

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΣ

Ο ΚΒΑΝΤΙΚΟΣ ΜΥΘΟΣ ΤΟΥ ΣΙΣΥΦΟΥ

ΔΟΚΙΜΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΟΓΟΥ

Θέση υπογραφής δικαιούχου δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας,
εφόσον η υπογραφή προβλέπεται από τη σύμβαση.

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις της ελληνικής νομοθεσίας (Ν. 2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιονδήποτε τρόπο ή μέσο (ηλεκτρονικό, μηχανικό ή άλλο) αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Εκδόσεις Πατάκη – Θετικές επιστήμες
Δημήτρης Νανόπουλος, *Ο κβαντικός μύθος του Σίσυφου*
Υπεύθυνος έκδοσης: Κώστας Γιαννόπουλος
Διορθώσεις: Κώστας Σίμος
Σχεδιασμός εξωφύλλου: k2design
Σελιδοποίηση: Σ. Πατάκης ΑΕΕΔΕ
Copyright© Σ. Πατάκης ΑΕΕΔΕ (Εκδόσεις Πατάκη)
και Δημήτρης Νανόπουλος, 2026
Πρώτη έκδοση από τις Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα, Ιούλιος 2026
KET K277 ΚΕΠ 458/26
ISBN 978-618-07-1536-1



ΠΑΝΑΓΗ ΤΣΑΛΔΑΡΗ (ΠΡΩΗΝ ΠΕΙΡΑΙΩΣ) 38, 104 37 ΑΘΗΝΑ,
ΤΗΛ.: 210.36.50.000, 210.52.05.600, 801.100.2665, ΦΑΞ: 210.36.50.069
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ: ΕΜΜ. ΜΠΕΝΑΚΗ 16, 106 78 ΑΘΗΝΑ, ΤΗΛ.: 210.38.31.078
ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΗΜΑ: ΚΟΡΙΝΘΟΣ (ΤΕΡΜΑ ΠΟΝΤΟΥ - ΠΕΡΙΟΧΗ Β' ΚΤΕΟ),
570 09 ΚΑΛΟΧΩΡΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΤΗΛ.: 2310.70.63.54, 2310.70.67.15, ΦΑΞ: 2310.70.63.55
Web site: <http://www.patakis.gr> • e-mail: info@patakis.gr, sales@patakis.gr

Για την Όλγα και τον Οδυσσέα

*Nature isn't classical, dammit,
and if you want to make a simulation of Nature,
you'd better make it quantum mechanical*

Richard Feynman

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	15
ΕΝΑ In the beginning... ..	21
ΔΥΟ Κβαντικός κόσμος	67
ΤΡΙΑ The super-quantum world	91
ΤΕΣΣΕΡΑ Quantum vadis M-OET [Model (theory) Of EveryThing]	131
ΠΕΝΤΕ Κβαντικό θέατρο του παραλόγου: Από την κβαντική (αυτο)δημιουργία του Σύμπαντος στον κβαντικό εγκέφαλο;	147
ΕΞΙ Η πραγματική πραγματικότητα... ..	171
Αντί επιλόγου. Quantum vadis: Ανάμεσα στο τίποτα και το παράλογο	179
Πηγές φωτογραφιών	183
Ευχαριστίες	185

Ο ΚΒΑΝΤΙΚΟΣ ΜΥΘΟΣ ΤΟΥ ΣΙΣΥΦΟΥ



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΕΛΛΗΝΩΝ ΚΑΙ ΞΕΝΩΝ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ

ΑΛΜΠΕΡ ΚΑΜΥ

ὁ μῦθος τοῦ ΣΙΣΥΦΟΥ



ΔΟΚΙΜΙΟ ΠΛΗΡΟΣ ΣΤΟ ΠΑΡΑΛΟΓΟ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ

ΓΑΛΛΕΙΑ



ΣΕΛΙΔΕΣ 160 - ΑΡΧ. 30

...Κάποτε, στη δεκαετία του '60, ένας ήσυχος νεαρός, καθώς έβγαινε από τον κινηματογράφο ΑΕΛΛΩ στην οδό Πατησίων, βρέθηκε μπροστά σε έναν πάγκο με βιβλία σε οικονομικές τιμές. Όντας βιβλιοφάγος, σταμάτησε. Το μάτι του έπεσε σε ένα βιβλίο τσέπης, πράσινου χρώματος, με τίτλο *Ο μύθος του Σίσυφου* και συγγραφέα τον Αλμπέρ Καμύ. Τον Σίσυφο τον είχε «ακούσει», τον Καμύ όχι. Αγόρασε το βιβλίο και, μέχρι να φτάσει από την Πατησίων στου Ζωγράφου, είχε ήδη διαβάσει αρκετές από τις πρώτες σελίδες... Έμεινε άναυδος! Του άρεσαν τόσο πολύ αυτά που διάβαζε, που σχεδόν ξενύχτησε.

Πού να ήξερε;

Εισαγωγή

Είμαστε πολύ τυχεροί που υπάρχουμε. Σκεφτείτε: μετά από 13,8 δισεκατομμύρια χρόνια από τη στιγμή που γεννήθηκε αυτό το Σύμπαν, περίπου 10^{29} πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια, υπακούοντας στους κβαντικούς νόμους της Φύσης, συσσωρεύτηκαν και μας έφτιαξαν! Αν συλλογιστείτε την πιθανότητα αυτού και μόνο του γεγονότος, καταλαβαίνετε αμέσως, εσείς που διαβάζετε αυτές τις γραμμές, το παράλογο της ύπαρξής μας.

Αν εξοικειωθούμε με αυτή την ιδέα, τότε ξεπηδούν άλλες ιδέες οι οποίες όμως έχουν τη μορφή βασανιστικών ερωτήσεων: Πώς ένας τόσο απίστευτα μεγάλος αριθμός στοιχειωδών σωματιδίων (10^{29}) βρέθηκαν μαζί και προέκυψε από αυτά ο άνθρωπος; Ποιες δυνάμεις τα συγκροτούν; Από πού προήλθαν αυτά τα σωματίδια; Πώς κατανοούμε τον κόσμο μας, το Σύμπαν μας; Πώς εμφανίστηκε; Ποιος είναι ο ρόλος μας μέσα σε αυτό, αν υπάρχει κάποιος ρόλος; Μπορούμε

εμείς –οι απειροελάχιστες χωροχρονικές κάψουλες– να κατανοήσουμε το Σύμπαν, να εξηγήσουμε πώς γεννήθηκε, πώς εξελίχθηκε, πώς έφτασε στη σημερινή του μορφή; Και τέλος, υπάρχει άραγε σκοπός πίσω απ’ όλα αυτά;

Με άλλα λόγια: μπορούμε να δώσουμε μια επιστημονική εξήγηση του Σύμπαντος, βασισμένη στους φυσικούς νόμους; Και αν ναι, τότε πώς εμφανίστηκαν οι ίδιοι αυτοί οι νόμοι;

Το συγκλονιστικό, αν και ελάχιστα γνωστό, είναι ότι σήμερα διαθέτουμε πειστικές απαντήσεις σε όλα τα παραπάνω ερωτήματα. Ακούγεται ίσως αυθάδεια, ακόμη και «ύβρις», ιδίως αν σας πω ότι οι απαντήσεις προέρχονται από τη Φυσική των Υψηλών Ενεργειών και την Κοσμολογία.

Αυτό είναι και το κεντρικό θέμα του βιβλίου: να δούμε πώς οι νέες ιδέες μαζί με τα πειραματικά και παρατηρησιακά δεδομένα της Αστροσωματιδιακής Φυσικής –της σύνθεσης δηλαδή της Φυσικής των Στοιχειωδών Σωματιδίων και της Κοσμολογίας– μας οδηγούν με φυσικό τρόπο στις απαντήσεις στα Μεγάλα Ερωτήματα τα οποία μπορεί να μη μας απασχολούν όλους, αλλά σίγουρα μας αφορούν όλους.

Οι ραγδαίες εξελίξεις στην Αστροσωματιδιακή Φυσική –την ενοποιημένη Φυσική του μικρόκοσμου και του μακρόκοσμου– υποδεικνύουν ένα Σύμπαν που ίσως να γεννήθηκε ως χβαντική διακύμανση από το χβαντικό κενό, το οποίο πολλοί ταυτίζουν με το απόλυτο «τίποτα».

Αναδύεται έτσι ένα νέο φιλοσοφικό σύστημα, που θυμίζει σαφώς τη φιλοσοφία του παραλόγου όπως την παρουσίασε ο Αλμπέρ Καμύ στον *Μύθο του Σίσυφου*. Θα μπορούσαμε να πούμε, σχηματικά, ότι ζούμε μέσα σε ένα Σύμπαν «παράλογο» και «αδιάφορο».

Και όμως, αυτή η αδιαφορία είναι η πιο ειλικρινής μορφή «σχέσης» που μπορεί να μας «προσφέρει» το Σύμπαν. Γιατί μέσα σε αυτή την απουσία νοήματος, ουσιαστικά γεννιέται η δική μας ανάγκη να ανακαλύψουμε το νόημα. «Κάπου, κάτι εκπληκτικό περιμένει να ανακαλυφθεί» λέει ο Carl Sagan. Και προσωπικά πιστεύω ότι η ίδια η ανθρώπινη περιέργεια είναι μια από τις πιο καθαρές αποδείξεις ότι υπάρχουμε: *curiosus, ergo sum*.

Σε παρόμοια συμπεράσματα, για ένα Σύμπαν «παράλογο» και «αδιάφορο», είχε φτάσει μισό αιώνα νωρίτερα, από την πλευρά της Μοριακής Βιολογίας, ο μεγάλος βιοχημικός Jacques Monod, στο εμβληματικό του έργο *Le Hasard et la Nécessité* (1970). Έγραφε: «Το Σύμπαν δεν κυοφορεί τη ζωή, ούτε η βίοσφαιρα τον άνθρωπο... Ο άνθρωπος επιτέλους γνωρίζει ότι είναι μόνος στην αδιαφορη απεραντοσύνη του Σύμπαντος, από το οποίο προέκυψε μόνο τυχαία. Το πεπρωμένο του δεν είναι πουθενά γραμμένο, ούτε το καθήκον του. Το βασίλειο επάνω ή το σκοτάδι κάτω – είναι στο χέρι του να το επιλέξει».

Ίσως εκεί να βρίσκεται και η διαφορά μας από τα υπόλοιπα όντα: δεν αρκούμαστε να υπάρχουμε. Θέλουμε να ξέρουμε τι σημαίνει που υπάρχουμε. Και

αυτό, όσο κι αν μοιάζει μάταιο, είναι η πιο συγκινητική μορφή αξιοπρέπειας που διαθέτει ο άνθρωπος.

Πενήντα χρόνια μετά, με τον προσήκοντα σεβασμό, καταθέτω τις δικές μου απόψεις, όπως εγώ «διαβάζω» τη σύγχρονη Κοσμολογία και τη Φυσική των Στοιχειωδών Σωματιδίων. Θα μπορούσαν να συνοψιστούν στα εξής:

Είμαστε απειροελάχιστες χωροχρονικές κάψουλες μέσα σε ένα απέραντο, διαστελλόμενο Σύμπαν, που δεν του καίγεται καρφί αν υπάρχουμε, ή αν προσπαθούμε να το κατανοήσουμε. Είμαστε τυχαίες υπάρξεις πάνω στον τρίτο βράχο από τον Ήλιο, που τον λέμε Γη, έναν πλανήτη γύρω από ένα αστέρι που ονομάζουμε Ήλιο, ένα από τα εκατό δισεκατομμύρια άστρα του Γαλαξία μας, ενός από τα εκατό δισεκατομμύρια γαλαξίες του Σύμπαντος – που ίσως να μην είναι και το μόνο. Για ποιον «σκοπό» λοιπόν μιλάμε;

Εμείς είμαστε που καθορίζουμε τον σκοπό μας και τον τρόπο που θα ζήσουμε αυτό το «από δω μέχρι εκεί» που είναι η ζωή μας, γνωρίζοντας τι μας περιμένει στο τέλος, αλλά επιλέγοντας παρ' όλα αυτά να ζήσουμε. Και αυτή η επιλογή είναι πράγματι μια ηρωική απόφαση.

Όπως έλεγε ο «σκοτεινός» φιλόσοφος Ηράκλειτος, πριν από δυόμισι χιλιάδες χρόνια: Η μοίρα μας είναι ο χαρακτήρας μας.

Αυτό που μας ξεχωρίζει δεν είναι η θέση μας στο Σύμπαν, αλλά η στάση μας απέναντί του. Το πώς επιλέγουμε να σταθούμε μέσα στην απεραντοσύνη.

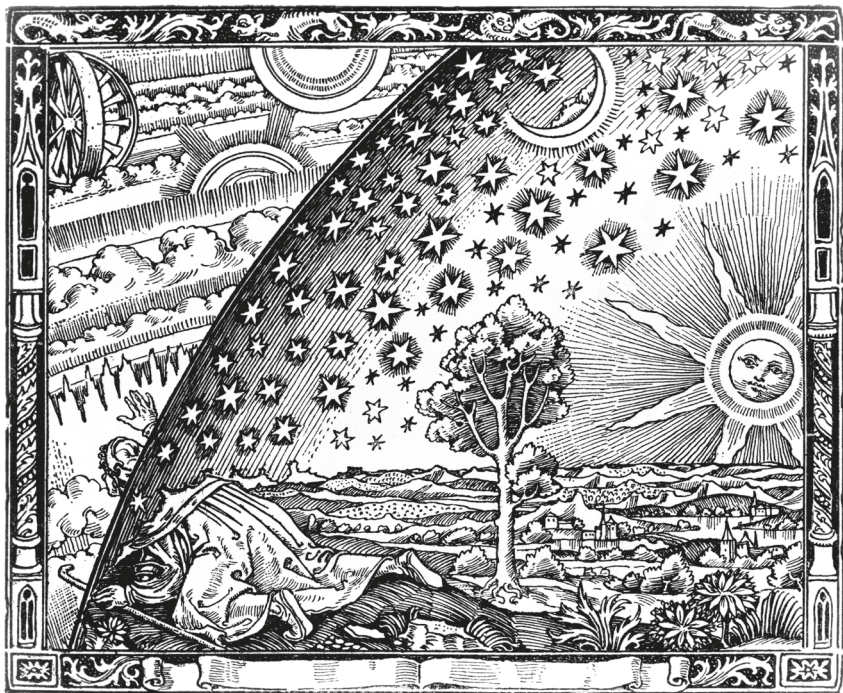


Ο Ηράκλειτος
ο Εφέσιος
(περ. 540-480 π.Χ.),
γνωστός ως
«σκοτεινός»
φιλόσοφος λόγω
του πυκνού,
αινιγματικού και
συχνά δυσνόητου
λόγου του.

Το «από δω μέχρι εκεί» είναι στην ουσία το μέτρο του ανθρώπου: να αναγνωρίζει τα όριά του, αλλά να μη σταματά να τα αμφισβητεί.

Σκοπός λοιπόν αυτού του βιβλίου είναι να εξηγήσω, όσο πιο απλά και καθαρά μπορώ, χωρίς όμως επιστημονικές εκπτώσεις, όλα όσα χρειάζεστε για να καταλάβετε πώς οδηγήθηκα σε αυτό το συμπέρασμα. Ο δρόμος ίσως είναι μακρύς και δύσκολος, αλλά πιστεύω πως το τελικό αποτέλεσμα θα δικαιώσει την προσπάθειά σας. Και τότε, θα μπορείτε να κρίνετε αν η «ανάγνωσή» μου της σύγχρονης Φυσικής έχει σχέση με την πραγματικότητα.

Από σας ζητώ, με όλη μου τη δύναμη, να μην εγκαταλείψετε την ανάγνωση ακόμα και αν στην πορεία



Ξυλογραφία από άγνωστο καλλιτέχνη, που εμφανίστηκε για πρώτη φορά στο βιβλίο του Camille Flammarion *L'atmosphère: météorologie populaire* (1888). Ένας άνδρας γλιστρά πέρα από τον στερεό ουράνιο θόλο για να αντικρίσει το Εμπύρειο, τον μυστηριώδη κόσμο πέρα από τα άστρα, όπως τον φανταζόταν η μεσαιωνική σκέψη. Περισσότερο από μια εικόνα του Σύμπαντος, είναι μια εικόνα της ανθρώπινης ανάγκης να υπερβεί τα όριά της και να αναζητήσει τι υπάρχει πέρα από το «από δω μέχρι εκεί».

νιώσετε ότι δεν κατανοείτε τα τεχνικά σημεία και τις εξισώσεις. Στο τέλος το πιο πιθανό, σχεδόν σίγουρο για μένα, είναι ότι όλα θα σας αποκαλυφθούν με έναν τρόπο «μαγικό» και εξηγησιμο.

In the beginning...

Το Σύμπαν μας εμφανίστηκε πριν από 13,8 δισεκατομμύρια χρόνια. Συνήθως λέμε ότι τότε έγινε το Big Bang, μία κατακλυσμική έκρηξη από την οποία προήλθαν τα πάντα. Αυτή όμως είναι μια υπεραπλουστευμένη εικόνα – θα δούμε αργότερα τι πραγματικά πιστεύουμε ότι συνέβη. Μέσα από μια αλυσίδα διεργασιών, περίπου 10^{-30} δευτερόλεπτα μετά το Big Bang, εμφανίστηκαν τα βασικά δομικά συστατικά του Σύμπαντος. Δηλαδή τα έξι είδη κουάρκ, τα έξι είδη λεπτονίων, το σωματίδιο Higgs – όλα όσα συγκροτούν αυτό που ονομάζουμε ύλη. Εμφανίστηκαν επίσης τα φωτόνια, τα γκλουόνια, τα W και Z μποζόνια, δηλαδή τα σωματίδια της ακτινοβολίας (ή ακριβέστερα τα σωματίδια-φορείς των θεμελιωδών δυνάμεων), στα οποία περιλαμβάνονται θεωρητικά και τα βαρυτόνια (ή γκραβιτόνια).

Η διάκριση μεταξύ ύλης και ακτινοβολίας, αν και

φαίνεται φυσική, δεν είναι αναγκαστικά και η ορθή. Τα κουάρκ και τα λεπτόνια έχουν σπιν (ιδιοστροφορμή) $1/2$, ενώ το σωματίδιο Higgs, που μέσω του ομώνυμου μηχανισμού προσδίδει μάζα στα κουάρκ, στα λεπτόνια, στα W και Z μποζόνια, έχει σπιν 0 . Από την άλλη πλευρά, το φωτόνιο, το γκλουόνιο και το βαρυτόνιο έχουν μηδενική μάζα και ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, ενώ τα W και Z μποζόνια έχουν μάζα περίπου 80 και 90 φορές, αντιστοίχως, μεγαλύτερη από αυτή του πρωτονίου.

ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (Καθιερωμένο Πρότυπο & Βαρύτητα)

ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ (σωματίδια ύλης – ημιακέραιο σπιν)				ΜΠΟΖΟΝΙΑ (σωματίδια δυνάμεων/πεδίων – ακέραιο σπιν)			
ΚΟΥΑΡΚ	Μάζα ηλεκτρικό φορτίο σπιν	≈2.2 MeV/c² $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	≈1.28 GeV/c² $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	≈173.1 GeV/c² $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 g γκλουόνιο	≈124.97 GeV/c² 0 0 H higgs	0 0 2 G βαρυτόνιο
		≈4.7 MeV/c² $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	≈96 MeV/c² $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	≈4.18 GeV/c² $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 γ φωτόνιο		
		≈0.511 MeV/c² -1 $\frac{1}{2}$ e ηλεκτρόνιο	≈105.66 MeV/c² -1 $\frac{1}{2}$ μ μόνιο	≈1.7768 GeV/c² -1 $\frac{1}{2}$ τ ταυ	≈91.19 GeV/c² 0 1 Z Z μποζόνιο		
ΛΕΠΤΟΝΙΑ		< 1.0 eV/c² 0 $\frac{1}{2}$ ν_e νετρίνιο ηλεκτρονίου	< 0.17 MeV/c² 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ νετρίνιο μιονίου	< 18.2 MeV/c² 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ ταυ νετρίνιο	≈80.360 GeV/c² ±1 1 W W μποζόνιο		

Το φωτόνιο (γ), το γκλουόνιο (g), τα W και Z μποζόνια έχουν σπιν 1, ενώ το βαρυτόνιο έχει σπιν 2. Βλέπουμε, λοιπόν, μια σαφή διαφοροποίηση ανάμεσα στα σωματίδια της ύλης και της ακτινοβολίας.

Έχουμε, βέβαια, και το «odd particle out»: το σωματίδιο Higgs, μια ιδιαίτερη περίπτωση, καθώς δεν ανήκει ούτε στα σωματίδια ύλης ούτε στους φορείς των αλληλεπιδράσεων. Εδώ μιλούμε για τα θεμελιώδη, βασικά συστατικά του Σύμπαντος – εκείνα που δημιουργούν νέα, σύνθετα σωματίδια, όπως τα πρω-

Ο πίνακας παρουσιάζει τα βασικά στοιχειώδη σωματίδια, ταξινομημένα σε φερμιόνια και μποζόνια. Τα φερμιόνια, δηλαδή τα κουάρκ και τα λεπτόνια, είναι τα σωματίδια της ύλης και έχουν ημιακέραιο σπιν. Τα μποζόνια έχουν ακέραιο σπιν και σχετίζονται με τις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις ή με φυσικά πεδία: το γκλουόνιο με την ισχυρή αλληλεπίδραση, το φωτόνιο με την ηλεκτρομαγνητική, τα W και Z μποζόνια με την ασθενή, ενώ το Higgs συνδέεται με το πεδίο Higgs και την απόκτηση μάζας από πολλά σωματίδια. Το βαρυτόνιο εμφανίζεται ως υποθετικός φορέας της βαρύτητας. Αν υπάρχει, θα συνδέεται με τη βαρυτική αλληλεπίδραση κάθε σωματιδίου που έχει ενέργεια και ορμή, αλλά δεν αποτελεί επιβεβαιωμένο σωματίδιο του Καθιερωμένου Προτύπου. Σε κάθε πλαίσιο αναγράφονται βασικές ιδιότητες των σωματιδίων, όπως η μάζα, το ηλεκτρικό φορτίο και το σπιν. Τα χρωματιστά σύμβολα στο κάτω μέρος των πλαισίων δηλώνουν τις αλληλεπιδράσεις στις οποίες συμμετέχει κάθε σωματίδιο.

τόνια και τα νετρόνια, τα οποία με τη σειρά τους σχηματίζουν πυρήνες και δομές με ακόμη μεγαλύτερο σπιν.

Η έννοια του σπιν ή της ιδιοστροφορμής, μπορεί να ακούγεται παράξενη, αλλά είναι θεμελιώδης ιδιότητα κάθε σωματιδίου, όπως η μάζα, και, το σημαντικότερο, είναι κβαντισμένη, μπορεί να έχει μόνο διακριτές τιμές: $0, 1/2, 1, 3/2, 2$ κ.ο.κ. Τα σωματίδια με ημιακέραιο σπιν ($1/2, 3/2, \dots$) ονομάζονται φερμιόνια, ενώ εκείνα με ακέραιο σπιν ($0, 1, 2, \dots$) μποζόνια.

Τα φερμιόνια πήραν το όνομά τους από τον Enrico Fermi και τα μποζόνια από τον Satyendra Nath Bose. Το κρίσιμο εδώ είναι ότι τα φερμιόνια υπακούουν στη στατιστική Fermi-Dirac, ενώ τα μποζόνια στη στατιστική Bose-Einstein. Τι σημαίνει αυτό; Τα φερμιόνια δεν μπορούν να βρίσκονται στην ίδια κβαντική κατάσταση, δηλαδή με απλούστερα λόγια δεν μπορούν να βρεθούν στο ίδιο χωροχρονικό σημείο με απολύτως ίδιες ιδιότητες. Τα μποζόνια, αντίθετα, μπορούν. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι ακτίνες laser, όπου τεράστιος αριθμός φωτονίων (σπιν 1) συνυπάρχουν με τις ίδιες ακριβώς ιδιότητες.

Η ιδιότητα αυτή των φερμιονίων, γνωστή και ως «Απαγορευτική Αρχή του Pauli», οδηγεί άμεσα στην ποικιλία του Περιοδικού Πίνακα του Mendeleev. Ο λόγος που τα ηλεκτρόνια κατανομούνται σε διαφορετικές στιβάδες, καθώς αυξάνεται ο ατομικός αριθμός Z , είναι ακριβώς η ανάγκη να ικανοποιείται αυτή η αρχή. Έτσι, τα διάφορα χημικά στοιχεία της Φύσης



Wolfgang Pauli

Wolfgang Pauli (1900-1958). Αυστριακός θεωρητικός φυσικός και από τις κεντρικές μορφές της Κβαντικής Μηχανικής. Το 1925 διατύπωσε την περίφημη Απαγορευτική Αρχή, που σήμερα φέρει το όνομά του, σύμφωνα με την οποία δύο φερμιόνια δεν μπορούν να βρίσκονται στην ίδια ακριβώς κβαντική κατάσταση. Η αρχή αυτή εξηγεί τη διάταξη των ηλεκτρονίων σε διαφορετικές ηλεκτρονιακές στιβάδες και, μέσω αυτής, την πολυμορφία των χημικών στοιχείων του Περιοδικού Πίνακα. Για τη συμβολή του αυτή τιμήθηκε το 1945 με το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής.

προκύπτουν «αβασάνιστα» από το σωστό γέμισμα των ηλεκτρονιακών στιβάδων. Η πλήρωση των εξωτερικών στιβάδων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις χημικές ιδιότητες των στοιχείων.

Όπως απέδειξε ο Linus Pauling ήδη από το 1939, στο κλασικό έργο του *The Nature of the Chemical Bond*, οι βασικές αρχές της Χημείας δεν είναι τίποτε άλλο από εφαρμογή της Κβαντικής Μηχανικής. Κατά συνέπεια, η Μοριακή Βιολογία και η Βιοχημεία είναι, στην ουσία, επαγωγικές εφαρμογές της Κβαντικής Φυσικής.

Εδώ αρχίζει να φαίνεται κάτι συγκλονιστικό: όσο περισσότερο προχωράμε στην κατανόηση της Φύσης, τόσο περισσότερο αποκαλύπτεται ότι ο κόσμος δεν είναι ένα άθροισμα τυχαίων γεγονότων, αλλά ένα σύστημα κανόνων. Και μέσα σε αυτούς τους κανόνες, το «όριο» και η «απαγόρευση» δεν λειτουργούν ως περιορισμοί, αλλά ως δημιουργικές αρχές. Από την «Απαγορευτική Αρχή του Pauli» γεννιέται η ποικιλία των στοιχείων – από τη δομή προκύπτει η ζωή. Είναι σαν να μας υπενθυμίζει η ίδια η ύλη ότι η ελευθερία δεν βρίσκεται στην αυθαιρεσία, αλλά στην αναγκαιότητα.

Αν το δούμε πιο βαθιά, αυτό ίσως είναι το μεγάλο μάθημα της επιστήμης: η ύλη δεν γνωρίζει επιλογές, όμως μέσα από τους περιορισμούς της παράγει απεριόριστες δυνατότητες. Ο άνθρωπος, που είναι φτιαγμένος από την ίδια ύλη, φαίνεται να επαναλαμβάνει αυτό το μοτίβο. Κάθε φορά που αντιλαμβάνεται τα όριά του, φυσικά, βιολογικά ή νοητικά, γεννά κάτι νέο: γνώση, τέχνη, συνείδηση. Ίσως τελικά ο νόμος της Φύσης να είναι και ο νόμος της δημιουργίας, όπως έλεγε τον 17ο αιώνα ο Μπαρούχ Σπινόζα «Deus sive Natura» (Θεός δηλαδή Φύση), και αμέσως εκδιώχθηκε μόνιμα από τη Συναγωγή, σε ηλικία 23 ετών.

Μιλήσαμε, λοιπόν, για τα βασικά συστατικά της ύλης, από τα οποία μπορούν να σχηματιστούν πιο σύνθετες δομές, όπως άτομα και μόρια. Για να συμβεί όμως αυτό, τα σωματίδια πρέπει να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους· μόνον έτσι μπορούν να συνδεθούν, να οργανωθούν και τελικά να συγκροτήσουν τον κό-

σμο της ύλης που γνωρίζουμε. Διαφορετικά, θα παρέμεναν απλώς «ελεύθερα» διασκορπισμένα μέσα στο αχανές Σύμπαν.

Αυτές οι αλληλεπιδράσεις είναι αυτό που ονομάζουμε δυνάμεις. Στη Φύση υπάρχουν τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις: η ισχυρή, η ηλεκτρομαγνητική, η ασθενής και η βαρύτητα.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των δυνάμεων είναι το εξής: Τα σωματίδια που «αισθάνονται» μια δύναμη πρέπει να φέρουν το αντίστοιχο φορτίο. Για παράδειγμα, το ηλεκτρόνιο «αισθάνεται» την ηλεκτρική δύναμη επειδή έχει ηλεκτρικό φορτίο -1 , ενώ το πρωτόνιο έχει $+1$.* Έτσι μπορούμε να φτιάξουμε το άτομο του υδρογόνου (H): έναν πυρήνα με ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο δεσμευμένο γύρω του. Το άτομο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, γιατί το άθροισμα των φορτίων είναι μηδέν. Παρόλο που όλη η συνηθισμένη ύλη είναι ένα μείγμα θετικών πρωτονίων (p^+) και αρνητικών ηλεκτρονίων (e^-), τα οποία έλκονται και απωθούνται με την ηλεκτρική δύναμη, υπάρχει μια τέλεια ισορροπία ανάμεσα στα θετικά και τα αρνητικά φορτία. Γι' αυτό, όταν κάθεστε δίπλα σε έναν άνθρωπο δεν αισθάνεστε καμία δύναμη. Εάν στεκόσασταν σε απόσταση περίπου ενός μέτρου από κάποια φίλη σας και ο καθένας σας είχε 1% πε-

* Όταν λέμε ότι το ηλεκτρόνιο έχει φορτίο -1 , σημαίνει $Q_e = -1 \cdot e$, όπου e το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο ($e = 1,6021 \cdot 10^{-19}$ C). Το πρωτόνιο έχει αντίστοιχα φορτίο $Q_p = +1 \cdot e$.

ρισσότερα ηλεκτρόνια από πρωτόνια, τότε η απωστική δύναμη θα ήταν ασύλληπτα μεγάλη. Πόσο «ισχυρή»; Αρκετή για να σηκώσει ένα βάρος ίσο με αυτό ολόκληρης της Γης! Βεβαίως, καταλαβαίνουμε αμέσως ότι η ύλη, προσπαθώντας να κρατήσει αυτή την απίστευτα λεπτή ισορροπία μεταξύ θετικών και αρνητικών φορτίων, πρέπει να έχει «ακαμψία» (stiffness) και στερεότητα. Με άλλα λόγια, κάθε ηλεκτρόνιο και πρωτόνιο, πρέπει να «κάθεται» στη θέση του... Στην Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία, ισχύει, επιπλέον, η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου.

Πρέπει να τονίσουμε εδώ ότι όλα τα σωματίδια δεν αισθάνονται όλες τις δυνάμεις:

* **Τα έξι είδη κουάρκ** –up, down, charm, strange, top και bottom (u, d, c, s, t, b)– «αισθάνονται» όλες τις δυνάμεις: έχουν αντίστοιχα φορτία για τις ισχυρές, ηλεκτρομαγνητικές και ασθενείς δυνάμεις, ενώ η μάζα τους είναι το βαρυτικό τους φορτίο.

* **Τα έξι λεπτόνια** –ηλεκτρόνιο, νεutrίνο του ηλεκτρονίου, μιονίο, νεutrίνο του μιονίου, ταυ-λεπτόνιο και ταυ-νεutrίνο– δεν «αισθάνονται» τις ισχυρές δυνάμεις. Τα φορτισμένα λεπτόνια, όπως το ηλεκτρόνιο, το μιονίο και το ταυ-λεπτόνιο, αισθάνονται την ηλεκτρομαγνητική, την ασθενή και τη βαρυτική δύναμη. Τα νεutrίνα, αντίθετα, επειδή δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο, δεν αισθάνονται την ηλεκτρομαγνητική δύναμη, αλλά μόνο την ασθενή και τη βαρυτική αλληλεπίδραση. (Βλ. και πίνακα σελ. 22-23.)