Νιλς Μπορ (δημοσίευσε την κβαντική θεωρία του ατόμου του υδρογόνου στα 28 του), του Βέρνερ Χάιζενμπεργκ (ανακάλυψε τη μηχανική των μητρών στα 25 του και την αρχή της αβεβαιότητας στα 26), του Βόλφγκανγκ Πάουλι (πρότεινε τους δύο βαθμούς ελευθερίας του σπιν στα 24 του και την απαγορευτική αρχή στα 25 του) και του Πωλ Ντιράκ, που ανακάλυψε τον γενικό φορμαλισμό της

κβαντομηχανικής στα 24 και την εξίσωση Ντιράκ στα 26 του! Κι ας μην ξεχνάμε βέβαια ότι το «θαυματοργό έτος» 1905 ο ίδιος ο Αϊνστάιν ήταν 26 χρονών!

Εξίσου ενδιαφέρουσα με την επιστημονική είναι και η λοιπή ζωή του Αϊνστάιν. Γεννήθηκε στην Ουλμ της Γερμανίας από μια –μάλλον άτυπη– εβραϊκή οικογένεια. Ο πατέρας του –μαζί με τον θείο του– λειτουργούσε ένα μικρό εργοστάσιο ηλεκτρικών συσκευών συνεχούς ρεύματος, το οποίο όμως έκλεισε το 1894 λόγω της επικράτησης του εναλλασσόμενου ρεύματος, και η οικογένεια μετακόμισε στην Ιταλία. Μη όντας οι ίδιοι θρησκευόμενοι εβραίοι, οι γονείς του Αϊνστάιν μεγάλωσαν τον νεαρό Αλβέρτο σ' ένα πνεύμα ανεξιθρησκίας –με στοιχεία αγνωστικισμού– τα οποία χαρακτήριζαν τελικά και τον ίδιο τον Αϊνστάιν στην ενήλικη ζωή του.

Τέλειωσε το πολυτεχνείο της Ζυρίχης το 1901 και ύστερα από δύο χρόνια μάταιης αναζήτησης βρήκε δουλειά στο γραφείο ευρεσιτεχνιών της Ζυρίχης με αντικείμενο εργασίας, μεταξύ άλλων, την εξέταση ηλεκτρομηχανικών μεθόδων συγχρονισμού ρολογιών σε απομακρυσμένες πόλεις. Ένα πρόβλημα που έθεταν τότε επιτακτικά οι εταιρείες σιδηροδρόμων προκειμένου να ρυθμίζουν με... ελβετική ακρίβεια τα δρομολόγια των τραίνων. Και οι ιστορικοί της επιστήμης συμφωνούν σήμερα ότι η ενασχόληση μ' αυτό το πρόβλημα «έσπρωξε» το μυαλό του νεαρού υπαλλήλου προς το κατ' εξοχήν ερώτημα της ειδικής σχετικότητας. Το πρόβλημα του συγχρονισμού των ρολογιών. Με τη γνωστή απροσδόκητη απάντηση· ο συγχρονισμός των

ρολογιών είναι σχετικός. Δυο ρολόγια συγχρονισμένα ως προς έναν παρατηρητή παύουν να φαίνονται συγχρονισμένα από κάποιον άλλο που κινείται ως προς τον πρώτο.

Η άνοδος του Χίτλερ στην εξουσία το 1933 θα βρει τον Αϊνστάιν –καθηγητή πλέον στο Βερολίνο– σε επιστημονικό ταξίδι στο εξωτερικό απ' όπου και αποφασίζει να μην επιστρέψει. Εγκαθίσταται στο Πρίνστον –στο Ινστιτούτο Προχωρημένων Σπουδών– και γίνεται αμερικανός πολίτης το 1940. Κατά τη διάρκεια του πολέμου, χρησιμοποίησε το κύρος του για να πείσει τον πρόεδρο Ρούσβελτ για την αναγκαιότητα ενός αμερικανικού πυρηνικού προγράμματος, θεωρώντας βέβαιο ότι η γερμανική πλευρά το είχε ήδη ξεκινήσει. Όμως μετά τον πόλεμο μεταστράφηκε σε μαχητικό ειρηνιστή και πολέμιο των πυρηνικών εξοπλισμών, υπογράφοντας ένα σχετικό *μανιφέστο* μαζί με τον φιλόσοφο Μπέρτραντ Ράσελ. Το 1952 ο ισραηλινός πρωθυπουργός Μπεν Γκουριόν πρόσφερε στον Αϊνστάιν τη θέση του προέδρου της χώρας του την οποία όμως ο Αϊνστάιν αρνήθηκε. Στις Ηνωμένες Πολιτείες έγινε μέλος της εθνικής οργάνωσης για τα δικαιώματα των εγχρώμων και διατηρούσε αλληλογραφία με ηγετικά στελέχη του κινήματος. Σε αντίθεση με τους περισσότερους φυσικούς της εποχής του, που δεν εκδήλωναν δημόσια τις πολιτικές ή θρησκευτικές τους πεποιθήσεις, ο Αϊνστάιν δεν έκρυβε την προτίμησή του προς τις σοσιαλιστικές ιδέες –το σοσιαλιστικό κίνημα ήταν τότε πολύ ισχυρό και μέσα στο Ισραήλ– ενώ τα θρησκευτικά του πιστεύω κυμαίνονταν μεταξύ αγνωστικισμού και μιας απρόσωπης θεϊκής οντότητας χωρίς παρεμβατικό ρόλο στα ανθρώπινα.

Μια κορυφαία στιγμή στη ζωή του Αϊνστάιν ήταν το 1919, όταν –στη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης ηλίου– μια βρετανική επιστημονική ομάδα υπό τον Άρθουρ Έντινγκτον επιβεβαίωσε τη σχετικιστική πρόβλεψη ότι οι φωτεινές ακτίνες που φτάνουν σε μας από μακρινά άστρα θα πρέπει να κάμπτονται περνώντας δίπλα από τον ήλιο υπό την επίδραση του βαρυτικού του πεδίου. Ο κύριος τίτλος των *Times* του Λονδίνου της 7ης Νοεμβρίου 1919 ήταν χαρακτηριστικός: «Επανάσταση στην επιστήμη – Νέα θεωρία για το Σύμπαν – Οι νευτώνειες ιδέες ανατρέπονται». Εν τούτοις το βραβείο Νομπέλ το 1921 δόθηκε στον Αϊνστάιν όχι για τη θεωρία της σχετικότητας αλλά για το... φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Πέθανε από ανεύρυσμα της αορτής, το 1955, και –σύμφωνα με την επιθυμία του– το σώμα του κήκε και οι στάχτες σκορπίστηκαν στον άνεμο. Gone with the wind.





# ERNEST RUTHERFORD

(1871-1937)



Βρετανός φυσικός –καταγόμενος από τη Νέα Ζηλανδία– γνωστός για το ομώνυμο πείραμα που τεκμηρίωσε τη δομή του ατόμου ως πλανητικού συστήματος με έναν μικροσκοπικό πυρήνα στο κέντρο του και τα ηλεκτρόνια να περιφέρονται γύρω απ’ αυτόν σε αποστάσεις εκατό χιλιάδες φορές μεγαλύτερες από την πυρηνική ακτίνα. Το πείραμα του Ράδερφορντ το 1911 –μια λεπτή δέσμη σωματιδίων άλφα υψηλής ενέργειας να «χτυπάει» ένα φύλλο χρυσού και να σκεδάζεται απ’ αυτό– θεωρείται σήμερα το «ιδρυτικό πείραμα» της *φυσικής υψηλών ενεργειών*, ενός θεμελιώδους κλάδου της σύγχρονης φυσικής που μας αποκάλυψε διαδοχικά όλες τις μικροσκοπικές δομές της ύλης και τα σωματίδια που τις αποτελούν. Με πρόσφατη κορύφωση την ανακάλυψη του σωματιδίου Χιγκς στο πείραμα του CERN. Ο Ράδερφορντ ήταν επίσης ο πρώτος που προκάλεσε διάσπαση του πυρήνα με σύγκρουση σωματιδίων άλφα με

πυρήνες αζώτου, η οποία παράγει πυρήνες υδρογόνου –δηλαδή *πρωτόνια*– μεταξύ άλλων. Πριν το περίφημο πείραμά του στο Μάντσεστερ το 1911 –και ενώ εργαζόταν ακόμα στο πανεπιστήμιο Μακ Γκιλ του Καναδά– ο Ράδερφορντ είχε ήδη τιμηθεί με το βραβείο Νομπέλ το 1908, για τις πρωτοποριακές του έρευνες στον ραδιενεργό μετασχηματισμό των πυρήνων και στην απομόνωση των ακτινοβολιών *άλφα* και *βήτα* (πυρήνες ηλίου και ηλεκτρόνια, αντίστοιχα). Σε αναγνώριση της θεμελιώδους συμβολής του στην επιστήμη τάφηκε στο αβαείο του Γουέστμινστερ κοντά στον Ισαάκ Νεύτωνα, ενώ το υπ' αριθμόν 104 χημικό στοιχείο πήρε το όνομά του το 1997.

Όχι αδικαιολόγητα, ο Ράδερφορντ είχε πλήρη συναίσθηση ότι το είδος της φυσικής την οποία θεμελίωσε και εκπροσώπωσε ήταν ό,τι υψηλότερο είχε δημιουργήσει ο άνθρωπος μέχρι τότε και δεν δίσταζε να το εκφράζει δημόσια. Έχει μείνει περίφημη η φράση του: «Η επιστήμη είτε είναι *φυσική* είτε *συλλογή γραμματισμών*». Όμως από ειρωνεία της τύχης το βραβείο Νομπέλ με το οποίο τιμήθηκε το 1908 δεν ήταν εκείνο της φυσικής, αλλά της... χημείας!

# NIELS BOHR

(1885-1962)



Δανός φυσικός με θεμελιώδη συμβολή στην ανακάλυψη και ερμηνεία των κβαντικών νόμων που κυβερνούν τον ατομικό μικρόκοσμο. Ο Μπορ είναι ο πρώτος που είδε το πρόβλημα της ατομικής σταθερότητας ως *το κεντρικό μυστήριο του μικρόκοσμου* και συνειδητοποίησε ότι η μόνη παραδοχή που θα μπορούσε να το εξηγήσει ήταν *η παραδοχή της κβάντωσης*. Ότι δηλαδή τα ατομικά ηλεκτρόνια μπορούν να υπάρχουν μόνο σ' ένα *διάκριτο σύνολο ενεργειακών καταστάσεων* και ότι η μετάβαση από τη μία στην άλλη είναι δυνατή μόνο με *κβαντικά άλματα*. Οι βαθμιαίες αλλαγές στην κατάσταση των ατόμων είναι επομένως αδύνατες, και η αλλαγή τους υπό την επίδραση των αμοιβαίων κρούσεων είναι δυνατή μόνο υπό τον όρο ότι η προσφερόμενη «κρουστική ενέργεια» είναι μεγαλύτερη από την ενεργειακή διαφορά που χωρίζει τη βασική κατάσταση του ατόμου από την αμέσως επόμενη. Το οποίο όμως δεν συμβαίνει –οι θερμικές ενέργειες σε

θερμοκρασία δωματίου είναι κατά δύο τάξεις μεγέθους μικρότερες από τις ενεργειακές διαφορές μεταξύ ατομικών καταστάσεων— οπότε τα άτομα συμπεριφέρονται υπό την επίδραση των θερμικών τους κρούσεων ως συμπαγείς και αδιαίρετοι κόκκοι ύλης. Ενώ είναι τελείως κούφια! Η κατανόηση της κβάντωσης ως του θεμελιώδους μηχανισμού για την εξήγηση του μυστηρίου της ατομικής σταθερότητας αποτελεί την κατ' εξοχήν συμβολή του Μπορ στην ατομική φυσική και επίσης ακρογωνιαίο λίθο όλου του κβαντικού οικοδομήματος. Ειδικότερα, για το άτομο του υδρογόνου ο Μπορ κατάφερε, το 1913, να συναγάγει όλα τα παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά του—μέγεθος, έργο ιοντισμού, φασματικές γραμμές— με την απλούστατη παραδοχή ότι «επιτρέπονται μόνο εκείνες οι (κυκλικές) τροχιές για τις οποίες η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της σταθεράς του Πλανκ». Και παρότι αυτή η θεωρία αποδείχτηκε μη εφαρμόσιμη στα βαρύτερα άτομα, εν τούτοις λειτούργησε ως το ιδανικό εφιαλτήριο που επέτρεψε στις κβαντικές ιδέες να εδραιωθούν αρχικά και να «εκτοξευθούν» αργότερα στο υψηλότερο επίπεδο μιας πλήρους θεωρίας με βάση την εξίσωση του Σρέντινγκερ. Για τη δουλειά του στο άτομο του υδρογόνου, ο Μπορ τιμήθηκε το 1922 με το βραβείο Νομπέλ φυσικής.

Όμως ο Μπορ υπήρξε επίσης η καθοριστική μορφή στη διαμόρφωση της σύγχρονης κβαντομηχανικής και κυρίως της φυσικής της ερμηνείας, γνωστής σήμερα ως *n* *σχολή της Κοπεγχάγης*. Το ινστιτούτο που ίδρυσε προς τιμήν του η δανική κυβέρνηση στην Κοπεγχάγη—με χρηματοδότηση από την εταιρεία Carlsberg— λειτούργησε ως *το στρατηγείο της κβαντικής*

επανάστασης με αδιαφιλονίκητο «στρατηγό» τον ίδιο τον Μπορ.

Όλοι οι πρωταγωνιστές αυτής της «ηρωικής εποχής» –ο Χάιζενμπεργκ, ο Σρέντινγκερ, ο Πάουλι, ο Ντιράκ και πολλοί άλλοι– περνούσαν τακτικά από την Κοπεγχάγη για συζητήσεις με τον Μπορ πάνω στα θεμελιώδη ζητήματα που έφερε στην επιφάνεια η πιθανοκρατική ερμηνεία των υλικών κυμάτων και η συναφής με αυτήν αρχή της απροσδιοριστίας. Σε αντίθεση με τον Αϊνστάιν που πολέμησε με πάθος την πιθανοκρατική ερμηνεία –είναι πασίγνωστη η φράση του «ο Θεός δεν παίζει ζάρια με τον κόσμο»– ο Μπορ υπήρξε ο κατ' εξοχήν εκφραστής και υπερασπιστής της. Σύμφωνα με τον Μπορ, ο πιθανοκρατικός χαρακτήρας των κβαντικών νόμων δεν είναι προϊόν ατελούς γνώσης, όπως ισχυριζόταν ο Αϊνστάιν, αλλά ένα θεμελιώδες, και μη περαιτέρω εξηγήσιμο, χαρακτηριστικό της φύσης στο μικροσκοπικό επίπεδο. Η επιστημονική διαμάχη ανάμεσα στους δύο άνδρες έφτασε στην κορύφωσή της το 1927 στο περίφημο συνέδριο του Σολβαί στις Βρυξέλλες που θεωρείται το σημαντικότερο επιστημονικό συνέδριο στην ιστορία. Σ' όλη τη διάρκεια του συνεδρίου ο Αϊνστάιν δεν σταμάτησε να επινοεί *ιδιοφυή νοητικά πειράματα*, που απαιτούσαν επίσης όλη την ιδιοφυΐα του Μπορ προκειμένου να αποδειχτεί ότι δεν αναδεικνυαν αντιφάσεις της κβαντικής μηχανικής –αυτή ήταν η πρόθεση του δημιουργού τους– αλλά ατελή εφαρμογή της. Έτσι, το συνέδριο του Σολβαί έληξε με πλήρη επικράτηση του Μπορ και της σχολής της Κοπεγχάγης ώστε δικαίως να θεωρείται σήμερα ως το *ιδρυτικό συνέδριο της νέας μηχανικής*.

Ο Μπορ γεννήθηκε στην Κοπεγχάγη, επίσης από ακαδημαϊκή οικογένεια όπως ο Πλανκ, ο Κόμπτον, ο Χάιζενμπεργκ και πολλοί άλλοι. Ο πατέρας του, Κρίστιαν Μπορ, ήταν καθηγητής φυσιολογίας –γνωστός για ένα φαινόμενο που φέρει το όνομά του– ενώ η παράδοση συνεχίστηκε από τον γιο του, Άαγκε Μπορ, που όχι μόνο έγινε κι αυτός φυσικός αλλά πήρε επίσης το βραβείο Νομπέλ το 1975 για τη δουλειά του στην πυρηνική φυσική. Όστε μαζί με τον πατέρα του να αποτελούν το δεύτερο τέτοιο παράδειγμα στην ιστορία του βραβείου. Εξέχουσα ακαδημαϊκή καριέρα είχε επίσης ο αδελφός τού Μπορ, ο Χάραλντ Μπορ –γνωστός για τη δουλειά του στις αποκαλούμενες *σχεδόν περιοδικές συναρτήσεις*–, που ήταν όμως εξίσου γνωστός και ως βασικός παίκτης της εθνικής ποδοσφαιρικής ομάδας της Δανίας την οποία οδήγησε –επιτυγχάνοντας *δύο γκολ*– μέχρι το αργυρό μετάλλιο στους Ολυμπιακούς Αγώνες του 1908. Ποδοσφαιρικό ταλέντο ήταν και ο ίδιος ο Νιλς –στη θέση του τερματοφύλακα– έτσι ώστε ένα άλλο... οικογενειακό ρεκόρ να είναι ότι τα δύο αδέλφια έπαιξαν μαζί για μία σεζόν του εθνικού πρωταθλήματος της χώρας! Στα οικογενειακά... ρεκόρ συγκαταλέγεται επίσης η συμμετοχή του Χάραλντ στον αγώνα Δανίας-Γαλλίας που έληξε με σκορ 17-1! Το μεγαλύτερο όλων των εποχών!

Οι επιδόσεις του Νιλς Μπορ στην τεχνική ορειβασία ήταν επίσης αξιοθαύμαστες. Έκπληκτος ένας αστυνομικός της Κοπεγχάγης σε νυχτερινή περιπολία του είδε ξαφνικά τον διάσημο καθηγητή Μπορ σκαρφαλωμένο στον τοίχο ενός τραπεζικού καταστήματος να εξηγεί στην υπόλοιπη παρέα των φυσικών

του ινσιτιούτου πόσο εύκολο είναι να ληστέψει κανείς μία... τράπεζα!

Πασίγνωστη στους επισκέπτες του ινσιτιούτου ήταν ακόμα η χαλαρή και εγκάρδια ατμόσφαιρα που δημιουργούσε ο οικοδεσπότης τους, το μοναδικό χιούμορ του και η αγάπη του για τα... γουέστερν. Σχολιάζοντας τα απίθανα περιστατικά που συνήθως συμβαίνουν στις σχετικές ταινίες φέρεται να έχει πει κάποτε στους φίλους του: «Δεν είναι πολύ πιθανόν να συμβεί κάτι τέτοιο, λέει, αλλά δεν είναι και τελείως αδύνατον να δεις ξαφνικά μια όμορφη κοπέλα πάνω στο άλογό της στο πιο απόκρημνο μονοπάτι ενός βουνού στη μέση της ερήμου. Δεν είναι πιθανόν αλλά γίνεται. Πολύ απίθανο είναι επίσης, επειδή παραπάτησε κάποια στιγμή το άλογό της, και βλέπεις την κοπέλα να πέφτει στον γκρεμό, να πιαστούν τα μαλλιά της σ' ένα δέντρο και να μείνει εκεί κρεμασμένη μέχρις ότου –λίγα δευτερόλεπτα αργότερα (!)– να εμφανιστεί ο καουμπούι της ιστορίας μας, να ρίξει το λάσο του και να σώσει την κοπέλα από βέβαιο θάνατο! Πολύ απίθανο όλα αυτά, συνεχίζει ο Μπορ, αλλά, τέλος πάντων, δεν έχουν μηδενική πιθανότητα να συμβούν! Αυτό όμως που δεν μπορώ με τίποτα να χωνέψω είναι ότι την ίδια αυτή στιγμή συμβαίνει να περνά απ' εκεί ένας τύπος με την κάμερά του και... να τραβάει τη σκηνή!»

Η σχέση του Μπορ με τον Χάιζενμπεργκ –σχέση πνευματικού πατέρα, φίλου και συνεργάτη σε μια μοναδική επιστημονική περιπέτεια– είναι μια από τις πιο ενδιαφέρουσες και δραματικές συνάμα σχέσεις στην ιστορία της επιστήμης. Ο Χάιζενμπεργκ βρισκόταν στην Κοπεγχάγη όταν συνέλαβε την αρχή της



αβεβαιότητας, ενώ το ίδιο διάστημα ο Μπορ επεξεργαζόταν μια δική του εκδοχή του ασυμβίβαστου των εννοιών σωματίδιο και κύμα, γνωστή ως *αρχή της συμπληρωματικότητας*. Ήταν όμως ήδη φανερό από τότε ότι οι επιστημονικές προσωπικότητες των δύο ανδρών είχαν αρχίσει να αποκλίνουν. Ο Μπορ είχε επιλέξει μια πιο χαλαρή-φιλοσοφική θεώρηση της κβαντικής μηχανικής, ενώ ο Χάιζενμπεργκ μια «σκληρή» θετικιστική προσέγγιση σε στενή επαφή με τα μετρήσιμα γεγονότα. Αυτό δεν θα επηρεάσει όμως σημαντικά τη σχέση των δύο ανδρών, που θα διατηρηθεί σε υψηλό επίπεδο μέχρι τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο όταν οι δύο θα βρεθούν, ερήμην τους, σε αντίπαλα στρατόπεδα. Ο Χάιζενμπεργκ θα είναι ο επικεφαλής του γερμανικού προγράμματος για τη «βόμβα», ενώ ο Μπορ θα δραπετεύσει το 1943 από την κατεχόμενη Δανία για να πάρει μέρος στο αντίστοιχο αμερικανικό πρόγραμμα, το γνωστό *σχέδιο Μανχάταν*. Τον Σεπτέμβριο του 1941 συμβαίνει όμως ένα από τα πιο «σκοτεινά» περιστατικά στην ιστορία της σχέσης των δύο ανδρών. Ο Χάιζενμπεργκ επισκέπτεται μυστικά την Κοπεγχάγη και συναντάται με τον Μπορ σε μια προσπάθεια –αυτή είναι η εκδοχή του Χάιζενμπεργκ– να έλθει σε κάποια συνεννόηση μαζί του ώστε να αποτρέψουν από κοινού την ανάπτυξη αυτού του καταστροφικού υπερόπλου και από τις δύο πλευρές. Ο Μπορ δεν μίλησε ποτέ γι' αυτή τη συνάντηση αλλά, απ' ό,τι εικάζεται, η έκβασή της ήταν μάλλον οδυνηρή και για τους δύο. Ο Χάιζενμπεργκ συνέχισε να είναι επικεφαλής του γερμανικού προγράμματος –προσπαθώντας να το στρέψει περισσότερο προς την παραγωγή ενέργειας παρά προς τη βόμβα (έτσι ισχυρίζεται ο ίδιος)– ενώ

ο Μπορ θα βρεθεί τελικά στις Ηνωμένες Πολιτείες, ως σύμβουλος του αντίστοιχου αμερικανικού προγράμματος το οποίο όμως είχε ήδη περάσει στα χέρια μιας πολύ νεώτερης γενιάς με λιγότερες ηθικές αναστολές απ' ό,τι η προηγούμενη. Απ' ό,τι έγινε αργότερα γνωστό, ο Μπορ –όπως και ο Αϊνστάιν– προσπάθησε να μεταπεισει τους Ρούσβελτ και Τσώρτσιλ για την κατασκευή της βόμβας –πρότεινε μάλιστα μια κοινή διαχείριση του προγράμματος με τους Ρώσους– με μοναδικό όμως αποτέλεσμα να θεωρηθεί ως «κίνδυνος ασφαλείας» από τον Τσώρτσιλ, όπως ο τελευταίος ανέφερε σε απόρρητη επιστολή του.

Η σχέση του Μπορ με τον Χάιζενμπεργκ –με επίκεντρο τη μυστηριώδη εκείνη συνάντησή τους στην Κοπεγχάγη το 1941– ήταν το θέμα μιας πολύ ενδιαφέρουσας θεατρικής παράστασης, με τίτλο *Κοπεγχάγη*, που ανέβηκε πριν λίγα χρόνια στις περισσότερες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες, μεταξύ αυτών και στην Αθήνα.

Το όνομα του Μπορ έχει δοθεί στο υπ' αριθμόν 107 στοιχείο του περιοδικού πίνακα, καθώς και σε έναν αστεροειδή του ηλιακού μας συστήματος. Τον Νοέμβριο του 2013 έκλεισαν 100 χρόνια από τη δημοσίευση της εργασίας του Μπορ για το άτομο του υδρογόνου. Και τα όσα ακολούθησαν –σίγουρα η μεγαλύτερη χιονοστιβάδα επιστημονικών ανακαλύψεων στην ανθρώπινη ιστορία– αποτελούν την ύψιστη τιμή για τον Νίλς Μπορ και το έργο του.



# ARTHUR COMPTON

(1892-1962)



Αμερικανός φυσικός γνωστός για το περίφημο *πείραμα Κόμπτον* –και το αντίστοιχο *φαινόμενο Κόμπτον*– το οποίο τεκμηρίωσε με τον πιο αναμφίβολο τρόπο τη σωματιδιακή φύση του φωτός. Ότι δηλαδή τα φωτεινά κβάντα –όπως παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά από τον Πλανκ το 1900 και επιβεβαιώθηκαν με την ανάλυση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από τον Αϊνστάιν το 1905– έχουν όχι μόνο ενέργεια αλλά και ορμή. Είναι δηλαδή σωματίδια με όλη τη σημασία του όρου.

Στέλνοντας ακτίνες X να «χτυπήσουν» πάνω στα ηλεκτρόνια ενός στόχου, ο Κόμπτον διαπίστωσε, το 1922, ότι η σκεδαζόμενη ακτινοβολία έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος από την αρχική, και απέδωσε αυτή την αλλαγή στη «σύγκρουση» των φωτεινών κβάντων με τα ηλεκτρόνια λόγω της οποίας τα κβάντα μεταβιβάζουν ένα μέρος από την ενέργειά τους στα ηλεκτρόνια κι άρα αναδύονται από τη σύγκρουση με μικρότερη ενέρ-

για άρα μικρότερη συχνότητα και μεγαλύτερο μήκος κύματος. Για την ανακάλυψή του αυτή ο Κόμπτον τιμήθηκε το 1927 με το βραβείο Νομπέλ της φυσικής.

Ο Άρθουρ Κόμπτον γεννήθηκε στην πολιτεία του Οχάιο των ΗΠΑ από «ακαδημαϊκή οικογένεια» όπως και ο Πλανκ. Ο πατέρας του ήταν κοσμήτορας του τοπικού πανεπιστημίου, στο οποίο φοίτησε και ο ίδιος ο Άρθουρ· ο μεγαλύτερος αδελφός του Καρλ, επίσης φυσικός, έγινε πρόεδρος του MIT και ο άλλος αδελφός του έγινε επίσης πρόεδρος του πολιτειακού πανεπιστημίου της Ουάσινγκτον. Την περίοδο του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου (1940-45) έπαιξε πρωταγωνιστικό ρόλο –μαζί με τους Φέρμι, Οπενχάιμερ και άλλους– στο αμερικανικό πρόγραμμα για την ανάπτυξη της πυρηνικής βόμβας.

Μετά τον πόλεμο ο Κόμπτον επέστρεψε στο πανεπιστήμιο της Ουάσινγκτον στο Σαιντ Λούις ως επικεφαλής του τμήματος φυσικής αρχικά, και όλου του πανεπιστημίου αργότερα. Στη διάρκεια της θητείας του έδωσε μεγάλη ώθηση στο άνοιγμα του πανεπιστημίου στις φυλετικές μειονότητες και κυρίως στους μαύρους.

Σε φιλοσοφικό επίπεδο, ήταν από τους κύριους εκφραστές της άποψης ότι ο πιθανοκρατικός χαρακτήρας των κβαντικών νόμων απελευθερώνει τον άνθρωπο από τα δεσμά της κλασικής αιτιοκρατίας και προσφέρει επιστημονική στήριξη στην ελευθερία της ανθρώπινης βούλησης.

# LOUIS DE BROGLIE

(1892-1987)



Γάλλος φυσικός γνωστός για τη θεωρητική πρόβλεψη των *υλικών κυμάτων* ή, ισοδύναμα, της *αρχής του κυματοσωματιδιακού διϊσμού της ύλης*. Σύμφωνα με την αρχή αυτή –όπως διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1923– κάθε υλικό σωματίδιο (ηλεκτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια κ.λπ.) είναι ταυτόχρονα και ένα κύμα με συχνότητα  $f = E/h$  και μήκος κύματος  $\lambda = h/p$ , όπου  $E$  και  $p$  η ενέργεια και η ορμή του σωματιδίου αντίστοιχα. Η υπόθεση του Ντε Μπρολί έγινε γρήγορα αποδεκτή από τους φυσικούς της εποχής –μεταξύ άλλων διότι εξηγούσε πολύ απλά τις κβαντωμένες τροχιές του Μπορ–, επιβεβαιώθηκε όμως σύντομα και πειραματικά όταν, το 1927, οι Ντέιβιντσον και Γκέρμερ έστειλαν μια δέσμη ηλεκτρονίων να χτυπήσει κάθετα στην επιφάνεια ενός κρυστάλλου και διαπίστωσαν ότι οι κατευθύνσεις πλάγιας ανάκλασης ήταν αυτές που προβλέπει η κυματική φύση των ηλεκτρονίων και ειδικότερα η σχέση  $\lambda = h/p$ . Ενώ με

παρόμοια πειράματα –που βασίζονται στο κατ' εξοχήν κυματικό φαινόμενο της *συμβολής*– επιβεβαιώθηκε αργότερα και η κυματική φύση όλων των μικροσκοπικών σωματιδίων, εδραιώνοντας έτσι την αρχή του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού ως μια θεμελιώδη αρχή της φύσης. Γι' αυτή του την ανακάλυψη ο Ντε Μπρολί τιμήθηκε το 1929 με το βραβείο Νομπέλ της φυσικής.

Όμως πέρα από τη θεμελιώδη αυτή ανακάλυψη, η μετέπειτα επιστημονική προσφορά του Ντε Μπρολί ήταν μάλλον απογοητευτική. Όλα τα υπόλοιπα χρόνια της (μακράς) ζωής του τα αφιέρωσε για να «πολεμήσει» τη στατιστική ερμηνεία των υλικών κυμάτων, υποστηρίζοντας άλλοτε ότι πρόκειται για *κύματα με αληθινή φυσική υπόσταση* κι άλλοτε ότι είναι *μαθηματικά κύματα* που απλώς *καθοδηγούν την κίνηση του σωματιδίου στο χώρο* (οδηγά κύματα: pilot waves).

Στις ιδέες αυτές –μάλλον νεφελώδεις με τα αυστηρά πρότυπα που καθιέρωσε η θεωρητική φυσική της εποχής– έδωσε αργότερα μια κάπως σαφέστερη μαθηματική διατύπωση ο Ντέιβιντ Μπομ, χωρίς όμως και πάλι να πείσει την επιστημονική κοινότητα ότι η προσπάθεια αυτή συνιστούσε μια σοβαρή εναλλακτική πρόταση στην «επίσημη κβαντομηχανική». Σε αντίθεση με την περίπτωση του Αϊνστάιν –του οποίου η κριτική στην «επίσημη κβαντομηχανική» ήταν επίσης πολύ έντονη– η κριτική του Ντε Μπρολί και των μαθητών του δεν διέθετε ούτε την οξυδέρκεια ούτε το βάθος της κριτικής του Αϊνστάιν. Γι' αυτό και έγινε δεκτή μάλλον με αδιαφορία από την κοινότητα των φυσικών και η επίδραση που άσκησε ήταν πρακτικά αμελητέα. Στην πραγματικότητα ο Ντε Μπρολί ήταν ο φυσικός της μίας

και μοναδικής ιδέας. Είχε μια μεγάλη έκλαμψη το 1923 –όταν συνέλαβε την ιδέα των υλικών κυμάτων– αλλά όλη η μετέπειτα πορεία του ελάχιστα ανταποκρίθηκε στις υψηλές προσδοκίες που η έκλαμψη αυτή εδημιούργησε.

Ο Λουί ντε Μπρολί διέφερε όμως από τους άλλους μεγάλους της κβαντικής επανάστασης και ως προς ένα άλλο σημείο. Την κοινωνική καταγωγή. Ενώ οι περισσότεροι προέρχονταν από ακαδημαϊκές οικογένειες (Πλανκ, Κόμπτον, Μπορ, Χάιζενμπεργκ) ή, έστω, οικογένειες μηχανικών ή δασκάλων (Αϊνστάιν, Πάουλι) –εξαίρεση ήταν μόνο ο Ράδερφορντ του οποίου οι γονείς ήταν αγρότες– η οικογένεια του νεαρού Λουί ήταν ένα ιστορικό απολίθωμα. Μια οικογένεια *ευγενών* –ό,τι απέμεινε απ’ αυτούς μετά τη γαλλική επανάσταση– με τον κληρονομικό τίτλο του δούκα για τα άρρενα τέκνα της, οπότε ο Ντε Μπρολί ήταν τελικά ο έβδομος δούκας στη σειρά. Σε συνέπεια με την καταγωγή του, ξεκίνησε να σπουδάζει ιστορία –αυτές ήταν τότε οι «σωστές σπουδές» για ανθρώπους μ’ αυτά τα κοινωνικά χαρακτηριστικά– αλλά έκανε τελικά τη διατριβή του στη φυσική· μια σοφή επιλογή όπως αποδείχτηκε.





# ERWIN SCHRÖDINGER

(1887-1961)



Αυστριακός φυσικός που κέρδισε τη θέση του στο «πάνθεον» ανακαλύπτοντας –το 1925– τη σημαντικότερη εξίσωση στην ιστορία της επιστήμης: *Την εξίσωση Σρέντινγκερ*. Αυτήν που αντικαθιστά την εξίσωση Νεύτωνα ως η «σωστή εξίσωση» για την περιγραφή της κίνησης των σωματιδίων του μικρόκοσμου. Ήδη από την πρώτη σχετική δημοσίευση τον Ιανουάριο του 1926 στο περιοδικό *Annalen der Physik*, ο Σρέντινγκερ συνειδητοποίησε ότι η εξίσωσή του εξηγούσε αβίαστα την *κβάντωση της ενέργειας* που αποτελεί το κλειδί για την κατανόηση του μυστηρίου της ατομικής σταθερότητας όπως το είχε θέσει νωρίτερα ο Μπορ. Στην ίδια εργασία ο Σρέντινγκερ εφάρμοσε την εξίσωσή του στο *άτομο του υδρογόνου* και έδειξε ότι δίνει τις σωστές τιμές της ενέργειας αλλά και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά του ατόμου όπως, παραδείγματος χάριν, το μέγεθός του.

Πρόκειται σίγουρα για μια από τις σημαντικότερες επιστημονικές εργασίες όλων των εποχών.

Όμως ο Σρέντινγκερ δεν έμεινε σ' αυτό. Ένα μήνα μετά επανήλθε με μια δεύτερη εργασία, δίνοντας τη λύση του *κβαντικού αρμονικού ταλαντωτή* αλλά και με εφαρμογές στα διατομικά μόρια και το φάσμα περιστροφής τους. Στην τρίτη κατά σειράν εργασία (Μάιος του 1926) έδειξε ότι η μορφή της κβαντομηχανικής που βασιζόταν στην εξίσωσή του –η αποκαλούμενη τότε *κυματομηχανική*– ήταν ισοδύναμη με τη *μηχανική των μιτρών* που είχε ανακαλύψει ο Χάιζενμπεργκ λίγο διάστημα πριν. Και η λαμπρή αυτή σειρά ολοκληρώθηκε –το ίδιο έτος– με τη δημοσίευση μιας τέταρτης εργασίας όπου παρουσιαζόταν και αναλύονταν ο τρόπος εφαρμογής της εξίσωσης Σρέντινγκερ για την περιγραφή του προβλήματος της σύγκρουσης δύο σωματιδίων.

Όμως, ενώ η συμβολή του Σρέντινγκερ στη μαθηματική διατύπωση και εφαρμογή των κβαντικών νόμων υπήρξε κεφαλαιώδης, εν τούτοις η κατεύθυνση προς την οποία αναζήτησε τη φυσική ερμηνεία των λύσεων της εξίσωσής του ήταν μάλλον «ορθογώνια» προς εκείνη της σχολής της Κοπεγχάγης. Για μεγάλα διαστήματα επέμεινε σε μια κλασικού τύπου ερμηνεία των υλικών κυμάτων, αν και ελάχιστα πράγματα δημοσίευσε πάνω σ' αυτό. Ωστόσο, η κριτική του στην «επίσημη ερμηνεία» της κβαντομηχανικής ήταν πολύ διεισδυτική, με κορυφαίο παράδειγμα το περίφημο *παράδοξο της γάτας του Σρέντινγκερ* το οποίο αποκαλύπτει τις παράλογες συνέπειες στις οποίες οδηγείται η σχολή της Κοπεγχάγης –και ειδικότερα η λεγόμενη *αρχή της*

*επαλληλίας*– αν εφαρμοστεί σε μακροσκοπικά αντικείμενα όπως μια γάτα. Η γάτα μπορεί να είναι ζωντανή και νεκρή ταυτόχρονα μέχρις ότου η πράξη της μέτρησης *πραγματώσει* το ένα ή το άλλο από τα δύο ενδεχόμενα! Ο Μπορ αρνείται βέβαια τη νομιμότητα αυτής της εφαρμογής –γι' αυτόν η ύπαρξη καθαρά κλασικών μακροσκοπικών αντικειμένων είναι προϋπόθεση για τη σωστή φυσική ερμηνεία της κβαντομηχανικής– όμως το ζήτημα παραμένει ανοικτό μέχρι σήμερα. Προβλέποντας τη χιονοστιβάδα των συνεπειών της κβαντικής επανάστασης σε γειτονικές επιστήμες όπως η χημεία και η βιολογία –ιδίως στη δεύτερη– συγκέντρωσε τις σχετικές σκέψεις του σ' ένα μικρό βιβλιαράκι υπό τον τίτλο *What is life?*, στο οποίο διατυπώνεται για πρώτη φορά η ιδέα ότι η γενετική πληροφορία ίσως είναι εγγεγραμμένη και μεταφέρεται από ένα κατάλληλο γραμμικό μακρομόριο. Φαίνεται ότι το βιβλίο αυτό άσκησε σημαντική επίδραση στη νέα γενιά μοριακών βιολόγων που σύντομα θα πρωταγωνιστούσε σε μια άλλη επανάσταση, στο δικό τους πεδίο αυτή τη φορά.

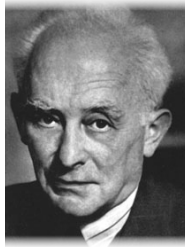
Ως προσωπικότητα ο Έρβιν Σρέντινγκερ ήταν περισσότερο γνωστός για την ελευθεριάζουσα ερωτική του ζωή, μάλλον σκανδαλώδη για τα κοινωνικά και ακαδημαϊκά ήθη της εποχής. Η συμβίωση με τη σύζυγο και την (εκάστοτε) ερωμένη του ήταν μάλλον κανόνας ζωής παρά εξαίρεση, κι αυτό ήταν συχνά πρόβλημα στις ακαδημαϊκές του μετακινήσεις από ίδρυμα σε ίδρυμα. Έτσι ναυάγησαν οι «διαπραγματεύσεις» του για μια έδρα στην Οξφόρδη ή στο Πρίνστον και ξόδεψε τελικά ένα μεγάλο μέρος της ακαδημαϊκής του ζωής (1940-1957) στην Ιρλανδία, στο Ινστιτούτο Προχωρημένων Σπουδών που ιδρύθηκε

γι' αυτόν και αργότερα στη Σχολή Θεωρητικής Φυσικής στο Δουβλίνο.

Για τη θεμελιώδη συμβολή του στην επιστήμη ο Έρβιν Σρέντινγκερ μοιράστηκε το βραβείο Νομπέλ φυσικής με τον Ντιράκ το 1933, ενώ ένας τεράστιος κρατήρας στην αθέατη πλευρά της σελήνης έχει πάρει το όνομά του.

# MAX BORN

(1882-1970)



Γερμανός φυσικός με θεμελιώδη συμβολή στην ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας. Μαζί με τον Πωλ Γιόρνταν διατύπωσε σε ολοκληρωμένη μορφή τη μηχανική των μητρώων του Χάιζενμπεργκ και αμέσως μετά –το 1926– τη *στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης  $\psi$* , πάνω στην οποία εδράζεται όλο το κβαντικό οικοδόμημα. Για την τελευταία αυτή συμβολή του στην κβαντική μηχανική –δηλαδή τη στατιστική ερμηνεία της  $\psi$ – ο Μαξ Μπορν τιμήθηκε το 1954 με το βραβείο Νομπέλ φυσικής. Ο Μαξ Μπορν συνέβαλε επίσης σημαντικά στην ανάπτυξη της σύγχρονης μοριακής φυσικής –η οποία βασίζεται καίρια στη λεγόμενη *προσέγγιση Μπορν-Οπενχάιμερ*– καθώς και στη *φυσική της στερεάς κατάστασης*, ενώ είναι και ο θεμελιωτής της κβαντικής θεωρίας της σκέδασης, με πασίγνωστη την προσεγγιστική μέθοδο που φέρει το όνομά του. Ο Μαξ Μπορν επηρέασε επίσης σημαντικά τη φυσική της εποχής του ως δάσκαλος

μερικών από τους καλύτερους νέους φυσικούς της περιόδου που εκπόνησαν μαζί του τη διατριβή τους. Ήταν όμως πολύ επιτυχής και ως συγγραφέας. Το βιβλίο του για την Ατομική Φυσική ήταν το καθιερωμένο σύγγραμμα στο πεδίο για πολλά χρόνια, ενώ έγραψε κι ένα εξίσου επιτυχές εκλαϊκευτικό βιβλίο με τον τίτλο *The restless universe – Το «ανήσυχο» σύμπαν*.

Όπως και όλοι σχεδόν οι μεγάλοι φυσικοί αυτής της «ηρωικής» εποχής, έτσι και ο Μπορν καταγόταν από ακαδημαϊκή οικογένεια. Ο πατέρας του ήταν καθηγητής εμβρυολογίας και ανατομίας στο πανεπιστήμιο του Μπρέσλαου ενώ ο αδελφός του –από άλλη μητέρα– Βόλφγκανγκ έγινε επίσης καθηγητής (ιστορίας της τέχνης) στο πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης.

Τα «κύματα των καιρών» δεν άφησαν ανεπηρέαστο τον Μαξ Μπορν. Λόγω της εβραϊκής καταγωγής του απολύθηκε από τη θέση του στο πανεπιστήμιο του Γκέτινγκεν, αμέσως μετά την άνοδο του Χίτλερ στην εξουσία το 1933. Μετανάστευσε τότε στη Μεγάλη Βρετανία, ως καθηγητής στο πανεπιστήμιο του Καίμπριτζ αρχικά και στο πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου αργότερα. Επέστρεψε στη Γερμανία το 1952 και πέθανε στο Γκέτινγκεν το 1970.

# WERNER HEISENBERG

(1901-1976)



Γερμανός φυσικός του οποίου το όνομα είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη μεγαλύτερη επιστημονική ανακάλυψη του εικοστού αιώνα και ίσως όλων των εποχών: Την περίφημη *αρχή της αβεβαιότητας* –ή *αρχή της απροσδιοριστίας*– σύμφωνα με την οποία: «Το γινόμενο των αβεβαιότητων θέσης και ορμής ενός σωματιδίου δεν μπορεί να γίνει μικρότερο από το ήμισυ της σύγχρονης σταθεράς του Πλανκ». Πριν καταλήξει στη διατύπωση αυτής της αρχής το έτος 1926, ο Χάιζενμπεργκ είχε ήδη φτάσει –ανεξάρτητα από τον Σρέντινγκερ– στον δικό του φορμαλισμό της κβαντομηχανικής, στο πλαίσιο του οποίου τα φυσικά μεγέθη περιγράφονται από κατάλληλες απειροδιάστατες μήτρες.

Αν και η χρήση *μπτρών* (ή *πινάκων*) στο πλαίσιο της κβαντομηχανικής θεωρείται σήμερα αυτονόητη, όμως την εποχή του Χάιζενμπεργκ –όταν ακόμα και η έννοια της μήτρας ήταν



πρακτικά άγνωστη στους περισσότερους φυσικούς (και σίγουρα άγνωστη στον Χάιζενμπεργκ)– η ανακάλυψη και διατύπωση των κβαντικών νόμων στη γλώσσα των μητρών ευλόγως θεωρείται ως ένα διανοητικό επίτευγμα χωρίς προηγούμενο στην ιστορία της φυσικής. Διότι –αντίθετα με την εξίσωση Σρέντινγκερ της οποίας η ανακάλυψη ακολουθεί μια πολύ λογική διαδρομή με αφετηρία την κλασική κυματική εξίσωση– η ανακάλυψη της μηχανικής των μητρών προϋποθέτει μια άκρως αντιδραστική προσέγγιση, τελείως ξένη προς κάθε κλασικό ανάλογο. Αν και δεν είναι πάντα εύκολο να ανασυγκροτήσει κανείς τη «διαδρομή» μιας θεμελιώδους ανακάλυψης, εν τούτοις στην περίπτωση του Χάιζενμπεργκ υπάρχει η μαρτυρία του ίδιου –μεταξύ άλλων σε ομιλία του στο Χάρβαρντ το 1973 την οποία είχα την τύχη να παρακολουθήσω– που δεν αφήνει αμφιβολία ότι στον πυρήνα της σκέψης του ήταν μια επιστημολογική ανάλυση παρόμοιας φύσεως με αυτήν που υιοθέτησε ο Αϊνστάιν προκειμένου να καταλήξει στο περίφημο συμπέρασμά του για τη *διαστολή του χρόνου*.

Αφετηρία του Αϊνστάιν –όπως και του Χάιζενμπεργκ αργότερα– είναι η ιδέα ότι τα φυσικά μεγέθη δεν πρέπει να ορίζονται αφηρημένα αλλά σε στενή σύνδεση με τον τρόπο που μετρούνται. Έτσι, η διαστολή του χρόνου για έναν κινούμενο παρατηρητή προκύπτει φυσιολογικά από τον τρόπο λειτουργίας ενός στοιχειακού ρολογιού που βασίζεται στο περιοδικό «πήγαινε-έλα» ενός φωτεινού σήματος ανάμεσα σε δύο καθρέπτες, σε συνδυασμό με τη θεμελιώδη σχετικιστική παραδοχή ότι η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια για όλους τους παρατη-

ρητές. Ο Χάιζενμπεργκ ωθεί αυτή τη «φιλοσοφία» στο όριο της. Λέει ότι όχι μόνο πρέπει να ορίζουμε τα φυσικά μεγέθη σε συνάρτηση με τη διαδικασία που τα μετράει, αλλά επίσης ότι δεν πρέπει καν να μιλάμε για φυσικές ποσότητες ή έννοιες που δεν έχουν πειραματικό αντίκρουσμα. Που δεν μπορούν δηλαδή να υποβληθούν σε πειραματικό έλεγχο. Και ακριβώς μια τέτοια έννοια –συνεχίζει ο Χάιζενμπεργκ– είναι *n έννοια της τροχιάς*. Διότι τα πειραματικά δεδομένα για τα άτομα –στην ουσία τα φάσματά τους– μας επιτρέπουν σίγουρα να μιλάμε για επιτρεπόμενες ενέργειες του ατόμου και επίσης για *μεταβάσεις μεταξύ αυτών*, αλλά δεν μπορούν να μας πουν το παραμικρό για το αν υπάρχουν ή όχι κάποιες κβαντωμένες τροχιές όπως είχε υποθέσει ο Μπορ. Αφού λοιπόν η έννοια της κβαντωμένης τροχιάς δεν είναι προσιτή σε πειραματικό έλεγχο, τότε –κατά τον Χάιζενμπεργκ– θα πρέπει να εξοστρακιστεί από το κβαντικό οικοδόμημα ως απολύτως *μεταφυσική οντότητα* και οι κβαντικοί νόμοι να διατυπωθούν μόνο μέσω μαθηματικών ποσοτήτων με άμεσο πειραματικό αντίκρουσμα. Και επειδή η βασική κβαντική διαδικασία είναι η *μετάβαση* –ή *μετάπτωση*– από μια κβαντική κατάσταση *n* σε μια κβαντική κατάσταση *m*, τότε δεν είναι τελείως «παράλογο» να υποθέσουμε ότι τα φυσικά μεγέθη θα παριστάνονται ως αριθμοί με δύο δείκτες που μας λένε πώς το συγκεκριμένο μέγεθος «συνδέει» τις δύο καταστάσεις *n* και *m* της μετάβασης. Όμως η φυσιολογική παράσταση μιας ακολουθίας αριθμών με δύο δείκτες είναι υπό μορφήν μιας τετραγωνικής μήτρας με δείκτη γραμμής το *n* και δείκτη στήλης το *m*. Έτσι, η ιδέα της αναπαράστασης των φυσικών μεγεθών

υπό τη μορφή κατάλληλων μητρών –μια καθημερινή πρακτική σήμερα– αναδύεται «φυσιολογικά» από την ανάλυση αυτή.

Είναι ήδη φανερό από τα παραπάνω ότι η *μητρομηχανική* του Χάιζενμπεργκ έχει ως αφετηρία της μια πλήρη *εννοιολογική αναδόμηση* της κλασικής φυσικής, σε αντίθεση με την *κυματομηχανική* του Σρέντινγκερ που ξεκίνησε ως ένα είδος *επέκτασης της κλασικής κυματικής θεωρίας* –έτσι την έβλεπε ο Σρέντινγκερ– και μόνο μετά έγινε σαφές ότι τα κύματα που περιγράφει δεν μπορούσε να είναι κλασικά κύματα. Απαιτήθηκε έτσι μια *φυσική ερμηνεία* αυτών των κυμάτων –δηλαδή των λύσεων της εξίσωσης Σρέντινγκερ– αλλά και ένα «συνταγολόγιο» για την εξαγωγή φυσικών συμπερασμάτων από αυτές τις λύσεις. Και μόνο μετά την προσθήκη αυτού του «ερμηνευτικού πλαισίου» η κυματομηχανική του Σρέντινγκερ θα γίνει μια πλήρης θεωρία ικανή να συγκριθεί –και τελικά να αποδειχτεί ισοδύναμη– με τη μηχανική των μητρών του Χάιζενμπεργκ. Δεδομένου ακόμα ότι η εξίσωση Σρέντινγκερ εμπεριέχεται στον φορμαλισμό του Χάιζενμπεργκ –ως μια ισοδύναμη εξίσωση υπό μορφή μητρών και όχι ως διαφορετική εξίσωση– δεν υπάρχει αμφιβολία ότι την κβαντομηχανική ως ολοκληρωμένο οικοδόμημα (συνοδευόμενο και από την αρχή της αβεβαιότητας) την έστησε στα πόδια της κυρίως –αν και *όχι αποκλειστικά*– ο Χάιζενμπεργκ. Αν επρόκειτο επομένως μόνο ένας άνθρωπος να θεωρηθεί ως *ο πατέρας της*, αυτός δεν μπορεί να είναι άλλος από τον Βέρνερ Χάιζενμπεργκ.

Όμως η δημιουργική ορμή του νεαρού Χάιζενμπεργκ συνεχίστηκε αμείωτη και μετά τη «θαυματουργή διαετία» 1925-27. Το 1928 χρησιμοποίησε την αρχή του Πάουλι για να εξηγήσει

το φαινόμενο του *σιδηρομαγνητισμού* και να το περιγράψει ποσοτικά μέσω του περίφημου *μοντέλου Χάιζενμπεργκ* που συνεχίζει να είναι το πιο επιτυχές *φαινομενολογικό μοντέλο* για τον σιδηρομαγνητισμό μέχρι σήμερα. Αμέσως μετά –το 1929– σε συνεργασία με τον Πάουλι, έθεσαν τις βάσεις της *σχετικιστικής θεωρίας πεδίων* ενώ, το 1932 –λίγο μετά την ανακάλυψη του νετρονίου από τον Τσάντγουικ–, τρεις διαδοχικές εργασίες του Χάιζενμπεργκ θεμελίωσαν τη σύγχρονη πυρηνική φυσική βασισμένη στη λεγόμενη *ισοτοπική συμμετρία*. Δηλαδή την ιδέα ότι, από πλευράς ισχυρών πυρηνικών δυνάμεων, πρωτόνιο και νετρόνιο δεν είναι παρά οι δύο όψεις ενός ενιαίου πυρηνικού σωματιδίου γνωστού έκτοτε ως *νουκλεόνιο*. Πηγαίνοντας ένα βήμα πιο πέρα, ο Χάιζενμπεργκ θεώρησε ότι οι δύο δυνατές καταστάσεις του νουκλεονίου –το πρωτόνιο και το νετρόνιο– είναι μαθηματικά ισοδύναμες με τις καταστάσεις «σπιν πάνω» και «σπιν κάτω» ενός σωματιδίου με σπιν  $1/2$ , και έδωσε το όνομα «ισοτοπικό σπιν» στη μαθηματική έννοια που εκφράζει αυτή την ισοδυναμία. Ο φορμαλισμός αυτός αποτέλεσε αργότερα το «εφαλτήριο» πάνω στο οποίο οικοδομήθηκε –από το 1960 και μετά– όλη η φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων, με οδηγό αρχή την αναζήτηση των λεγόμενων «εσωτερικών συμμετριών» που διέπουν τις μεταξύ τους δυνάμεις. Σε δύο διαδοχικές δημοσιεύσεις –το 1934 και το 1936– ο Χάιζενμπεργκ κατάρφερε επίσης να διατυπώσει τη σωστή ερμηνεία της εξίσωσης Ντιράκ στη γλώσσα της λεγόμενης *δευτέρης κβάντωσης*, και να γίνει έτσι ο πατέρας –μαζί με τον Ντιράκ– της *σχετικιστικής κβαντομηχανικής*. Ο Χάιζενμπεργκ ήταν όμως ο θεμελιωτής

–με τρεις σχετικές δημοσιεύσεις του στη διάρκεια του πολέμου(!)– και μιας εναλλακτικής θεωρίας της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων, γνωστής ως «θεωρία της μήτρας  $S$ ». Σε συνέπεια με τη γενικότερη επιστημολογία του –ότι δηλαδή η φυσική θα πρέπει να χρησιμοποιεί μόνο φυσικές έννοιες που είναι πειραματικά μετρήσιμες– ο Χάιζενμπεργκ θεώρησε ότι σ' ένα πείραμα σκέδασης μεταξύ δύο (ή περισσότερων) σωματιδίων το μόνο που πραγματικά μετριέται είναι η πιθανότητα να προκύψει από τη σύγκρουσή τους η μία ή η άλλη τελική κατάσταση με τα ίδια ή κάποια άλλα σωματίδια. Έτσι –σύμφωνα με τον Χάιζενμπεργκ– το μόνο που έχει πειραματική σημασία να γνωρίζουμε είναι η *μήτρα*  $S$  ( $S$  από το Scattering) που συνδέει την (οποιαδήποτε) αρχική με την (οποιαδήποτε) τελική κατάσταση σ' ένα πείραμα σκέδασης. Πάνω στην αντίληψη αυτή οικοδομήθηκε –από το 1960 και μετά– μια ολόκληρη *σχολή σκέψης* μαχητικά αντίθετη με την κβαντική θεωρία πεδίου που επίσης ο Χάιζενμπεργκ θεμελίωσε! Και παρότι η κβαντική θεωρία πεδίου αποδείχτηκε πολύ γονιμότερη και τελικά επικράτησε, εν τούτοις η θεωρία της μήτρας  $S$  άφησε πίσω της μια παρακαταθήκη θεμελιωδών αποτελεσμάτων που δύσκολα θα είχαν ανακαλυφθεί χωρίς αυτήν.

Ο Βέρνερ Χάιζενμπεργκ γεννήθηκε το 1901 στην πόλη Βύρτσμπουργκ της Γερμανίας, επίσης από ακαδημαϊκή οικογένεια όπως και πολλοί άλλοι από τους πρωταγωνιστές της κβαντικής επανάστασης. Ο πατέρας του ήταν καθηγητής κλασικών γλωσσών στο λύκειο και αργότερα τακτικός καθηγητής μεσαιωνικών

και σύγχρονων ελληνικών σπουδών στο πανεπιστήμιο. Από τον πατέρα του ο νεαρός Χάιζενμπεργκ «κληρονόμησε» μια λαμπρή κλασική παιδεία, και ειδικότερα μια ιδιαίτερη πνευματική έλξη προς την πλατωνική φιλοσοφία η οποία φαίνεται να είχε μια βαθειά επίδραση στον τρόπο που αντιμετώπισε αργότερα τα φιλοσοφικά και επιστημολογικά προβλήματα που έθετε η οικοδόμηση και ερμηνεία της κβαντικής μηχανικής.

Όπως και οι περισσότεροι από τους σημαντικούς φυσικούς της εποχής του, ο Χάιζενμπεργκ δεν εξέφραζε δημόσια πολιτικές ή ιδεολογικές απόψεις. Αυτό όμως δεν εμπόδισε τους ναζί συναδέλφους του –αυτούς που επιδίωκαν να αποκαθάρουν τη φυσική από «εβραϊκές θεωρίες» όπως η *κβαντομηχανική* και η *σχετικότητα* (και να την επανιδρύσουν πάνω σε «υγιείς» φυλετικές βάσεις)– να τον χαρακτηρίσουν ως «λευκό εβραίο» και να υποκινήσουν μυστική έρευνα εις βάρος του όπως και εις βάρος του Πλανκ για τον ίδιο λόγο. Εν τούτοις αυτός ο χαρακτηρισμός δεν στάθηκε ικανός να αποτρέψει τη ναζιστική ηγεσία από το να αναθέσει στον Χάιζενμπεργκ την επιστημονική διεύθυνση του γερμανικού πυρηνικού προγράμματος στη διάρκεια του πολέμου. Σχετικά με τη στάση που τήρησε ο Χάιζενμπεργκ απ' αυτή τη θέση του, η εικόνα είναι ακόμα θολή. Ο ίδιος ο Χάιζενμπεργκ ισχυρίζεται ότι προσπάθησε να κρατήσει το πρόγραμμα σε «τροχιά» παραγωγής ενέργειας κι όχι πυρηνικής βόμβας. Και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο –πάλι σύμφωνα με τον ίδιο– ταξίδεψε μυστικά στην κατεχόμενη Κοπεγχάγη, τον Σεπτέμβριο του 1941, προκειμένου να συναντήσει τον Μπορ και να έλθει σε κάποια συνεννόηση μαζί του για να αποτρέψουν

από κοινού το ενδεχόμενο απόκτησης πυρηνικών όπλων από τη μία ή την άλλη πλευρά. Το βέβαιο είναι ότι η συνάντηση απέτυχε οικτρά, και λίγους μήνες μετά ο Μπορ φυγαδεύτηκε από τη Δανία για να προσφέρει τη δική του επιστημονική βοήθεια στο σχέδιο Μανχάταν: το αμερικανικό πυρηνικό πρόγραμμα.

Δύο μέρες πριν την επίσημη συνθηκολόγηση της Γερμανίας, το 1945, ο Χάιζενμπεργκ απήχθη από τις αμερικανικές δυνάμεις και μεταφέρθηκε –μαζί με άλλους γερμανούς επιστήμονες– σε μυστική θέση στη Μεγάλη Βρετανία όπου και κρατήθηκε για οκτώ μήνες ανακρινόμενος σχετικά με το γερμανικό πυρηνικό πρόγραμμα και το στάδιο ανάπτυξής του. Ένα μέρος από τις μαγνητοφωνημένες αυτές καταθέσεις δόθηκε αργότερα στη δημοσιότητα, χωρίς όμως το ζήτημα της συμμετοχής και της στάσης του Χάιζενμπεργκ απέναντι στο πρόγραμμα αυτό να φωτιστεί πλήρως.

Το βέβαιο είναι ότι οι σκιές γύρω από αυτό το θέμα δεν άφησαν ανεπηρέαστη την επιστημονική κοινότητα της μεταπολεμικής περιόδου η οποία κράτησε μια επιφυλακτική –και πάντως όχι γενναιόδωρη– στάση απέναντι στον Χάιζενμπεργκ και το έργο του.

Όμως, με την απόσταση από την οποία μπορούμε να δούμε σήμερα τα πράγματα, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η συμβολή του Χάιζενμπεργκ στην επιστήμη, μόνο με εκείνη του Αϊνστάιν μπορεί να συγκριθεί.

# WOLFGANG PAULI

(1900-1958)



Αυστριακός φυσικός του οποίου το όνομα είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη δεύτερη θεμελιώδη αρχή της κβαντικής μηχανικής μετά την αρχή της αβεβαιότητας: Την *απαγορευτική αρχή του Πάουλι* για την οποία του απονεμήθηκε το βραβείο Νομπέλ το 1945. Σύμφωνα με την αρχή αυτή, δεν είναι δυνατή η ύπαρξη στο ίδιο άτομο δύο ηλεκτρονίων με τα ίδια φυσικά χαρακτηριστικά. Τα ηλεκτρόνια θα πρέπει να διαφέρουν τουλάχιστον ως προς έναν από τους *κβαντικούς αριθμούς* που προσδιορίζουν την κατάσταση της κίνησής τους.

Ο Πάουλι πρότεινε την απαγορευτική του αρχή το 1924 –σε συνδυασμό με την ιδέα των δύο εσωτερικών βαθμών ελευθερίας του ηλεκτρονίου– προκειμένου να γίνει δυνατή η εξήγηση του περιοδικού συστήματος των στοιχείων με βάση τη θεωρία του Μπορ. Η σύνδεση αυτών των δύο βαθμών ελευθερίας, με τις δύο δυνατές καταστάσεις –*σπιν πάνω* και *σπιν κάτω*– του



σπιν του ηλεκτρονίου, προτάθηκε από τους Ούλενμπεκ και Γκούντσμιντ το 1925 παρά την ισχυρή αρχική διαφωνία του Πάουλι. Αυτό δεν τον εμπόδισε όμως να επεξεργαστεί, το 1926, τη σωστή μαθηματική περιγραφή του σπιν και να εισαγάγει τις –περίφημες πλέον– *μύτερες του Πάουλι* γι' αυτόν το σκοπό. Την ίδια χρονιά –το 1926– κατάφερε να βρει το φάσμα του ατόμου του υδρογόνου εφαρμόζοντας όχι την *εξίσωση Σρέντινγκερ* αλλά τη *μηχανική των μιτρών* που είχε προτείνει ο Χάιζενμπεργκ ένα χρόνο νωρίτερα. Έδωσε έτσι ισχυρή ώθηση στη θεώρηση του Χάιζενμπεργκ έναντι εκείνης του Σρέντινγκερ που ήταν αρχικά επικρατέστερη λόγω της μεγαλύτερης μαθηματικής της απλότητας και της εγγύτητας προς την κλασική κυματική θεωρία. Η κοινή αντίληψη των δύο ανδρών –Πάουλι και Χάιζενμπεργκ– για τη νέα μηχανική, οδήγησε το 1929 στην άμεση συνεργασία τους με τρεις κοινές δημοσιεύσεις που θεωρούνται ως οι ιδρυτικές εργασίες της *κβαντικής θεωρίας των πεδίων*.

Το 1930, την προσοχή του Πάουλι ειλκυσε το παράδοξο της *ακτινοβολίας* (ή *διάσπασης*) *βήτα* που οφείλεται –όπως γνωρίζουμε σήμερα– στη μετατροπή ενός νετρονίου σε πρωτόνιο, ηλεκτρόνιο και νεutrίνο. Εν τούτοις η αδυναμία να παρατηρηθεί το νεutrίνο δεν επέτρεπε τότε να υποθεθεί κάτι άλλο πέραν του ότι η αντίδραση διάσπασης είχε τη μορφή *νεutrόνιο* → *πρωτόνιο* + *ηλεκτρόνιο*. Το οποίο όμως συνεπαγόταν –όπως και σε κάθε διάσπαση με δύο μόνο τελικά προϊόντα– ότι η ενέργεια του εκπεμπόμενου ηλεκτρονίου θα ήταν *καθορισμένη*, σε προφανή αντίθεση με τα πειραματικά δεδομένα που έδειχναν ότι τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια είχαν ένα συνεχές φάσμα δυνατών

ενεργειών. Και οι επιλογές ήταν δύο: Ή η αρχή διατήρησης της ενέργειας παραβιάζεται στη *διάσπαση βήτα*, ή κάποιο τρίτο, μη εύκολα ανιχνεύσιμο, σωματίδιο εκπέμπεται μαζί με το πρωτόνιο και το ηλεκτρόνιο. Κι αυτή, βεβαίως, είναι η εκδοχή που πρότεινε ο Πάουλι για να δικαιωθεί 26 χρόνια μετά(!), το 1956, όταν η άμεση παρατήρηση αυτού του σωματιδίου –του περιήφημου πλέον *νετρίνου*– έγινε για πρώτη φορά δυνατή.

Η προσφορά του Πάουλι στα θεμέλια της κβαντομηχανικής κορυφώθηκε το 1940 με την απόδειξη –στο πλαίσιο της σχετικιστικής θεωρίας των κβαντικών πεδίων– του περίφημου *θεωρήματος σπιν και στατιστικής*. Ότι δηλαδή τα σωματίδια με ημιακέραιο σπιν –τα αποκαλούμενα *φερμιόνια*– υπακούουν στην απαγορευτική αρχή του Πάουλι και (για μεγάλο πλήθος απ' αυτά) στη *στατιστική Φέρμι-Ντιράκ*, ενώ εκείνα με ακέραιο σπιν –τα λεγόμενα *μποζόνια*– δεν υπόκεινται σ' αυτήν και ακολουθούν τη *στατιστική Μπόζε-Αϊνστάιν*. Η απόδειξη αυτού του θεωρήματος είναι μια κορυφαία «στιγμή» στην ιστορία της κβαντομηχανικής διότι μας αποκάλυψε ότι η αρχή του Πάουλι δεν είναι μια αυθαίρετη προσθήκη στο κβαντικό οικοδόμημα αλλά μια αναγκαστική συνέπεια των συνδυασμένων απαιτήσεων κβαντομηχανικής και σχετικότητας. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι στο «πάνθεον» των μεγάλων της κβαντικής επανάστασης ο Πάουλι διεκδικεί μια θέση δίπλα στον Μπορ, τον Σρέντινγκερ, τον Χάιζενμπεργκ και τον Ντιράκ.

Ο Πάουλι γεννήθηκε στη Βιέννη από ευκατάστατη (εβραϊκή κυρίως) οικογένεια με ισχυρή επιστημονική παιδεία και αντι-

στοιχο πνευματικό περίγυρο. Ο πατέρας του ήταν χημικός, ο προπάππος του εξέχων εκδότης ενώ στη θέση του νονού ήταν ο διάσημος φυσικός –και κεντρική φιγούρα του περίφημου κύκλου της Βιέννης– Ερνστ Μαχ από τον οποίο και πήρε το δεύτερό του όνομα· Wolfgang Ernst Pauli.

Δυο μήνες μετά την αποφοίτησή του από το λύκειο –δηλαδή το 1918– δημοσίευσε την πρώτη του εργασία πάνω στη γενική θεωρία της σχετικότητας και ήδη το 1921 είχε ολοκληρώσει τη διατριβή του με τον Άρνολντ Ζόμερφελντ πάνω στην κβαντική θεωρία του ιοντισμένου μοριακού υδρογόνου. Αμέσως μετά –με υπόδειξη του Ζόμερφελντ– έγραψε ένα εκτενές άρθρο ανασκόπησης για την ειδική θεωρία της σχετικότητας το οποίο εγκωμιάστηκε από τον Αϊνστάιν και θεωρείται κλασικό έως σήμερα (δημοσιευμένο πια ως χωριστό βιβλίο). Το 1928 έγινε καθηγητής στο περίφημο Πολυτεχνείο της Ζυρίχης αλλά ξόδεψε και σημαντικό μέρος του χρόνου του ως επισκέπτης καθηγητής στις Ηνωμένες Πολιτείες (Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν το 1931 και Ινστιτούτο Προχωρημένων Σπουδών του Πρίνστον το 1935). Με την έκρηξη του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου το 1940, ο Πάουλι μεταναστεύει στις ΗΠΑ ως καθηγητής στο Ινστιτούτο του Πρίνστον, για να επιστρέψει το 1946 στη Ζυρίχη όπου έζησε ως τον θάνατό του –από καρκίνο στο πάγκρεας– το 1958.

Ως προσωπικότητα ο Πάουλι διακρινόταν από την τελειοθηρική αυστηρότητα των επιστημονικών του κριτηρίων η οποία τον καθιστούσε *συνείδηση της φυσικής* για ορισμένους ή απλώς έναν *ανυπόφορο αλαζόνα* για άλλους. Δέκτης της

τελειοθηρίας του και ο ίδιος, απέφευγε συχνά να δημοσιεύσει τις ιδέες του, πολλές από τις οποίες διατυπώνονταν πρώτα –και αρκετές φορές οριστικά– σε επιστολές προς τους συναδέλφους και φίλους του εκείνης της εποχής. Διαβόητη ήταν η περιφρόνησή του προς τις επιστημονικές εργασίες που είναι τόσο ασαφείς και συγκεχυμένες ώστε να μην μπορούν καν να αποδειχτούν εσφαλμένες. Είναι γνωστή η δήλωσή του για μια τέτοια ασαφή εργασία. «Όχι μόνο δεν είναι σωστή, αλλά δεν είναι καν λάθος»!

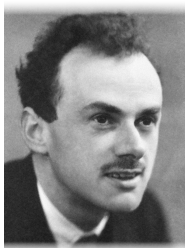
Κατά έναν παράδοξο τρόπο ο Πάουλι είχε μια έμμεση συμβολή και στην ανάπτυξη της λεγόμενης *ψυχολογίας του βάθους* που θεμελιώθηκε από τον Καρλ Γιουνγκ στη δεκαετία του τριάντα. Λίγο μετά την *υπόθεση του νετρίνου* το 1930 και το διαζύγιο με την πρώτη του σύζυγο, ο Πάουλι υπέστη σοβαρό νευρικό κλονισμό και κατέφυγε στη βοήθεια του Γιουνγκ που ζούσε επίσης κοντά στη Ζυρίχη εκείνα τα χρόνια. Η θεωρία του Γιουνγκ για τα *αρχετυπικά όνειρα* βασίστηκε καίρια στα όνειρα του διάσημου ασθενούς του αλλά και στην επιστημολογική κριτική που δεχόταν απ' αυτόν. Η μεταξύ τους αλληλογραφία έχει δημοσιευτεί σε βιβλίο υπό τον τίτλο *Άτομο και Αρχέτυπο*, ενώ η κατά Γιουνγκ ανάλυση περίπου τετρακοσίων από τα όνειρα του Πάουλι έχει επίσης δημοσιευτεί στο *Ψυχολογία και Αλχημεία*, δηλαδή στον δωδέκατο τόμο των *Απάντων* του Γιουνγκ από το Πρίνστον. (Κατά την άποψη του Γιουνγκ, οι συμβολισμοί των στοιχείων από τους αλχημιστές έχουν επίσης αρχετυπική σημασία, όπως και οι αρχετυπικές εικόνες που εμφανίζονται στα όνειρά μας).

Σε πιο ανεκδοτολογικό επίπεδο, ο Πάουλι ήταν διάσημος στους φυσικούς της εποχής του και για το περίφημο *φαινόμενο Πάουλι*: δηλαδή τα σοβαρά ατυχήματα (π.χ. ανεξήγητα βραχυκυκλώματα, απρόβλεπτη συμπεριφορά επιστημονικών οργάνων κ.λπ.) που μπορεί να προκληθούν από την παρουσία... θεωρητικού φυσικού –με πρώτο τον Πάουλι– σ' ένα εργαστήριο! Λέγεται μάλιστα ότι, ύστερα από ενδελεχή έρευνα για τα αίτια ενός ανεξήγητου τέτοιου ατυχήματος που συνέβη σ' ένα εργαστήριο *χωρίς να είναι ο Πάουλι εκεί* (!), το μυστήριο λύθηκε μόνο όταν διαπιστώθηκε ότι την ώρα ακριβώς του ατυχήματος περνούσε ο Πάουλι με το τραίνο από τον γειτονικό σταθμό! Όστε να διαγνωστεί μ' αυτό τον τρόπο ότι το φαινόμενο Πάουλι μπορεί να λάβει χώραν και... εξ αποστάσεως!

*Συνείδηση της φυσικής ή ανυπόφορος αλαζόνας*, το βέβαιο είναι ότι ο Πάουλι συνέβαλε όσο ελάχιστοι όχι μόνο στην ανακάλυψη θεμελιωδών αρχών της κβαντικής μηχανικής αλλά και στη διαμόρφωση της επιστημονικής προσωπικότητας του σύγχρονου θεωρητικού φυσικού.

# PAUL DIRAC

(1902-1984)



Βρετανός θεωρητικός φυσικός με κορυφαία θέση στο «πάνθεον» των πρωταγωνιστών της κβαντικής επανάστασης. Ανάμεσα στις θεμελιώδεις ανακαλύψεις που φέρουν το όνομά του συγκαταλέγονται: α) η εξίσωση Ντιράκ· η σχετικιστική γενίκευση της εξίσωσης Σρέντινγκερ για σωματίδια με σπιν  $1/2$ , β) ο γενικός φορμαλισμός της κβαντομηχανικής και ο συναφής συμβολισμός Ντιράκ των κβαντικών καταστάσεων, γ) η θεμελίωση της κβαντικής πλεκτροδυναμικής και, τέλος, η θεωρία των μαγνητικών μονοπόλων και η κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου που συνεπάγεται η ύπαρξή τους.

Προκειμένου να «θεραπεύσει» το –ενδεχομένως «θανάσιμο»– μειονέκτημα της εξίσωσής του να περιλαμβάνει λύσεις αρνητικής ενέργειας χωρίς κάτω φράγμα ακόμα και για ελεύθερα σωματίδια, ο Ντιράκ αναγκάστηκε να υιοθετήσει την παράτολμη ιδέα της *θάλασσας Φέρμι*. Να υποθέσει δηλαδή ότι όλες

οι καταστάσεις αρνητικής ενέργειας είναι γεμάτες από ηλεκτρόνια τα οποία γίνονται αντιληπτά μόνο όταν ένα απ' αυτά διεγερθεί σε μια κατάσταση θετικής ενέργειας αφήνοντας πίσω του μία *οππή* την οποία ο Ντιράκ είχε την ιδιοφυή έμπνευση να ερμηνεύσει ως το *αντισωματίο* του αρχικού. (Αν και το ταύτισε αρχικά –ειδικά για το ηλεκτρόνιο– όχι με ένα σωματίδιο της ίδιας μάζας και αντίθετου φορτίου, δηλαδή το *ποζιτρόνιο*, αλλά με το *πρωτόνιο*.) Ενώ συνειδητοποίησε επίσης ότι για να είναι κατ' αρχήν δυνατή η «πλήρωση» της θάλασσας Φέρμι –και να είναι έτοιμη η λύση του προβλήματος των αρνητικών ενεργειών– τα ηλεκτρόνια θα πρέπει να υπόκεινται υποχρεωτικά στην απαγορευτική αρχή του Πάουλι. Να είναι, δηλαδή, *φερμιόνια*. Εκτός από την πρόβλεψη της ύπαρξης αντισωματιδίων, ο Ντιράκ μπόρεσε έτοιμη να αποδείξει –αυτό θα το κάνει λίγο αργότερα ο Πάουλι– τουλάχιστον όμως να καταστήσει εύλογο το περίφημο *θεώρημα σπιν-στατιστικής*. Ότι δηλαδή τα σωματίδια με ημιακέραιο σπιν είναι φερμιόνια, και εκείνα με ακέραιο μποζόνια.

Η ιδέα της *θάλασσας Φέρμι* ως αναγκαίας προϋπόθεσης για τη σωστή φυσική ερμηνεία της εξίσωσης Ντιράκ έκανε επίσης σαφές από πολύ νωρίς ότι η κυματοσυνάρτηση Ντιράκ θα πρέπει μάλλον να ερμηνευτεί ως ένα *κβαντικό πεδίο* που θα περιγράφει ταυτόχρονα όχι μόνο το σωματίδιο και το αντισωματίδιό του αλλά και ένα αυθαίρετο πλήθος απ' αυτά, αφού η *δημιουργία* και η *καταστροφή σωματιδίων* –αυτό ανέδειξε η δουλειά του Ντιράκ– είναι θεμελιώδεις φυσικές διεργασίες στο πλαίσιο της σχετικιστικής κβαντομηχανικής. Πάνω σ' αυτές ακριβώς τις

ιδέες βασίστηκε ο Χάιζενμπεργκ το 1934 προκειμένου να θεμελιώσει τη σύγχρονη κβαντική θεωρία των πεδίων.

Ο ίδιος ο Ντιράκ θεωρεί ως κορυφαίο επίτευγμά του τον λεγόμενο *γενικό φορμαλισμό της κβαντομηχανικής* –ή *φορμαλισμό Ντιράκ*, όπως επίσης λέγεται– τον οποίο διατύπωσε σε αξεπέραστα κομψή μορφή στο ιστορικό πλέον βιβλίο του *Αρχές της Κβαντομηχανικής*, που εκδόθηκε το 1930 και αποτελεί έκτοτε την «βίβλο» της νέας θεωρίας. Η φυσική και μαθηματική ιδιοφυΐα του Ντιράκ διαπερνά κάθε γραμμή εκείνου του βιβλίου. Με σπάνια, αφαιρετική ικανότητα καταφέρνει να αναδειξεί ως τα πραγματικά θεμελιώδη στοιχεία της Νέας Μηχανικής αφ' ενός τη φύση των κβαντικών κοσταστάσεων *ως διανυσμάτων σ' έναν αφηρημένο διανυσματικό χώρο* και αφ' ετέρου τον χαρακτήρα των φυσικών μεγεθών *ως αφηρημένων γραμμικών τελεστών* που ικανοποιούν μια *μη μεταθετική άλγεβρα*. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το κβαντικό οικοδόμημα όπως «βγήκε» από τα χέρια του Ντιράκ, μόνο με *καθηδρικό ναό* –στην πιο απέριτη γοτθική εκδοχή του– μπορεί να παρομοιωθεί. Ο Ντιράκ μοιράστηκε το βραβείο Νομπέλ φυσικής με τον Σρέντινγκερ το 1933 «για την ανακάλυψη νέων γόνιμων μορφών ατομικής θεωρίας».

Από άποψη κοινωνικής προέλευσης, το σημείο εκκίνησης του Ντιράκ ήταν σίγουρα πολύ χαμηλότερο απ' ό,τι των άλλων πρωταγωνιστών της κβαντικής επανάστασης. Ο πατέρας του εργαζόταν ως δάσκαλος γαλλικών στο Μπρίστολ και η μητέρα του ως βιβλιοθηκάριος στη δημόσια βιβλιοθήκη της πόλης.



Λόγω του χαρακτήρα του πατέρα του –φαίνεται πως ήταν ένας παθολογικά ψυχρός και αυταρχικός άνθρωπος– τα παιδικά χρόνια του Ντιράκ μόνο ευτυχισμένα δεν μπορούν να χαρακτηριστούν. Όταν ο μεγαλύτερος αδελφός του Φέλιξ αυτοκτόνησε το 1925, ο Ντιράκ –εικοσιτριών χρόνων τότε– σημείωσε στο ημερολόγιό του: «Οι γονείς μου ήταν πολύ ταραγμένοι. Δεν ήξερα ότι νοιάζονταν τόσο πολύ... Ποτέ δεν ήξερα ότι οι γονείς θα πρέπει να νοιάζονται για τα παιδιά τους. Από τότε και μετά το ήξερα»!

Όντας ο ίδιος μετανάστης από την Ελβετία –με τα γαλλικά ως μητρική του γλώσσα– ο πατέρας Ντιράκ υποχρέωνε τα παιδιά του να του μιλούν μόνο γαλλικά! Για ένα κλειστό και μοναχικό παιδί όπως ήταν ο Ντιράκ –με τα αγγλικά ως μητρική του γλώσσα– η επιλογή ήταν αναπόφευκτη: σταμάτησε να μιλάει! Μια... συνήθεια που διατηρήθηκε και στην ενήλικη ζωή του. Η... ομιλητικότητά του ήταν παροιμιώδης. Οι συνάδελφοί του στο πανεπιστήμιο του Καίμπριτζ –όπου ήταν καθηγητής από το 1932 έως το 1969– έλεγαν αστειευόμενοι ότι θα 'πρεπε να οριστεί μια *μονάδα ομιλητικότητας* προς τιμήν του –το *Dirac* προφανώς– τέτοια ώστε: 1 Dirac = μια λέξη την ώρα! Οπότε βέβαια η ομιλητικότητα πολλών από μας θα αντιστοιχούσε σε τουλάχιστον μερικά KiloDirac!

Στην πραγματικότητα –όπως ανέδειξαν αργότερα οι βιογράφοι του– ο εύθραυστος χαρακτήρας, η μοναχικότητα και η έντονη εσωστρέφεια του Ντιράκ δεν ήταν μόνο αποτέλεσμα μιας άσχημης παιδικής ηλικίας. Τόσο ο ίδιος όσο και ο πατέρας του φαίνεται να έπασχαν από *αυτισμό* κάποιου βαθμού,

μια πάθηση που ίσως να μην είναι άσχετη με τη μαθηματική ιδιοφυΐα του.

Στην οικογενειακή του ζωή ο Ντιράκ στάθηκε λίγο τυχερότερος. Όντας στο Πρίνστον το 1934, γνώρισε και παντρεύτηκε την αδελφή του Ευγένιου Βίγκνερ –γνωστού (μεταξύ άλλων) για τη δουλειά του στην ανάλυση των συνεπειών της συμμετρίας στα κβαντικά συστήματα– και απέκτησε μαζί της δύο παιδιά.

Την τελευταία περίοδο της ακαδημαϊκής του ζωής την πέρασε στις Ηνωμένες Πολιτείες –στο πανεπιστήμιο του Μαϊάμι– επιδιώκοντας να είναι κοντά με την κόρη του που είχε επίσης εγκατασταθεί εκεί.

Ενδιαφέρουσα είναι επίσης η «διαδρομή» που οδήγησε τελικά τον Ντιράκ στη φυσική. Έκανε τις γυμνασιακές του σπουδές στο τεχνικό γυμνάσιο του Μπρίστολ –ένα σχολείο συνδεδεμένο με το αντίστοιχο πανεπιστήμιο– και ως φυσική συνέχεια σπούδασε κατόπιν *ηλεκτρολόγος μηχανικός* στο ίδιο πανεπιστήμιο. Ήδη πριν την αποφοίτησή του από το Μπρίστολ, πέρασε τις εισαγωγικές εξετάσεις για το κολλέγιο St John's του Καίμπριτζ, όμως η υποτροφία που κέρδισε δεν ήταν αρκετή για να ζήσει εκεί, ενώ η οικονομική ύφεση που ακολούθησε τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο δεν του επέτρεψε επίσης να βρει δουλειά ως μηχανικός παρά την κορυφαία διάκριση που είχε επιτύχει στο πτυχίο του. Επέλεξε έτσι να συνεχίσει τις σπουδές του στο πανεπιστήμιο του Μπρίστολ, όμως στο *τμήμα μαθηματικών* αυτή τη φορά. Τα πράγματα έγιναν ευκολότερα μετά τη δεύτερη αποφοίτησή του. Έλαβε μια καλή υποτροφία από το Ίδρυμα επισημονικής και βιομηχανικής έρευνας της Αγγλίας η οποία –σε

συνδυασμό με την ισχύουσα ακόμα προσφορά της υποτροφίας από το κολλέγιο St John's— του επέτρεψε να εγκατασταθεί στο Καίμπριτζ και να κάνει αυτό που είχε εν τω μεταξύ αποφασίσει ότι επιθυμούσε πάνω απ' όλα: *θεμελιώδη φυσική*.

Όπως και αρκετοί από τους θεμελιωτές της κβαντικής θεωρίας —και ίσως ο Ντιράκ περισσότερο απ' όλους— ήταν δηλωμένος *άθεος*. Σε μια από τις σπάνιες περιπτώσεις συμμετοχής του σε συζητήσεις γενικού περιεχομένου —μια συμμετοχή της τάξεως των εκατοντάδων Ντιράκ (!)— ανέπτυξε στους συνομιλητές του, Χάιζενμπεργκ και Πάουλι, την άποψή του για τις θρησκευτικές ή μη πεποιθήσεις του Αϊνστάιν και του Πλανκ (αυτό ήταν το θέμα της συζήτησης σ' ένα «διάλειμμα» του περίφημου συνεδρίου Σολβαί το 1927), λέγοντας ότι αν η θρησκεία είχε κάποιο νόημα για τον πρωτόγονο άνθρωπο, απόλυτα εκτεθειμένο στις υπέρτερες δυνάμεις της φύσης, δεν έχει όμως καμιά θέση στον σύγχρονο κόσμο όπου ο άνθρωπος γνωρίζει πλέον τους νόμους που κυβερνούν αυτή τη φύση και μπορεί ακόμα και να την «τιθασεύσει». Κι αν η θρησκεία επιβιώνει μέχρι σήμερα —συνεχίζει ο Ντιράκ σε μια τυπικά μεσοπολεμική αριστερή τοποθέτηση— είναι γιατί αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη στις εκμεταλλεύτριες τάξεις. Είναι το όπιο του λαού. Σύμφωνα με τον Χάιζενμπεργκ που αφηγείται το περιστατικό, ο σιωπηλός μέχρι τότε Πάουλι —μεγαλωμένος σε καθολική οικογένεια— πήρε το λόγο για να πει: «Λοιπόν, ο φίλος μας ο Ντιράκ μόλις απέκτησε θρησκεία που το βασικό της δόγμα είναι: Δεν υπάρχει θεός και ο Ντιράκ είναι ο προφήτης του!» Και η συζήτηση έληξε μ' ένα δυνατό γέλιο όλων τους.

Ο Ντιράκ πέθανε σε ηλικία 82 ετών και τάφηκε στο νεκροταφείο της πόλης Ταλαχάση, πρωτεύουσας της πολιτείας της Φλόριδας των Ηνωμένων Πολιτειών. Σ' έναν τοίχο του δημοτικού σχολείου του Μπρίστολ από το οποίο αποφοίτησε έχει χαραχθεί η περίφημη εξίσωσή του, ενώ μια αναμνηστική πλάκα δείχνει το πατρικό του σπίτι στην ίδια πόλη. Όμως η «είσοδος» του στο αβαείο του Γουέστμινστερ στο Λονδίνο δεν ήταν εξίσου εύκολη, λόγω των θεωρούμενων (όχι τελείως άδικα!) ως αντιχριστιανικών φρονημάτων του. Τελικά, ύστερα από πεντάχρονη διαμάχη, μια πλάκα από πράσινο γρανίτη με εγγεγραμμένη τη διάσημη εξίσωσή του τοποθετήθηκε στο αβαείο το 1995. Αν σκεφτούμε για λίγο ότι όλα τα θεμελιώδη σωματίδια από τα οποία οικοδομείται η ύλη –κουάρκς και λεπτόνια– είναι φερμιόνια με σπιν  $\frac{1}{2}$  και άρα περιγράφονται από την εξίσωση Ντιράκ και επίσης ότι η εξίσωση Σρέντινγκερ είναι απλώς μια οριακή της περίπτωση για μικρές ταχύτητες, τότε δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η θέση του Ντιράκ δεν είναι απλώς στο αβαείο του Γουέστμινστερ· είναι στην *αιωνιότητα*.



# ENRICO FERMI

(1901-1954)



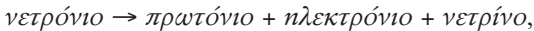
Ιταλός θεωρητικός και πειραματικός φυσικός –ένας από τους ελάχιστους που συνδύαζε και τα δύο– ο οποίος συνέδεσε το όνομά του με κορυφαίες στιγμές της φυσικής του εικοστού αιώνα. Είναι ο δημιουργός του πρώτου πυρηνικού αντιδραστήρα (Σικάγο 1942) και θεωρείται επίσης ο «πατέρας της ατομικής βόμβας» μαζί με τον Ρόμπερτ Οπενχάιμερ. Ενώ εξίσου σημαντική είναι και η συμβολή του στη θεμελιώδη φυσική. Αμέσως μετά τη διατύπωση της απαγορευτικής αρχής από τον Πάουλι (1925), ο Φέρμι –τότε ακόμα στην Ιταλία– ήταν ο πρώτος που κατάλαβε ότι η στατιστική συμπεριφορά ενός συστήματος σωματιδίων που υπόκεινται στην απαγορευτική αρχή –δηλαδή ενός συστήματος *φερμιονίων*, όπως τα αποκαλούμε σήμερα– είναι ριζικά διαφορετική από τη στατιστική Μάξγουελ-Μπόλτζμαν των κλασικών σωματιδίων. Η στατιστική που πρότεινε ο Φέρμι –και η οποία ανακαλύφθηκε ανεξάρτητα από τον

Ντιράκ– είναι πλέον γνωστή ως η *στατιστική Φέρμι-Ντιράκ* και αποτελεί τη βάση για τη φυσική της στερεάς κατάστασης όπου τα βασικά σωματίδια –τα ηλεκτρόνια– είναι, βεβαίως, φερμιόνια, αφού έχουν σπιν  $\frac{1}{2}$ . Η διατύπωση του πρώτου θεωρητικού μοντέλου για την ασθενή πυρηνική δύναμη –γνωστού έκτοτε ως *αλληλεπίδραση Φέρμι*– είναι η επόμενη μεγάλη συμβολή του Φέρμι στη *θεμελιώδη φυσική*. Μετά την πρόταση του Πάουλι, το 1931, ότι η διατήρηση της ενέργειας κατά τη *διάσπαση βήτα* απαιτεί την ύπαρξη ενός «φευγαλέου» σωματιδίου αμελητέας μάζας, ο Φέρμι έσπευσε κατ' αρχάς να γίνει ο «νονός» του –το «βάφτισε» νετρίνο– κυρίως όμως να περιγράψει θεωρητικά τον ρόλο του στην ασθενή δύναμη. Το θεωρητικό μοντέλο που πρότεινε παρέμεινε σε ισχύ για πολλές δεκαετίες και έπαιξε καθοριστικό ρόλο –τόσο λόγω των επιτυχιών του όσο και των σοβαρών προβλημάτων που το κατέτρυχαν– στην ανάπτυξη των λεγόμενων *θεωριών βαθμίδας* και την επινόηση του *μηχανισμού Χιγκς*, που έκαναν τελικά δυνατή την ενοποίηση των ασθενών με τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις στο πλαίσιο της οποίας λύνονται φυσιολογικά και τα προβλήματα του αρχικού «μοντέλου Φέρμι» των ασθενών δυνάμεων. Εν τούτοις, η δημοσίευση της σχετικής εργασίας του Φέρμι απορρίφθηκε από το περιοδικό *Nature* και το άρθρο δημοσιεύτηκε τελικά στο ιταλικό περιοδικό *Nuovo Cimento* το 1934!

Κάθε μία από τις παραπάνω συμβολές του Φέρμι θα αρκούσε βεβαίως από μόνη της όχι απλώς για να του δώσει το βραβείο Νομπέλ αλλά και να του εξασφαλίσει μια θέση στο «πάνθεον» των θεμελιωτών της κβαντικής θεωρίας. Όμως από

ειρωνεία της τύχης το βραβείο Νομπέλ απονεμήθηκε στον Φέρμι, το 1938, για ένα πείραμά του που αποδείχτηκε λίγο μετά ότι είχε ερμηνευτεί λάθος!

Η ιστορία έχει ως εξής. Όντας ο πρώτος που διαπίστωσε ότι τα βραδέα νετρόνια απορροφώνται πολύ περισσότερο από βαρείς πυρήνες σε σύγκριση με τα ταχέα νετρόνια – μια σημαντική ανακάλυψη από μόνη της– ο Φέρμι προσπάθησε αμέσως μετά να αξιοποιήσει αυτό το γεγονός για να παράγει στοιχεία βαρύτερα από το ουράνιο, δηλαδή τα *υπερουράνια στοιχεία* όπως λέγονται. Η βασική ιδέα είναι πολύ απλή. Όταν ένας πυρήνας «βομβαρδιστεί» με βραδέα νετρόνια θα απορροφήσει κάποια απ' αυτά και θα αποκτήσει περισσότερα νετρόνια απ' ό,τι το σταθερό του ισότοπο. Θα γίνει έτσι *ασταθής* και θα ακολουθήσει η διαδικασία της *διάσπασης βήτα*, μέσω της ασθενούς αντίδρασης



η οποία μετατρέπει τον αρχικό πυρήνα σε έναν άλλο με ατομικό αριθμό αυξημένο κατά μονάδα αφού απέκτησε ένα ακόμη πρωτόνιο. Εν τούτοις, όταν ο Φέρμι και η ομάδα του βομβάρδισαν με νετρόνια τα στοιχεία *θόριο* και *ουράνιο*, αυτό που συνέβη δεν ήταν η παραγωγή βαρύτερων στοιχείων, όπως πίστευαν, αλλά το *φαινόμενο της σχάσης* το οποίο κανείς δεν θεωρούσε πιθανό εκείνη την περίοδο. Με την εκ των υστέρων σοφία μας δεν είναι δύσκολο να καταλάβουμε σήμερα τόσο τους θεωρητικούς όσο και τους πειραματικούς λόγους που παραπλάνησαν τον Φέρμι –και όχι μόνο– ώστε να ερμηνεύσει τα πειραματικά



του ευρήματα ως παραγωγή υπερουράνιων στοιχείων και όχι ως σχάση. Το βέβαιο είναι ότι το γεγονός θα καταγραφεί στην ιστορία της φυσικής του εικοστού αιώνα ως ένα από τα ιδιάζοντα περιστατικά της.

Εκτός πολλών άλλων ο Φέρμι ήταν επίσης διάσημος και για την περίφημη *μέθοδο Φέρμι*. Δηλαδή την ασυνήθιστη ικανότητά του να κάνει απλές *εκτιμήσεις τάξεως μεγέθους* –άλλοτε με το μυαλό κι άλλοτε πάνω σ' ένα επιστολόχαρτο ή μια χαρτοπετσέτα– ακόμα και για τα πιο απίθανα προβλήματα που μπορούσε να σκεφτεί, και να πέφτει συνήθως πολύ κοντά στο πραγματικό νούμερο. Μια περίφημη τέτοια περίπτωση ήταν τον Ιούλιο του 1945 κατά την πρώτη δοκιμή της ατομικής βόμβας στο Νέο Μεξικό, όταν ο Φέρμι κατάφερε να εκτιμήσει σωστά την ισχύ της αφήνοντας να πέσουν λίγα κομμάτια χαρτί και βλέποντας πόσο μακριά τα παρέσυρε το ωστικό της κύμα στο σημείο παρατήρησης. Οι γρήγοροι υπολογισμοί τάξης μεγέθους ήταν επίσης ο τρόπος που ο Φέρμι προσέγγιζε τις πυρηνικές διεργασίες ή όποιους άλλους φυσικούς μηχανισμούς υπεισέρχονταν στα πειράματά του, ώστε να εκτιμήσει «στα γρήγορα» ποιοι είναι οι *σημαντικοί παράγοντες* και να σχεδιάσει ανάλογα την πειραματική του διάταξη. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι από τους πρωταγωνιστές της κβαντικής επανάστασης ο Φέρμι ήταν εκείνος με την πιο ολοκληρωμένη *επιστημονική προσωπικότητα*.

Πέρα όμως από το πλήρες φάσμα επιστημονικών ικανοτήτων που διέθετε ο Φέρμι –από την καθαρή θεωρία, τους σκληρούς υπολογισμούς και τις εκτιμήσεις τάξεως μεγέθους έως τον ακριβή σχεδιασμό ενός πολύπλοκου πειράματος– ήταν επίσης

μοναδική και η ικανότητά του ως *μηχανικού*. Η κατασκευή του πρώτου πυρηνικού αντιδραστήρα που τέθηκε σε λειτουργία τον Δεκέμβριο του 1942 στο Σικάγο –αλλά και δύο άλλων λίγο αργότερα– δεν θα ήταν τόσο γρήγορα δυνατή αν ένας ιδιοφυής μηχανικός δεν συνυπήρχε αρμονικά με τον ταλαντούχο θεωρητικό και πειραματικό φυσικό. Είναι χαρακτηριστικό ότι η κατασκευή του αντιδραστήρα άρχισε στις 6 Νοεμβρίου του 1942 και τέθηκε σε αυτοσυντηρούμενη λειτουργία (κρίσιμη τιμή) στις 2 Δεκεμβρίου του ίδιου έτους! Παρών κατά την ιστορική στιγμή και ο Άρθουρ Κόμπτον –μέλος τότε της εθνικής επιτροπής ουρανίου– ο οποίος διαβίβασε «αρμοδίως» το συνταρακτικό νέο μ' ένα κωδικοποιημένο τηλεφώνημα με την κωδική φράση «Ο ιταλός ναυσιπλόος μόλις έφτασε στον νέο κόσμο». Αξίζει να σημειωθεί επ' ευκαιρία ότι η κατασκευή και λειτουργία του αντιδραστήρα του Σικάγου –και των δύο άλλων που ακολούθησαν– ήταν στενά συνδεδεμένη με την προοπτική της βόμβας. Μάλιστα ο Κόμπτον εκτιμούσε ότι η μαζική παραγωγή πλουτωνίου από έναν πυρηνικό αντιδραστήρα ήταν μια πιο ρεαλιστική τακτική για την κατασκευή της βόμβας (το πλουτόνιο είναι εξίσου σχάσιμο υλικό με το ουράνιο-235) αντί της παραγωγής εμπλουτισμένου ουρανίου η οποία τελικά προκρίθηκε.

Ο πρωταγωνιστικός ρόλος του Φέρμι στην κατασκευή της ατομικής βόμβας ήταν βεβαίως αναμενόμενος εν όψει των παραπάνω. Μαζί με τον Οπενχάιμερ –ο οποίος προσέφερε εκτός των άλλων και τα σπάνια ηγετικά του προσόντα– πήραν πάνω τους το εγχείρημα (μάλλον ευκολότερο από τη λειτουργία ενός αντιδραστήρα) και η πρώτη ατομική βόμβα –ένα σημαδιακό

γεγονός στην ανθρώπινη ιστορία– ήταν έτοιμη για δοκιμή –και δοκιμάστηκε– στις 16 Ιουλίου του 1945.

Όμως η στάση του Φέρμι απέναντι στα πυρηνικά όπλα μεταβλήθηκε σημαντικά μετά τον πόλεμο όπως εξάλλου και του Αϊνστάιν που είχε προσυπογράψει, το 1944, μαζί με τον Σιλάρ την περίφημη επιστολή προς τον Ρούσβελτ που φαίνεται να ήγειρε οριστικά την πλάστιγγα προς την κατεύθυνση της μαζικής στήριξης του σχεδίου Μανχάταν. Ως μέλος του επιστημονικού συμβουλίου της εθνικής επιτροπής ατομικής ενέργειας –του οποίου προέδρευε ο Οπενχάιμερ– ο Φέρμι αντιτέθηκε σφόδρα στην παραγωγή της βόμβας υδρογόνου –μια βόμβα σύντηξης πλέον αντί σχάσης– υπογράφοντας σχετική έκθεση μαζί με τον Ράμπι (γνωστό από τη δουλειά του στην ατομική φυσική) με ηθικά όσο και τεχνικά επιχειρήματα. Όμως το τζίνι είχε ήδη βγει από το μπουκάλι και ουδείς ήταν σε θέση να το φέρει πίσω. Ο ψυχρός πόλεμος και η κούρσα των πυρηνικών εξοπλισμών είχε αρχίσει. Και κάθε επιφύλαξη απέναντι στη συνέχιση ή στις κατευθύνσεις του πυρηνικού προγράμματος μπορούσε άνετα να χαρακτηριστεί ύποπτη. Οι διαφωνούντες ήταν πλέον *κίνδυνος ασφαλείας* ή ακόμα και *κατάσκοποι* της άλλης πλευράς. Όπως και αρκετοί άλλοι από τους πρωτεργάτες του σχεδίου Μανχάταν, ο Φέρμι θα καταθέσει υπέρ του Οπενχάιμερ στην επιτροπή του κογκρέσου που ανέλαβε να ερευνήσει τις κατηγορίες εναντίον του «βασικού υπόπτου». Με το γνωστό αποτέλεσμα. Ο Οπενχάιμερ θα χαρακτηριστεί «κίνδυνος ασφαλείας» και θα απαλλαγεί των καθηκόντων του. Οι καιροί ήταν πλέον ώριμοι για μια διαφορετική γενιά φυσικών, όπως ο Έντουαρντ Τέλερ, διατεθειμένων

να υπηρετήσουν την κεντρική εξουσία με πολύ λιγότερες ηθικές αναστολές απ' ό,τι οι προηγούμενοι. Υπάρχει όμως και η θετική πλευρά της υποθέσεως. Η περίπτωση Οπενχάιμερ έπεισε τους πιο ταλαντούχους φυσικούς που συμμετείχαν στο σχέδιο Μανχάταν να διακόψουν τη σχέση τους με τον στρατό και να επανέλθουν στην έρευνα της θεμελιώδους φυσικής η οποία γνώρισε έτσι μοναδική άνθηση κατά τη μεταπολεμική περίοδο. Σ' αυτό το πνεύμα ο Φέρμι επιστρέφει στο πανεπιστήμιο του Σικάγου και αφοσιώνεται στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων «παράγοντας», μεταξύ άλλων, και μερικούς από τους καλύτερους νέους φυσικούς της περιόδου, οι οποίοι εκπόνησαν μαζί του τη διατριβή τους. Μαζί με τον Γιανγκ –τον κινεζικής καταγωγής φυσικό ο οποίος, σε συνεργασία με τον Λι, ανακάλυψε το 1957 την παραβίαση της συμμετρίας αριστερού-δεξιού από τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις– ο Φέρμι διατύπωσε για πρώτη φορά την υπόθεση ότι τα  $\pi$ -μεσόνια μπορεί να είναι *σύνθετα σωματίδια*, προαναγγέλλοντας έτσι την ύπαρξη των *κουάρκ* αρκετά χρόνια πριν την ανακάλυψή τους. Η προέλευση της κοσμικής ακτινοβολίας –κυρίως πρωτόνια υψηλής ενέργειας, όπως καλά γνωρίζουμε σήμερα– ήταν επίσης ένα από τα θέματα που τράβηξαν την προσοχή του Φέρμι κατά την πρώτη μεταπολεμική περίοδο και βέβαια ο μηχανισμός της επιτάχυνσής τους.

Επιστρέφοντας στα «γήινα» –και με όλη την εμπειρία της βόμβας να τον βαραίνει– ο Φέρμι διερωτήθηκε συχνά αν το είδος μας έχει πράγματι τη δυνατότητα να διαχειριστεί με κάποια σωφροσύνη τις πέρα από το ανθρώπινο μέτρο δυνάμεις –με την πυρηνική ενέργεια πάνω απ' όλες– που η έρευνα της

φύσης τού επέτρεψε να απελευθερώσει. Σ' ένα σχετικό κείμενό του, αφού προδικάσει τη ραγδαία τεχνολογική πρόοδο, που θα ακολουθήσει την ανακάλυψη των θεμελιωδών δομών της ύλης και των νόμων που τις διέπουν, καταλήγει: «Αυτό που είναι λιγότερο βέβαιο –και που όλοι με πάθος ευχόμαστε– είναι ότι ο άνθρωπος θα ενηλικιωθεί σχετικά γρήγορα ώστε να κάνει σώφρονα χρήση της ισχύος που απέκτησε πάνω στη φύση». Είναι γνωστή μάλιστα η υπόθεσή του για την απουσία εξωγήινων «εκεί έξω», ενώ έχουμε κάθε λόγο να πιστεύουμε ότι η ύπαρξή τους είναι στατιστικά αναπόφευκτη. «Where are they? – Πού 'ν' τους;» είναι ένα ερώτημα που συχνά έθετε. Με σαφώς υπονοούμενη απάντηση ότι κανείς τεχνολογικός πολιτισμός –τουλάχιστον στην άμεση κοσμική γειτονιά μας– δεν κατάφερε να ενηλικιωθεί αρκετά γρήγορα ώστε να αποφύγει μια πυρηνική καταστροφή.

Όμως η περίπτωση Φέρμι παρουσιάζει ενδιαφέρον και από μια διαφορετική άποψη. Με την εξαίρεση του Ντε Μπρολί –του οποίου όμως η συμβολή στην κβαντική φυσική υπήρξε μάλλον *στιγμαία*– ο Φέρμι ήταν ο μόνος που «έσπασε» την αγγλο-γερμανική μονοκρατορία στο πεδίο και έφερε στο προσκήνιο μια χώρα, όχι βέβαια χωρίς επιστημονική παράδοση, σίγουρα όμως έξω από τη λέσχη των τότε ισχυρών. Και είναι αξιοσημείωτο απ' αυτή την πλευρά ότι οι σημαντικότερες εργασίες του Φέρμι στη θεμελιώδη φυσική –π.χ. η στατιστική Φέρμι-Ντιράκ και η θεωρία Φέρμι των ασθενών αλληλεπιδράσεων– έγιναν ενώ βρισκόταν ακόμα στην Ιταλία, όπου έγινε επίσης και όλη

η πειραματική δουλειά που του χάρισε το βραβείο Νομπέλ το 1938, αν και για τους λάθος λόγους όπως είδαμε. Ως καθηγήτῆς στο πανεπιστήμιο της Ρώμης ἤδη σε ηλικία 24 ετῶν –και με την ισχυρή υποστήριξη του επίσης φυσικού Όρσο Κορμπίνο, μέλους της κυβέρνησης Μουσολίνι– ο Φέρμι κατάφερε να δημιουργήσει μια καταπληκτική ομάδα νεαρῶν φυσικῶν που λάμπρυναν με την παρουσία τους την ιταλική φυσική στα πρώτα μεταπολεμικά χρόνια.

Όμως η ανάγκη του φασιστικού καθεστώτος να χρησιμοποιήσει τον Φέρμι ως διεθνή «σημαία» του στον χώρο της επιστήμης, αλλά και η ανάγκη του Φέρμι να εξασφαλίσει υποστήριξη για το ἔργο του, δεν ἦταν ἓνα «ακίνδυνο» παιχνίδι. Τον Μάρτιο του 1929 ο Φέρμι ορίζεται ἀπὸ τον Μουσολίνι μέλος της Βασιλικῆς Ακαδημίας της Ιταλίας –μᾶλλον το νεαρότερο στην ιστορία της– και ἓνα μήνα μετὰ γίνεται ἔπίσης μέλος του φασιστικῶς κόμματος. Σίγουρα ὄχι δύο ασύνδετα γεγονότα. Τα αισθήματά του ἀπέναντι στο καθεστῶς –αν υποθεθεῖ ὅτι η ἔνταξή του στο κόμμα ἀντιπροσώπευε κάτι περισσότερο ἀπὸ μια καιροσκοπική ἐνέργεια– ἄρχισαν να ἀντιστρέφονται λίγα χρόνια ἀργότερα, ὅταν μια σειρά ἀντιεβραϊκῶν νόμων ἔθεταν σε κίνδυνο την ἴδια την οἰκογένειά του, ἀφού η σύζυγός του ἦταν εβραϊκῆς καταγωγῆς. Ἐτσι το 1938, ἀμέσως μετὰ την τελετή ἀπονομῆς του βραβείου Νομπέλ στην Στοκχόλμη, ὅπου τον συνόδευσαν η γυναίκα του και τα παιδιά τους, ἀποφασίζει να μὴ ἐπιστρέψουν στην Ιταλία ἀλλὰ να μεταναστεύσουν στις Ἡνωμένες Πολιτείες με τις ευκαιρίες και τις προκλήσεις που τον περίμεναν ἐκεῖ.

Στον μακρύ κατάλογο των ξεχωριστών ικανοτήτων του Φέρμι δεν μπορεί να μην προστεθεί και εκείνη του *εμπνευσμένου δασκάλου*. Τα μαθήματά του –στη Ρώμη ή στο Σικάγο– διακρίνονταν πάντα για την προσεκτική προετοιμασία τους και, κυρίως, για την απλότητα της παρουσίασης δύσκολων εννοιών και μεθόδων. Ο Φέρμι απεχθανόταν σφόδρα τις περιπεπλεγμένες αναλύσεις και τις βαρύγδουπες θεωρίες, ιδίως όταν γνώριζε από πείρα ότι αν επιμείνεις λίγο θα βρεις πάντα έναν *απλό* –ή, έστω, *απλούστερο*– τρόπο να κάνεις έναν περίπλοκο υπολογισμό ή να εξηγήσεις μια δύσκολη έννοια. Σημειώσεις από τα μαθήματά του βγήκαν αργότερα ως βιβλία, με περισσότερο γνωστό ένα μικρό «βιβλιαράκι» με τις διαλέξεις του στο μάθημα της θερμοδυναμικής και της στατιστικής μηχανικής στο πανεπιστήμιο του Σικάγου. Το βιβλίο αυτό έχει μεταφραστεί και στα ελληνικά από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Ο Φέρμι τιμήθηκε όσο λίγοι τόσο κατά τη διάρκεια της ζωής του όσο και μετά τον θάνατό του, σε ηλικία μόλις 53 ετών, από καρκίνο του στομάχου. Ο επιταχυντής σωματιδίων στην Μπατάβια του Ιλινόις –το περίφημο Fermilab– το διαστημικό τηλεσκόπιο ακτίνων γ, πολλοί αντιδραστήρες στις ΗΠΑ και αλλού, και πολλά άλλα φέρουν το όνομά του, όπως επίσης και το υπ' αριθμόν  $Z = 100$  τεχνητό στοιχείο του περιοδικού συστήματος.

Στη δωδεκάδα των πρωταγωνιστών της κβαντικής επανάστασης ο Φέρμι κατέχει σίγουρα μια ξεχωριστή θέση. Στο πρόσωπό του συμπυκνώθηκαν τα ακραία ηθικά διλήμματα που έφερε στο φως η κατάκτηση του μικρόκοσμου. Αυτής της

θαυμαστής καινούργιας χώρας στην οποία εισήλθε ο ανθρώπινος πολιτισμός εδώ και εκατό χρόνια. Χωρίς να είναι ακόμα σίγουρο ότι έχει επίγνωση τι είδους «σύνορο» ήταν αυτό που διέσχισε.