ΜΑΝΟΣ ΣΑΡΙΔΑΚΗΣ

ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΟΙ ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ Η ΝΕΑ ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ **ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ**

ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ – Οι μεγάλες προκλήσεις και η νέα εποχή της Φυσικής

Συγγραφέας: Μάνος Σαριδάκης
Επιμέλεια: Εύα Καλεύρα

© 2026, Εκδόσεις Κυριάκος Παπαδόπουλος Α.Ε., Μάνος Σαριδάκης

Η πνευματική ιδιοκτησία αποκτάται χωρίς καμιά διατύπωση και χωρίς την ανάγκη ρήτρας απαγορευτικής των προσβολών της. Κατά τον Ν. 2387/20 (όπως έχει τροποποιηθεί με τον Ν. 2121/93 και ισχύει σήμερα) και κατά τη Διεθνή Σύμβαση της Βέρνης (που έχει κυρωθεί με τον Ν. 100/1975), απαγορεύεται η αναδημοσίευση, η αποθήκευση σε κάποιο σύστημα διάσωσης και γενικά η αναπαραγωγή του παρόντος έργου με οποιονδήποτε τρόπο ή μορφή, τμηματικά ή περιληπτικά, στο πρωτότυπο ή σε μετάφραση ή άλλη διασκευή, χωρίς γραπτή άδεια του εκδότη.

Πρώτη έκδοση: Οκτώβριος 2026

ΕΚΔΟΣΕΙΣ **ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ**
www.epbooks.gr

Καποδιστρίου 9, 144 52 Μεταμόρφωση Αττικής
τηλ.: 210 2816134, e-mail: info@epbooks.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ
Μασσαλίας 14, 106 80 Αθήνα, τηλ.: 210 3615334

ISBN 978-618-232-423-3

ΜΑΝΟΣ ΣΑΡΙΔΑΚΗΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΡΕΥΝΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ, ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ,
ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ,
ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Οι μεγάλες προκλήσεις και η νέα εποχή της Φυσικής

ΕΚΔΟΣΕΙΣ **ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ**

Οι φωτογραφίες και τα βίντεο που συνοδεύουν τα κεφάλαια
του βιβλίου είναι διαθέσιμα στο τέλος κάθε κεφαλαίου,
να τις σκανάρετε με κινητό ή τάμπλετ
με εφαρμογή ανάγνωσης κωδικού QR.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 13

ΕΙΣΑΓΩΓΗ • **Η Φυσική σε σημείο καμπής**
Το παράδοξο της επιτυχίας 17
Το 95% που δεν γνωρίζουμε 20
Η ρήξη βαρύτητας και κβαντικού κόσμου 23
Κρίση ή μετάβαση; 26

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ
ΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 • **Νόμοι και συμμετρίες**
Τι είναι νόμος της φύσης; 31
Η συμμετρία ως οδηγός της πραγματικότητας 34
Συμμετρίες και κβαντικά πεδία 37
Όταν οι συμμετρίες «σπάνε» 40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 • **Η επανάσταση του χωροχρόνου**
Η Σχετικότητα ως επανάσταση 44
Η γεωμετρία της βαρύτητας 47

Βαρυτικά κύματα: Από την πρόβλεψη στην ανίχνευση 50
Πού σταματά η Σχετικότητα; 53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 • **Το κβαντικό υπόστρωμα της πραγματικότητας**
Σωμάτιο ή κύμα; Οι δύο όψεις μιας συνθετότερης πραγματικότητας 57
Η αρχή της αβεβαιότητας 60
Η ερμηνεία της Κβαντικής Μηχανικής: ρεαλισμός, αιτιότητα και όρια 63
Κβαντική διεμπλοκή 66
Κβαντική Θεωρία των Πεδίων: Η βαθύτερη περιγραφή της ύλης 70
Το πρόβλημα της μέτρησης 73

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ
Η αρχιτεκτονική της ύλης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 • **Το Καθιερωμένο Πρότυπο: Το αριστούργημα της σύγχρονης Φυσικής**
Τα θεμελιώδη σωματίδια και οι αλληλεπιδράσεις 79
Το μποζόνιο Higgs: Πώς η ύλη αποκτά μάζα 83
Το CERN: Πώς η ανθρωπότητα δοκιμάζει τη θεωρία 86
Τα όρια του προτύπου 89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 • **Η αναδυόμενη ύλη**
Συμπυκνωμένη ύλη και συλλογικά φαινόμενα 93
Υπεραγωγιμότητα και νέες καταστάσεις 96
Τοπολογική ύλη και κβαντικά υλικά: Η επανάσταση του γραφενίου 99
Από τους ημιαγωγούς στους κβαντικούς υπολογιστές 102

Γιατί η Φυσική Στερεάς Κατάστασης είναι η κρυφή επανάσταση 105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 • **Εντροπία, πληροφορία και η οργάνωση της πραγματικότητας**

Εντροπία: Ο πιο ισχυρός νόμος της φύσης 108
Ο δαίμονας του Maxwell 112
Η πληροφορία δεν είναι άυλη: Το Θεώρημα Landauer 113
Από τη Θερμοδυναμική στην κβαντική πληροφορία 116
Μήπως η πραγματικότητα είναι πληροφοριακή; 119
Πόσο θεμελιώδης είναι η πληροφορία; 121
Κβαντική πληροφορία και κβαντικοί υπολογιστές: Όταν η Φυσική υπολογίζει 124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 • **Φυσική της πολυπλοκότητας και της ζωής**

Τα επίπεδα οργάνωσης της ύλης 127
Αυτο-οργάνωση και μη ισορροπία 130
Πληροφορία, DNA και Βιοφυσική 133
Από τη ζωή στη νόηση και στις κοινωνίες 136

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

Το Σύμπαν ως εργαστήριο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 • **Η ιστορία του Σύμπαντος: Από το παρατηρήσιμο στο άπειρο**

Η Μεγάλη Έκρηξη: Η προέλευση του παρατηρήσιμου Σύμπαντος 143
Ο κοσμικός πληθωρισμός: Το άλμα που άλλαξε τα πάντα 148
Η κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία: Το αρχαιότερο φως 151
Από το παρατηρήσιμο στο άπειρο: Τι σημαίνει για εμάς 154

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 • **Σκοτεινή ύλη και σκοτεινή ενέργεια**
Η δυναμική του αοράτου ... 158
Νέα ύλη ή νέος νόμος; ... 162
Οντολογικές και θεωρητικές συνέπειες ... 167

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 • **Μαύρες τρύπες και τα όρια της θεωρίας**
Ορίζοντας γεγονότων ... 171
Οι μαύρες τρύπες δεν είναι τόσο μαύρες:
Η θερμοδυναμική της βαρύτητας ... 175
Το παράδοξο της πληροφορίας και η κβαντική συνέπεια ... 178
Μαύρες τρύπες: Το κλειδί για το μέλλον ... 181

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ
Η νέα εποχή της Φυσικής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 • **Η αναζήτηση της ενοποίησης**
Από τον ηλεκτρομαγνητισμό στη μεγάλη ενοποίηση ... 187
Το πρόβλημα της κβαντικής βαρύτητας ... 190
Θεωρίες Χορδών και εναλλακτικές ... 193
Τροποποιημένη βαρύτητα ... 198
Είναι η φύση θεμελιωδώς ενιαία; ... 201

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 • **Αναδυόμενος χώρος και θεμελιώδης πραγματικότητα**
Η ολογραφική αρχή ... 206
Ο χώρος ως φαινόμενο πληροφορίας ... 209
Είναι ο χρόνος θεμελιώδης; ... 212

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 • **Η Φυσική της τεχνητής νοημοσύνης και των μεγάλων δεδομένων**

Η τεχνητή νοημοσύνη ως νέο εργαλείο θεωρίας 216
Η έκρηξη των δεδομένων: Από τον LHC στο Διάστημα 219
Προς μια νέα εποχή ανακάλυψης 222

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14 • **Η νέα εποχή της κατανόησης**

Δεν ζούμε σε εποχή παρακμής 226
Η δημιουργική ένταση της επιστήμης 229
Τι θα κατανοήσουμε στα επόμενα πενήντα χρόνια 231

ΕΠΙΛΟΓΟΣ 235

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Υπάρχουν στιγμές στην ιστορία της ανθρωπότητας όπου η γνώση δεν προχωρά απλώς ένα βήμα αλλά αλλάζει επίπεδο ποιοτικά. Στιγμές όπου η πραγματικότητα όπως την θεωρούσαμε αποδεικνύεται βαθύτερη, πλουσιότερη και πιο συναρπαστική από κάθε προηγούμενη σύλληψη. Ε, λοιπόν, ζούμε σε μια τέτοια στιγμή.

Για πρώτη φορά στην Ιστορία γνωρίζουμε ότι η περιγραφή του κόσμου που διαθέτουμε είναι ταυτόχρονα εξαιρετικά επιτυχημένη και ριζικά ελλιπής. Μπορούμε να προβλέψουμε με απίστευτη ακρίβεια τη συμπεριφορά των στοιχειωδών σωματιδίων, να ανιχνεύουμε βαρυτικά κύματα από συγκρούσεις μελανών οπών δισεκατομμύρια έτη φωτός μακριά, να χαρτογραφούμε τη δομή του Σύμπαντος με δορυφόρους και διαστημικά τηλεσκόπια, να δαμάζουμε τον κβαντικό μικρόκοσμο. Κι όμως, το 95% του Σύμπαντος παραμένει άγνωστο για μας, η βαρύτητα αρνείται να συμβιβαστεί με την Κβαντική Μηχανική, και ο χώρος και ο χρόνος ίσως δεν είναι τόσο θεμελιώδεις όσο νομίζουμε.

Η Φυσική δεν βρίσκεται σε κρίση· βρίσκεται σε μετάβαση. Κι αυτή η μετάβαση είναι δημιουργική, γόνιμη, εκρηκτική.

Στις αρχές του 20ού αιώνα λίγοι θα μπορούσαν να φανταστούν ότι μέσα σε μερικές δεκαετίες η Κλασική Φυσική θα έδινε τη θέση της στη Σχετικότητα και στην Κβαντομηχανική, ότι η ύλη θα αποκάλυπτε την κβαντική της δομή, ότι ο χρόνος θα γινόταν σχετικός και

ο χώρος δυναμικός. Σήμερα βρισκόμαστε σε μια αντίστοιχη καμπή. Γνωρίζουμε πολύ περισσότερα, αλλά τα ερωτήματα που έχουμε μπροστά μας είναι ακόμη βαθύτερα: Τι είναι η σκοτεινή ύλη; Είναι η φύση θεμελιωδώς ενιαία; Αναδύεται ο χώρος από την πληροφορία; Είναι ο χρόνος θεμελιώδης ή πηγάζει από κάτι βαθύτερο;

Το βιβλίο αυτό προσπαθεί να αποτυπώσει μια χαρτογράφηση των ορίων μας. Είναι μια διαδρομή από τις πιο σταθερές αρχές της Φυσικής μέχρι τα πιο εντυπωσιακά ανοιχτά ερωτήματα του 21ου αιώνα. Από το Καθιερωμένο Πρότυπο και τη Γενική Σχετικότητα, μέχρι τις θεωρίες ενοποίησης, την ολογραφική αρχή, την κβαντική πληροφορία, την τεχνητή νοημοσύνη, την πολυπλοκότητα, και τη νέα εποχή των δεδομένων. Σκοπός του δεν είναι να πείσει ότι «δεν ξέρουμε τίποτα» αλλά ακριβώς το αντίθετο: να δείξει πόσο πολλά έχουμε κατακτήσει και πόσο ακόμη πιο συναρπαστικά είναι τα επόμενα βήματα. Η ίδια η επιστήμη είναι μια διαλεκτική πορεία όπου κάθε απάντηση γεννά βαθύτερα ερωτήματα και κάθε όριο γίνεται αφετηρία νέας κατανόησης.

Η πραγματικότητα υπάρχει ανεξάρτητα από εμάς, δεν είναι κατασκεύασμα της συνείδησης ούτε αυθαίρετη ερμηνεία. Κι όμως, η πρόσβασή μας σε αυτήν είναι ιστορική, εξελικτική, προοδευτική. Από τα κουάρκ μέχρι τις κοινωνίες, από τις μαύρες τρύπες μέχρι τα κβαντικά δίκτυα, από τον πληθωρισμό του πρώιμου Σύμπαντος μέχρι την τεχνητή νοημοσύνη που μπαίνει στη ζωή μας καλπάζοντας, η ανθρώπινη γνώση επεκτείνεται με ρυθμό που καμία προηγούμενη εποχή δεν είχε γνωρίσει.

Το ταξίδι που ακολουθεί είναι ένα ταξίδι στα όρια της πραγματικότητας. Όχι για να τα αποδεχτούμε ως αμετακίνητα, αλλά για να τα μετατοπίσουμε. Γιατί η ιστορία της Φυσικής μάς διδάσκει κάτι απλό και ταυτόχρονα βαθύ: Κάθε φορά που νομίζουμε ότι φτάσαμε στο τέλος, μόλις έχουμε φτάσει στην αρχή ενός νέου επιπέδου κατανόησης.

Αν αισθάνεστε ότι ζούμε σε μια εποχή αβεβαιότητας, έχετε δίκιο. Αν όμως αναρωτιέστε αν αυτή η αβεβαιότητα είναι ένδειξη παρακμής ή ένδειξη μεγάλου άλματος, η απάντηση που θα προσπαθήσει να αναδείξει το βιβλίο που κρατάτε στα χέρια σας είναι σαφής: Βρισκόμαστε στην αυγή μιας νέας χρυσής εποχής της Φυσικής. Και το πιο συναρπαστικό τμήμα της ιστορίας είναι μπροστά μας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Φυσική σε σημείο καμπής

ΤΟ ΠΑΡΑΔΟΞΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ

Αν κοιτάξουμε την ιστορία της ανθρώπινης σκέψης από απόσταση, είναι δύσκολο να μη σταθούμε με δέος μπροστά σε αυτό που πέτυχε η Φυσική μέσα σε μόλις λίγους αιώνες. Από την εποχή που ο ουρανός θεωρούνταν αμετάβλητος και οι πλανήτες κινούνταν σε «κρυστάλλινες σφαίρες», φτάσαμε να περιγράφουμε με μαθηματική ακρίβεια την καμπύλωση του χωροχρόνου, τη γέννηση των άστρων και τη συμπεριφορά σωματιδίων που δεν μπορούμε ούτε να δούμε ούτε να φανταστούμε με καθημερινές εικόνες. Η Φυσική δεν περιορίστηκε στο να ερμηνεύσει φαινόμενα· κατάφερε να αποκαλύψει δομές που δεν ήταν καθόλου προφανείς και να προβλέψει την ύπαρξη οντοτήτων πολύ πριν αυτές επιβεβαιωθούν πειραματικά.

Η επιτυχία της είναι εντυπωσιακή, είναι σχεδόν αδιανόητη. Θεωρίες που γράφτηκαν σε πίνακες και σημειώσεις, μέσα από καθαρά αφαιρετική σκέψη, επιβεβαιώθηκαν δεκαετίες αργότερα από πειράματα ακριβείας. Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, που κάποτε φαινόταν μια τολμηρή γεωμετρική σύλληψη, όχι απλώς επαληθεύεται αλλά την χρησιμοποιούμε πλέον καθημερινά με το GPS του κινητού

μας. Η Κβαντική Θεωρία, που προκάλεσε φιλοσοφικό ίλιγγο στους δημιουργούς της, αποτελεί πλέον τη βάση των ημιαγωγών και κατά συνέπεια ολόκληρου του ηλεκτρονικού κόσμου, ολόκληρου του τεχνολογικού μας πολιτισμού. Το Καθιερωμένο Πρότυπο της Σωματιδιακής Φυσικής περιγράφει με εξαιρετική συνέπεια τα γνωστά θεμελιώδη σωματίδια και τις αλληλεπιδράσεις τους, και η ολοκλήρωση αυτού του θεωρητικού οικοδομήματος δεκαετιών, το κερασάκι στην τούρτα, ήρθε με την ανίχνευση του μποζονίου Higgs.

Κι όμως, μέσα σε αυτή τη θριαμβευτική εικόνα, υπάρχει μια υποβόσκουσα ανησυχία. Δεν πρόκειται για την ανησυχία της αποτυχίας, ούτε για την αίσθηση ότι «κάτι δεν λειτουργεί καλά». Αντιθέτως, η ανησυχία γεννιέται ακριβώς από το γεγονός ότι όλα λειτουργούν υπερβολικά καλά. Οι εξισώσεις είναι ακριβείς, τα πειράματα επιβεβαιώνουν τις προβλέψεις, η τεχνολογία ανθίζει. Και παρ' όλα αυτά, όσο περισσότερο εμβαθύνουμε, τόσο πιο καθαρά διαπιστώνουμε ότι το πλαίσιο μέσα στο οποίο κινούμαστε δεν είναι πλήρες.

Το παράδοξο είναι απλό στη διατύπωσή του αλλά βαθύ στις συνέπειές του: η σύγχρονη Φυσική είναι η πιο επιτυχημένη και η περισσότερο επαληθευμένη επιστήμη που δημιούργησε ποτέ ο άνθρωπος, και ταυτόχρονα βρίσκεται αντιμέτωπη με ερωτήματα που δεν μπορούν να απαντηθούν μέσα στο ίδιο το επιτυχημένο της οικοδόμημα. Δεν γνωρίζουμε τι αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του Σύμπαντος, δεν έχουμε καταφέρει να ενοποιήσουμε τις θεμελιώδεις θεωρίες μας, δεν είμαστε βέβαιοι αν οι έννοιες που χρησιμοποιούμε –χώρος, χρόνος, σωμάτιο, κύμα, πεδίο κ.ά.– είναι πράγματι θεμελιώδεις ή απλώς περιγραφικά εργαλεία μιας βαθύτερης πραγματικότητας.

Η κατάσταση αυτή, όμως, δεν θυμίζει κατάρρευση αλλά ωρίμαση. Στην ιστορία της Φυσικής οι μεγάλες τομές δεν προέκυψαν όταν οι θεωρίες αποτύγχαναν πλήρως, αλλά όταν η επιτυχία τους έφτανε στα όριά της. Στα τέλη του 19ου αιώνα η Κλασική Φυσική φαινόταν σχεδόν ολοκληρωμένη. Υπήρχαν, όπως έλεγαν τότε οι φυσικοί, «μόνο δυο

μικρά σύννεφα» στον ορίζοντα: ο αιθέρας και η ακτινοβολία του μέλανος σώματος. Αυτά τα δυο «σύννεφα», όμως, οδήγησαν στη ριζική αναθεώρηση του χώρου, του χρόνου και της ύλης.

Σήμερα δεν μιλάμε για μικρά σύννεφα. Μιλάμε για θεμελιώδεις ρωγμές που διατρέχουν το θεωρητικό μας σύμπαν, αν και χωρίς να το γκρεμίζουν ακόμη. Ίσως το πιο εντυπωσιακό στοιχείο της παρούσας συγκυρίας είναι η συνύπαρξη ακρίβειας και αβεβαιότητας. Από τη μια πλευρά διαθέτουμε θεωρίες που προβλέπουν με ασύλληπτη ακρίβεια αναρίθμητα πειραματικά αποτελέσματα. Από την άλλη, όμως, γνωρίζουμε ότι η συνολική κοσμική πραγματικότητα δεν μπορεί να περιγραφεί πλήρως από αυτές. Είναι σαν να έχουμε χαρτογραφήσει με εξαιρετική λεπτομέρεια ορισμένες περιοχές μιας ηπείρου, ενώ ταυτόχρονα γνωρίζουμε ότι τεράστιες εκτάσεις της παραμένουν ανεξερεύνητες.

Αυτή η διττή εικόνα, θρίαμβος και ανησυχία, δεν αποτελεί αδυναμία της επιστήμης αλλά το πιο ζωντανό της χαρακτηριστικό. Η Φυσική είναι μια δυναμική διαδικασία αναθεώρησης και εμβάθυνσης, και όχι μια στατική συλλογή αληθειών. Όσο περισσότερο επιτυγχάνει, τόσο πιο έντονα αναδεικνύονται τα ερωτήματα που την υπερβαίνουν. Και ίσως ακριβώς αυτή η ένταση, αυτή η συνύπαρξη επιβεβαιωμένης γνώσης και κατανοημένης άγνοιας, να αποτελεί το πιο δημιουργικό σημείο στην ιστορία της.

Αν λοιπόν μιλάμε σήμερα για «σημείο καμπής», δεν το κάνουμε επειδή η Φυσική κατέρρευσε, αλλά επειδή έχει φτάσει τόσο μακριά, ώστε τα όριά της να είναι πλέον ορατά. Και όταν τα όρια γίνονται ορατά, η επόμενη κίνηση δεν είναι η παραίτηση· είναι η αναζήτηση ενός ευρύτερου πλαισίου που θα ενσωματώσει όσα γνωρίζουμε και θα εξηγήσει όσα ακόμη μας διαφεύγουν.

Ίσως τελικά το πραγματικό παράδοξο της επιτυχίας να είναι ακριβώς αυτό: όσο πιο πολύ εμβαθύνουμε στην κατανόηση της φύσης, τόσο περισσότερο συνειδητοποιούμε πόσο ανοιχτό παραμένει το πεδίο της ανακάλυψης.

ΤΟ 95% ΠΟΥ ΔΕΝ ΓΝΩΡΙΖΟΥΜΕ

Το παράδοξο της επιτυχίας μάς φέρνει αντιμέτωπους με τα όρια των θεωριών μας. Και το ζήτημα της σκοτεινής ύλης και της σκοτεινής ενέργειας μας αναγκάζει να αναθεωρήσουμε την ίδια την εικόνα μας για την πραγματικότητα. Δεν πρόκειται για απλή λεπτομέρεια, ούτε για μια μικρή διόρθωση σε κάποιον υπολογισμό. Πρόκειται για τη διαπίστωση ότι η συντριπτική πλειονότητα του περιεχομένου του Σύμπαντος δεν ταυτίζεται με την ύλη που γνωρίζουμε.

Αν περιοριστούμε σε ό,τι εκπέμπει ή απορροφά φως, δηλαδή σε άστρα, γαλαξίες, νέφη αερίων, πλανήτες και σε εμάς τους ίδιους, τότε περιγράφουμε μόλις ένα μικρό ποσοστό της συνολικής ενεργειακής πυκνότητας του Σύμπαντος. Οι σύγχρονες κοσμολογικές μετρήσεις, από την κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία μέχρι τη δυναμική των γαλαξιακών σμηνών, συγκλίνουν σε μια εικόνα που δεν αφήνει πολλά περιθώρια αμφιβολίας: Η «κανονική» βαρυονική ύλη αντιστοιχεί σε περίπου 5% του συνολικού κοσμικού προϋπολογισμού. Το υπόλοιπο 95% αποδίδεται σε δύο άγνωστες συνιστώσες, που ονομάσαμε «σκοτεινή ύλη» και «σκοτεινή ενέργεια».

Να τονίσουμε εδώ ότι η ονομασία δεν είναι μεταφυσική. Δεν τις ονομάσαμε έτσι επειδή γνωρίζουμε τι είναι, αλλά επειδή γνωρίζουμε τι δεν είναι. Συγκεκριμένα, γνωρίζουμε ότι δεν μπορούν να περιγραφούν ως απλή προέκταση των γνωστών σωματιδίων, και επειδή δεν αλληλεπιδρούν με το φως με τον τρόπο που αλληλεπιδρά η συνηθισμένη ύλη τις ονομάσαμε «σκοτεινές».

Κι όμως, τα βαρυτικά τους αποτυπώματα είναι παντού! Η σκοτεινή ύλη εισήχθη αρχικά για να εξηγήσει τη δυναμική των γαλαξιών και των σμηνών τους. Οι καμπύλες περιστροφής των γαλαξιών, που αντί να μειώνονται σε μεγάλες αποστάσεις από το κέντρο παραμένουν σχεδόν επίπεδες, ο τρόπος που περιστρέφονται οι γαλαξίες δηλαδή, υποδηλώνουν την παρουσία μιας «αόρατης» μάζας που εκτείνεται πέρα

από τα ορατά άστρα. Το ίδιο ισχύει για τα σμήνη γαλαξιών, όπου η συνολική βαρυτική τους επίδραση δεν μπορεί να αποδοθεί στην ορατή ύλη. Επιπλέον, το φαινόμενο των βαρυτικών φακών, δηλαδή η καμπύλωση του φωτός από μακρινές πηγές καθώς περνάει δίπλα από τεράστια σώματα, επιβεβαιώνει ότι η κατανομή της μάζας στο Σύμπαν δεν συμπίπτει με την κατανομή της φωτεινής ύλης. Συμπερασματικά: Υπάρχει εκεί έξω πολύ περισσότερη ύλη από αυτήν που «βλέπουμε».

Μέχρι εδώ θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι ίσως απλώς δεν κατανοούμε πλήρως τη βαρύτητα σε μεγάλες κλίμακες. Και πράγματι, έχουν προταθεί εναλλακτικές θεωρίες που τροποποιούν τη δυναμική της. Ωστόσο η συνολική εικόνα από την κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία, τη δομή μεγάλης κλίμακας και την εξέλιξη των ανισοτροπιών, υποστηρίζει ισχυρά την ύπαρξη μιας επιπλέον συνιστώσας ύλης, μη βαρυονικής, που διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στη συγκρότηση των κοσμικών δομών.

Βέβαια, η σκοτεινή ύλη, όσο αινιγματική κι αν είναι, εντάσσεται με σχετικά φυσικό τρόπο στο πλαίσιο της Σωματιδιακής Φυσικής. Μπορεί πράγματι να αποτελείται από νέα, μη ανιχνευμένα ακόμη σωματίδια, που αλληλεπιδρούν ασθενώς με την κανονική ύλη. Και ακριβώς γι' αυτό τα πειράματα αναζήτησής της, είτε σε υπόγεια εργαστήρια είτε σε επιταχυντές όπως αυτός στο CERN, αποτελούν μια από τις πιο ενεργές περιοχές της σύγχρονης έρευνας.

Η σκοτεινή ενέργεια, όμως, είναι διαφορετική ιστορία. Η ανακάλυψη ότι η διαστολή του Σύμπαντος είναι ολοένα και πιο γρήγορη αποτέλεσε μια από τις μεγαλύτερες εκπλήξεις των τελευταίων δεκαετιών. Αφού η βαρύτητα είναι ελκτική δύναμη, η διαστολή του Σύμπαντος θα έπρεπε να είναι επιβραδυνόμενη, λόγω της βαρυτικής έλξης που ασκούν οι γαλαξίες μεταξύ τους. Συνεπώς, η επιτάχυνση της Διαστολής απαιτεί μια μορφή «αντιβαρύτητας», μια μορφή ενέργειας με αρνητική πίεση. Η απλούστερη ερμηνεία είναι η ύπαρξη μιας «κοσμολογικής σταθεράς», ενός όρου που είχε εισαγάγει ο

Einstein για διαφορετικούς λόγους, την οποία και αποκάλεσε «το μεγαλύτερο λάθος της ζωής του», αλλά σήμερα επανέρχεται με εντελώς νέο νόημα, αυτό της «ενέργειας του κενού»!

Κι εδώ αναδύεται ένα από τα πιο βαθιά θεωρητικά προβλήματα της σύγχρονης Φυσικής: Η αναμενόμενη τιμή της ενέργειας του κενού από κβαντικές εκτιμήσεις διαφέρει δραματικά από την παρατηρούμενη κοσμολογική τιμή της. Όχι μόνο διαφέρει, αλλά οι υπολογισμοί μας πέφτουν έξω 10^{120} φορές, δηλαδή η θεωρία μας διαφέρει από την πραγματικότητα πολύ περισσότερο απ' όσο διαφέρει ένα άτομο από ολόκληρο το παρατηρήσιμο Σύμπαν! Αυτή η αχανής απόκλιση, που στην ουσία αποτελεί τον περισσότερο λανθασμένο υπολογισμό στην ιστορία των επιστημών, δεν μπορεί να αποδοθεί σε απλό αριθμητικό σφάλμα. Φαίνεται να υποδηλώνει ότι κάτι πολύ ουσιαστικό διαφεύγει από την κατανόησή μας.

Έτσι βρισκόμαστε σε μια κατάσταση όπου το μεγαλύτερο μέρος του Σύμπαντος περιγράφεται μέσω οντοτήτων που δεν γνωρίζουμε τι ακριβώς είναι. Το γεγονός αυτό δεν μειώνει την αξιοπιστία της Φυσικής· αντιθέτως, την ενισχύει. Μια επιστήμη που μπορεί να συμπεράνει με ασφάλεια την ύπαρξη άγνωστων συνιστωσών δείχνει την ισχύ των θεωρητικών της εργαλείων. Ταυτόχρονα, όμως, αποκαλύπτει ότι το θεωρητικό μας πλαίσιο δεν είναι ακόμη πλήρες.

Το 95% που δεν γνωρίζουμε δεν αποτελεί απλώς ποσοτικό μέγεθος. Είναι μια μεγάλη ποιοτική πρόκληση. Μας αναγκάζει να αναρωτηθούμε αν το Καθιερωμένο Πρότυπο των στοιχειωδών σωματιδίων είναι μόνο ένα μικρό τμήμα μιας ευρύτερης, άγνωστης δομής, αν η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας χρειάζεται τροποποίηση, ή αν η έννοια της ενέργειας του κενού κρύβει βαθύτερες πληροφορίες για τη φύση του χώρου και του χρόνου.

Ίσως στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον να ανακαλύψουμε ότι η σκοτεινή ύλη είναι απλώς μια νέα κατηγορία σωματιδίων. Ίσως η σκοτεινή ενέργεια να αποδειχθεί ένα δυναμικό πεδίο και όχι μια

σταθερά. Ίσως ακόμη να διαπιστώσουμε ότι οι ίδιες οι εξισώσεις που χρησιμοποιούμε είναι προσέγγιση μιας βαθύτερης περιγραφής. Όποια κι αν είναι η έκβαση της έρευνας, το βέβαιο είναι ότι η Κοσμολογία κατέστησε καθαρό πως η σημερινή εικόνα που έχουμε για την πραγματικότητα είναι εντυπωσιακά επιτυχημένη και ταυτόχρονα ριζικά ατελής. Και αυτή ακριβώς η συνύπαρξη επιτυχίας και άγνοιας είναι που καθιστά την εποχή μας τόσο συναρπαστική.

Η ΡΗΞΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΒΑΝΤΙΚΟΥ ΚΟΣΜΟΥ

Η σκοτεινή ύλη και η σκοτεινή ενέργεια μας υπενθυμίζουν ότι αγνοούμε το μεγαλύτερο μέρος του περιεχομένου του παρατηρήσιμου Σύμπαντος. Αλλά η σχέση, ή μάλλον η έλλειψη σχέσης, μεταξύ Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και Κβαντικής Θεωρίας μάς φέρνει αντιμέτωπους με ένα ακόμη βαθύτερο ζήτημα: την ίδια τη συνεκτικότητα του θεωρητικού μας οικοδομήματος.

Στις αρχές του 20ού αιώνα η Φυσική γνώρισε δύο επαναστάσεις που άλλαξαν ριζικά την κατανόηση της πραγματικότητας. Από τη μια πλευρά, η Ειδική και στη συνέχεια η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας αναδιατύπωσαν τον χώρο και τον χρόνο ως δυναμικές οντότητες, ενταγμένες σε ένα ενιαίο γεωμετρικό πλαίσιο, τον χωροχρόνο, που καμπυλώνεται από την παρουσία μάζας και ενέργειας. Από την άλλη, η Κβαντική Μηχανική εισήγαγε έναν κόσμο όπου η μηχανιστική βεβαιότητα αντικαθίσταται από πιθανότητες και η έννοια του σωματιδίου αποκτά μια ενδογενή κυματική διάσταση.

Κάθε μία από αυτές τις θεωρίες είναι εξαιρετικά επιτυχημένη στο πεδίο εφαρμογής της. Η Σχετικότητα περιγράφει με εντυπωσιακή ακρίβεια τη βαρυτική αλληλεπίδραση σε μεγάλες κλίμακες: την κίνηση των πλανητών, τη δομή των γαλαξιών, τη διαστολή του Σύμπαντος, τη δυναμική των μελανών οπών. Η Κβαντική Θεωρία,

μέσω του πλαισίου των κβαντικών πεδίων, εξηγεί τη συμπεριφορά των στοιχειωδών σωματιδίων και τις τρεις από τις τέσσερις γνωστές θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις (δηλαδή την ηλεκτρομαγνητική, την ασθενή και την ισχυρή πυρηνική) με απαράμιλλη ακρίβεια.

Κι όμως, όταν επιχειρούμε να συνδυάσουμε αυτές τις δύο θεωρίες σε ένα ενιαίο σχήμα, η αρμονία χάνεται. Το πρόβλημα δεν είναι απλώς τεχνικό, δεν πρόκειται για μια δύσκολη εξίσωση που δεν λύνεται εύκολα. Η ίδια η φιλοσοφική και μαθηματική δομή των δύο θεωριών διαφέρει θεμελιωδώς. Στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, ο χωροχρόνος δεν αποτελεί σκηνικό πάνω στο οποίο εκτυλίσσονται τα γεγονότα· είναι ενεργό και δυναμικό στοιχείο της φυσικής πραγματικότητας. Η γεωμετρία του καθορίζεται από την κατανομή της ύλης και της ενέργειας. Στην Κβαντική Θεωρία, αντιθέτως, τα κβαντικά πεδία ορίζονται συνήθως πάνω σε ένα δεδομένο, σταθερό χωροχρονικό υπόβαθρο. Επομένως η βαρύτητα, εφόσον ερμηνεύεται ως γεωμετρικό φαινόμενο, δεν εντάσσεται φυσικά σε αυτό το πλαίσιο.

Όταν προσπαθούμε να «κβαντώσουμε» τη βαρύτητα με τον ίδιο τρόπο που «κβαντώθηκαν» οι άλλες αλληλεπιδράσεις, εμφανίζονται τρομακτικές μαθηματικές δυσκολίες που δεν μπορούν να αγνοηθούν. Οι υπολογισμοί οδηγούν σε απειρισμούς που δεν μπορούν να απορροφηθούν με τις συνήθεις τεχνικές ανακανονικοποίησης. Η θεωρία φαίνεται να χάνει την προβλεπτική της ισχύ ακριβώς στο σημείο όπου θα έπρεπε να περιγράψει τις πιο ακραίες καταστάσεις: τις συνθήκες κοντά σε μια ιδιομορφία, ή τα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

Εδώ λοιπόν αναδύεται μια θεμελιώδης αντίφαση. Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας μας λέει ότι σε εξαιρετικά υψηλές πυκνότητες και καμπυλώσεις ο χωροχρόνος μπορεί να οδηγηθεί σε ανωμαλίες/ιδιομορφίες, δηλαδή σε σημεία όπου οι γνωστοί φυσικοί νόμοι παύουν να ισχύουν. Η Κβαντική Θεωρία, από την άλλη, υποδηλώνει ότι σε μικροσκοπικές κλίμακες η ίδια η έννοια της γεωμετρίας ενδέχεται

να υπόκειται σε κβαντικές διακυμάνσεις. Αν και οι δύο θεωρίες είναι σωστές στα όριά τους, τότε θα πρέπει να υπάρχει ένα βαθύτερο πλαίσιο που να τις περιλαμβάνει και να τις υπερβαίνει.

Το ζήτημα δεν είναι απλώς ακαδημαϊκό. Σε ακραία αστροφυσικά περιβάλλοντα, όπως στο εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας ή στις πρώτες στιγμές της κοσμικής ιστορίας, η βαρυτική και η κβαντική περιγραφή δεν μπορούν να διαχωριστούν. Εκεί οι δύο γλώσσες της Φυσικής θα έπρεπε να ενοποιούνται σε μία. Κι όμως, προς το παρόν, δεν διαθέτουμε αυτή τη γλώσσα.

Η αναζήτηση μιας κβαντικής θεωρίας της βαρύτητας αποτελεί το Άγιο Δισκοπότηρο της Φυσικής, και είναι ένας από τους πιο έντονους και δημιουργικούς τομείς της σύγχρονης έρευνας. Προσεγγίσεις όπως η Θεωρία (Υπερ)Χορδών, η Κβαντική Βαρύτητα Βρόχων και άλλες προτάσεις επιχειρούν να γεφυρώσουν το χάσμα, είτε εισάγοντας νέες θεμελιώδεις δομές είτε αναδιατυπώνοντας ριζικά τις έννοιες του χώρου και του χρόνου. Καμία από αυτές δεν έχει ακόμη επιβεβαιωθεί πειραματικά, όμως η διατύπωσή τους αντανακλά την επίγνωση ότι το σημερινό θεωρητικό μας πλαίσιο δεν είναι το τέλος του δρόμου.

Η ρήξη μεταξύ βαρύτητας και κβαντικού κόσμου δεν σημαίνει ότι οι δύο θεωρίες είναι λανθασμένες. Σημαίνει ότι είναι επιμέρους εκφάνσεις μιας βαθύτερης πραγματικότητας που δεν έχουμε ακόμη πλήρως κατανοήσει. Όπως η Κλασική Μηχανική ενσωματώθηκε σε ένα ευρύτερο σχετικιστικό και κβαντικό πλαίσιο χωρίς να ακυρωθεί, έτσι και οι σημερινές μας θεωρίες ενδέχεται να αποτελούν όρια ενός ακόμη πιο θεμελιώδους σχήματος.

Εν κατακλείδι, το γεγονός ότι δύο από τις πιο επιτυχημένες θεωρίες στην ιστορία της επιστήμης δεν «μιλούν» μεταξύ τους δεν είναι ένδειξη αποτυχίας· είναι απλώς ένδειξη ότι βρισκόμαστε στο μεταίχμιο μιας νέας ενοποίησης. Η ιστορία της Φυσικής μάς έχει διδάξει πως όταν διαφορετικές περιγραφές της φύσης αποδεικνύονται ασύμβατες, η λύση δεν είναι να επιλέξουμε τη μία και να απορρίψουμε

την άλλη, αλλά να αναζητήσουμε ένα πλαίσιο στο οποίο και οι δύο θα προκύπτουν ως ειδικές περιπτώσεις.

Ίσως η ρήξη αυτή, λοιπόν, να αποτελεί το πιο καθαρό σημάδι ότι η Φυσική έχει ακόμη δρόμο μπροστά της. Και αν η αναζήτηση της ενοποίησης φαίνεται σήμερα δύσκολη και αβέβαιη, αυτό οφείλεται ακριβώς στη βαθύτητα του ερωτήματος που θέτει: Τι είναι τελικά ο χώρος, ο χρόνος και η ύλη, όταν τα δούμε πέρα από τις προσεγγίσεις που μέχρι τώρα μας οδήγησαν τόσο μακριά;

ΚΡΙΣΗ Ή ΜΕΤΑΒΑΣΗ;

Όταν περιγράφουμε τη σημερινή κατάσταση της Φυσικής, είναι εύκολο να μιλήσουμε για «κρίση». Η λέξη ακούγεται δραματική, σχεδόν απειλητική. Υπονοεί ρήξη, αδιέξοδο, αποσταθεροποίηση. Ωστόσο, αν δούμε την ιστορική πορεία της επιστήμης με ψυχραιμία, διαπιστώνουμε ότι οι λεγόμενες «κρίσεις» υπήρξαν στην ουσία στιγμές έντασης ανάμεσα σε παγιωμένες μορφές γνώσης και σε νέες υλικές πραγματικότητες που αυτές δεν μπορούσαν πλέον να περιγράψουν επαρκώς.

Η επιστήμη δεν εξελίσσεται εν κενώ. Δεν είναι αφηρημένη λογική κατασκευή αποκομμένη από τον κόσμο. Είναι ιστορική δραστηριότητα, ριζωμένη στην κοινωνική πράξη, στην τεχνολογική πρόοδο, στην ίδια την υλική ανάπτυξη των ανθρώπινων κοινωνιών. Κάθε θεωρία αποτελεί μια συγκεκριμένη, ιστορικά προσδιορισμένη αντανάκλαση της αντικειμενικής πραγματικότητας. Όταν αυτή η αντανάκλαση φτάνει στα όριά της, δεν καταρρέει αυθαίρετα· αποκαλύπτει τις εσωτερικές της αντιφάσεις.

Στα τέλη του 19ου αιώνα η Κλασική Φυσική είχε φτάσει σε εντυπωσιακό επίπεδο ωριμότητας. Η Μηχανική του Νεύτωνα, η Θερμοδυναμική και ο Ηλεκτρομαγνητισμός του Maxwell περιέγραφαν με

ακρίβεια ένα τεράστιο φάσμα φαινομένων. Κι όμως, η ίδια η ανάπτυξη των πειραματικών μέσων, η αυξανόμενη ακρίβεια των μετρήσεων, η μελέτη της ακτινοβολίας, η ανίχνευση ατομικών φαινομένων κ.ά., ανέδειξαν αντιφάσεις που δεν μπορούσαν να επιλυθούν μέσα στο υπάρχον πλαίσιο.

Οι δύο επαναστάσεις της Σχετικότητας και της Κβαντομηχανικής δεν ήταν προϊόν «ιδεών που έπεσαν από τον ουρανό». Ήταν αποτέλεσμα της σύγκρουσης ανάμεσα σε μια ώριμη θεωρητική δομή και σε νέα εμπειρικά δεδομένα που αποκάλυπταν τα όριά της. Η Κλασική Φυσική δεν ακυρώθηκε· υπερβαίνοντάς την, οι νέες θεωρίες διατήρησαν τον πυρήνα της ως μια ειδική περίπτωση. Η παλιά γνώση δεν εξαφανίστηκε, αλλά εντάχθηκε σε ένα ευρύτερο πλαίσιο. Αυτή η διαδικασία άρσης, διατήρησης και ταυτόχρονης υπέρβασης, είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα της επιστημονικής εξέλιξης.

Το ίδιο ακριβώς ερώτημα τίθεται και σήμερα. Βρισκόμαστε σε κρίση ή σε μετάβαση; Οι σημερινές αντιφάσεις δεν είναι επιφανειακές. Από τη μια πλευρά, διαθέτουμε θεωρίες με τεράστια προβλεπτική ισχύ. Από την άλλη, γνωρίζουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος του παρατηρήσιμου Σύμπαντος περιγράφεται μέσω άγνωστων μορφών ύλης, ενώ οι δύο θεμελιώδεις θεωρίες μας, η Κβαντική και η Βαρυτική, δεν ενοποιούνται σε ενιαίο σχήμα. Αυτή η κατάσταση δεν σημαίνει ότι οι θεωρίες μας είναι ψευδείς. Σημαίνει ότι αντανακλούν την πραγματικότητα μερικώς και ιστορικά προσδιορισμένα.

Η διαλεκτική κίνηση της γνώσης δεν είναι γραμμική συσσώρευση, είναι ανάπτυξη μέσω αντιφάσεων. Όταν δύο θεωρητικά σχήματα λειτουργούν άριστα στα όριά τους αλλά συγκρούονται σε ακραίες συνθήκες, αυτό δεν αποτελεί λόγο απόρριψης της αντικειμενικής πραγματικότητας· είναι ένδειξη ότι η κατανόησή μας χρειάζεται ένα ανώτερο επίπεδο σύνθεσης. Η ίδια η φύση, ως υλική και αντικειμενική, δεν «διασπάται» σε αντιφατικά τμήματα· οι αντιφάσεις εμφανίζονται στον τρόπο με τον οποίο την προσεγγίζουμε.

Η Ιστορία δείχνει ότι κάθε φορά που η επιστήμη έφτανε σε τέτοιο σημείο έντασης, δεν ακολούθησε οπισθοδρόμηση, ακολούθησε άλμα. Όχι αυθαίρετο άλμα, αλλά αναγκαία υπέρβαση που βασίστηκε τόσο στη συσσωρευμένη γνώση όσο και στην ανάπτυξη νέων πειραματικών και μαθηματικών εργαλείων. Γιατί η πρόοδος της Φυσικής συνδέθηκε πάντοτε με την ανάπτυξη των παραγωγικών δυνάμεων της κοινωνίας: νέα όργανα μέτρησης, νέες τεχνολογίες, νέες μορφές συνεργασίας.

Υπό αυτό το πρίσμα, η σημερινή συγκυρία δεν πρέπει να ιδωθεί ως αδιέξοδο. Είναι στιγμή ιστορικής ωρίμασης. Οι αντιφάσεις που αναδεικνύονται δεν σημαίνουν ότι η Φυσική εξάντλησε τις δυνατότητές της. Σημαίνουν ότι το επίπεδο κατανόησης που έχει επιτευχθεί επιτρέπει πλέον τη διατύπωση βαθύτερων ερωτημάτων.

Το βιβλίο αυτό γεννιέται ακριβώς μέσα σε αυτή τη συνθήκη. Όχι για να διακηρύξει μια «κρίση» της γνώσης, αλλά για να αναδείξει τη δυναμική της μετάβασης. Για να δείξει ότι η επιστημονική έρευνα δεν σταματά όταν εμφανίζονται αντιφάσεις· αντιθέτως, εκεί ακριβώς επιταχύνεται. Η υλική πραγματικότητα δεν παύει να υπάρχει επειδή οι θεωρίες μας δεν την περιγράφουν πλήρως. Παραμένει αντικειμενική, ανεξάρτητη από εμάς, και μας υποχρεώνει να αναπτύσσουμε πιο σύνθετες μορφές κατανόησης.

Αν λοιπόν η εποχή μας χαρακτηρίζεται από ένταση και κρίση, αυτό είναι σημάδι μετάβασης, είναι σημάδι κίνησης. Και η κίνηση, στη φύση όπως και στη γνώση, είναι ο τρόπος ύπαρξης.

ΜΑΝΟΣ ΣΑΡΙΔΑΚΗΣ

ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Τι είναι ο χρόνος; Μπορεί ο χώρος να γεννιέται από την κβαντική πληροφορία; Τι κρύβεται πίσω από τη σκοτεινή ύλη και τη σκοτεινή ενέργεια; Γιατί η Κβαντική Φυσική και η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας δυσκολεύονται να συνυπάρξουν; Πώς από τα σωματίδια αναδύονται τελικά η ζωή και η νόηση; Και πόσο κοντά βρισκόμαστε στην επόμενη μεγάλη επανάσταση της επιστήμης;

Ποτέ άλλοτε δεν γνωρίζαμε τόσο πολλά για τον κόσμο. Σήμερα η Φυσική έχει φτάσει σε τέτοιο βαθμό ωριμότητας, ώστε να αναγνωρίζει και να περιγράφει τα ίδια της τα όρια. Αυτό δεν σηματοδοτεί κρίση αλλά μετάβαση: οι επιτυχίες της ανοίγουν ερωτήματα που απαιτούν ένα νέο άλμα στην κατανόηση της πραγματικότητας.

Με ζωντανή γλώσσα και καθημερινά παραδείγματα, ο συγγραφέας μάς ταξιδεύει σε όλο το εύρος της σύγχρονης Φυσικής: από τον κβαντικό μικρόκοσμο μέχρι τις μαύρες τρύπες, από τις αναδυόμενες ιδιότητες της ύλης μέχρι τους υπεραγωγούς και τους κβαντικούς υπολογιστές, από την αναζήτηση μιας ενιαίας περιγραφής της φύσης μέχρι τις νέες δυνατότητες ανακάλυψης που ανοίγει η τεχνητή νοημοσύνη.

Στα όρια της πραγματικότητας, ανάμεσα σε όσα γνωρίζουμε και σε όσα πλέον γνωρίζουμε ότι αγνοούμε, μια νέα εποχή της Φυσικής παίρνει μορφή. Ας την εξερευνήσουμε!

ISBN 978-618-232-423-3
9 786182 324233
Κωδ. μηχ/σης 230035
www.epbooks.gr