

Roger Penrose

[Σκιές του Νου, Ο Νέος Αυτοκράτορας (;)]

ΑΝΑΖΗΤΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΣ ΠΛΗΡΗΣ ΟΔΗΓΟΣ ΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

Μ Ε Τ Α Φ Ρ Α Σ Η

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ

Φυσικός, MSc Αστροφυσικής, Υπ. Δρ. του Τμήματος Εξωγαλαξιακής Αστρονομίας
του Ινστιτούτου Αστροφυσικής της Ανδαλουσίας (Γρανάδα, Ισπανία)

ΓΙΩΡΓΟΣ ΔΟΥΛΗΣ

Φυσικός, MSc Πυρηνικής Φυσικής, Υπ. Δρ. του Τμήματος Μαθηματικών και Στατιστικής
του Πανεπιστημίου Otago (Dunedin, Νέα Ζηλανδία)



*To βιβλίο είναι αφιερωμένο στη μνήμη του
DENNIS SCIAMA,
ο οποίος με μύησε στο μαγικό κόσμο της Φυσικής*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	xii
Ευχαριστίες	xix
Συμβολισμός	xxii
Πρόλογος	1
1. Οι ρίζες της Επιστήμης	
1.2 Μαθηματική αλήθεια	7
1.3 Είναι ο μαθηματικός κόσμος του Πλάτωνα «πραγματικός»;	10
1.4 Τρεις κόσμοι και τρία βαθιά μυστήρια	12
1.5 Το Καλό, το Αληθινό και το Ωραίο	18
2. Ένα αρχαίο θεώρημα και ένα σύγχρονο ερώτημα	
2.1 Το Πυθαγόρειο θεώρημα	26
2.2 Τα αξιώματα του Ευκλείδη	29
2.3 Απόδειξη του Πυθαγόρειου θεωρήματος μέσω της χρήσης όμοιων επιφανειών	33
2.4 Υπερβολική γεωμετρία: σύμμορφη εικόνα	35
2.5 Άλλες αναπαραστάσεις της υπερβολικής γεωμετρίας	39
2.6 Ιστορικά στοιχεία της υπερβολικής γεωμετρίας	45
2.7 Συσχέτιση με το φυσικό χώρο	49

3. Είδη αριθμών στο φυσικό κόσμο	
3.1 Μια Πυθαγόρεια καταστροφή;	55
3.2 Το σύστημα των πραγματικών αριθμών.	58
3.3 Οι πραγματικοί αριθμοί στον φυσικό κόσμο.	64
3.4 Οι φυσικοί αριθμοί χρειάζονται τον φυσικό κόσμο;.	68
3.5 Οι διακριτοί αριθμοί στον πραγματικό κόσμο	70
4. Οι μαγικοί μιγαδικοί αριθμοί	
4.1 Ο μαγικός αριθμός «i».	76
4.2 Λύνοντας εξισώσεις με μιγαδικούς αριθμούς	79
4.3 Σύγκλιση δυναμοσειρών	82
4.4 Το μιγαδικό επίπεδο του Caspar Wessel.	87
4.5 Πώς κατασκευάζεται το σύνολο Mandelbrot	89
5. Η γεωμετρία των λογάριθμων, δυνάμεων και ριζών	
5.1 Η γεωμετρία της μιγαδικής άλγεβρας	92
5.2 Η ιδέα του μιγαδικού λογάριθμου.	97
5.3 Πλειοτιμία, φυσικοί λογάριθμοι	99
5.4 Μιγαδικές δυνάμεις.	104
5.5 Ορισμένες συσχετίσεις με τη μοντέρνα σωματιδιακή φυσική.	107
6. Πραγματικός Λογισμός	
6.1 Τι είναι η συνάρτηση;	111
6.2 Κλίσεις συναρτήσεων	114
6.3 Παράγωγοι μεγαλύτερης τάξης, C^∞ -ομαλές συναρτήσεις	117
6.4 Η «κατά Euler» έννοια της συνάρτησης	120
6.5 Οι κανόνες διαφόρισης	123
6.6 Ολοκλήρωση	125
7. Μιγαδικός Λογισμός	
7.1 Μιγαδική ομαλότητα και ολόμορφες συναρτήσεις.	132
7.2 Επικαμπύλιο ολοκλήρωμα	134
7.3 Δυναμοσειρά και μιγαδική ομαλότητα	137
7.4 Αναλυτική συνέχιση	140
8. Επιφάνειες Riemann και μιγαδικές απεικονίσεις	
8.1 Η έννοια της επιφάνειας Riemann	146

8.2 Σύμμορφες απεικονίσεις	150
8.3 Σφαίρα Riemann	154
8.4 Το γένος μιας συμπαγούς επιφάνειας Riemann	158
8.5 Το θεώρημα απεικόνισης του Riemann	161
9. Ανάλυση Fourier και υπερσυναρτήσεις	
9.1 Σειρές Fourier	165
9.2 Συναρτήσεις σε κύκλο	170
9.3 Ο διαχωρισμός συχνοτήτων στη σφαίρα Riemann	174
9.4 Ο μετασχηματισμός Fourier	177
9.5 Διαχωρισμός συχνοτήτων με το μετασχηματισμό Fourier	179
9.6 Τι είδος συνάρτησης χρειαζόμαστε;	182
9.7 Υπερσυναρτήσεις	186
10. Επιφάνειες	
10.1 Μιγαδικές διαστάσεις και πραγματικές διαστάσεις	193
10.2 Ομαλότητα, μερικές παράγωγοι	195
10.3 Διανυσματικά πεδία και 1-μορφές	200
10.4 Συνιστώσες, βαθμωτά γινόμενα	205
10.5 Οι εξισώσεις Cauchy-Riemann	208
11. Οι υπερμιγαδικοί αριθμοί	
11.1 Η άλγεβρα των τετραδονίων	214
11.2 Ο φυσικός ρόλος των τετραδονίων;	217
11.3 Η γεωμετρία των τετραδονίων	220
11.4 Σύνθεση στροφών	223
11.5 Οι άλγεβρες Clifford	225
11.6 Οι άλγεβρες Grassmann	228
12. Πολλαπλότητες n διαστάσεων	
12.1 Γιατί μελετάμε τις πολλαπλότητες περισσοτέρων διαστάσεων;	234
12.2 Πολλαπλότητες και επιφάνειες επικάλυψης	238
12.3 Βαθμωτά μεγέθη, διανύσματα και συνδιανύσματα	240
12.4 Γινόμενα Grassmann	245
12.5 Ολοκληρώματα μορφών	248
12.6 Εξωτερική παράγωγος	250
12.7 Στοιχεία όγκου και η ανθροιστική σύμβαση	254

12.8 Τανυστές: συμβολισμός με αρηρημένους δείκτες και διαγραμματικός συμβολισμός	259
12.9 Μιγαδικές πολλαπλότητες	263
13. Ομάδες συμμετρίας	
13.1 Ομάδες μετασχηματισμών	267
13.2 Υποομάδες και απλές ομάδες	271
13.3 Γραφικοί μετασχηματισμοί και πίνακες	276
13.4 Ορίζουσες και ίχνη	282
13.5 Ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα	285
13.6 Θεωρία αναπαράστασης και άλγεβρες Lie	288
13.7 Χώροι αναπαράστασης τανυστών, αναγωγιμότητα	292
13.8 Ορθογώνιες ομάδες	298
13.9 Μοναδιακές ομάδες	304
13.10 Συμπλεκτικές ομάδες	310
14. Λογισμός σε πολλαπλότητες	
14.1 Διαφόριση σε μία πολλαπλότητα;	316
14.2 Παράλληλη μετατόπιση	318
14.3 Συναλλοίωτη παράγωγος	322
14.4 Καμπυλότητα και στρέψη.	327
14.5 Γεωδαισιακές, παραλληλόγραμμα και καμπυλότητα	329
14.6 Παράγωγος Lie	336
14.7 Τι μας προσφέρει; μια μετρική;	344
14.8 Συμπλεκτικές πολλαπλότητες	349
15. Δέσμες ινών και συνδέσεις βαθμίδας	
15.1 Η φυσική προέλευση της δέσμης ινών	353
15.2 Η μαθηματική έννοια της δέσμης	356
15.3 Τομές δεσμών	361
15.4 Η δέσμη Clifford-Hopf	363
15.5 Δέσμες μιγαδικών διανυσμάτων, (συν)εφαπτόμενες δέσμες	368
15.6 Προβολικοί χώροι	372
15.7 Το μη-τετριμένο σε μία σύνδεση δέσμης	377
15.8 Καμπυλότητα της δέσμης	381

16.Η διαβαθμίσεις του απείρου

16.1 Πεπερασμένα πεδία	388
16.2 Μία πεπερασμένη ή άπειρη γεωμετρία για τη φυσική:	391
16.3 Τα διάφορα μεγέθη του άπειρου.	396
16.4 Το διαγώνιο επιχείρημα του Cantor	400
16.5 Προβλήματα στη θεμελίωση των μαθηματικών.	404
16.6 Οι μηχανές Turing και το θεώρημα Gödel	407
16.7 Τα μεγέθη του άπειρου στη φυσική.	412

17.Ο χωρόχρονος

17.1 Ο χωρόχρονος στην Αριστοτέλεια φυσική	417
17.2 Ο χωρόχρονος στη σχετικότητα του Γαλιλαίου	420
17.3 Νευτώνεια δυναμική και χωρόχρονος	422
17.4 Η αρχή της ισοδυναμίας	425
17.5 Ο «Νευτώνειος χωρόχρονος» του Cartan	429
17.6 Η σταθερή πεπερασμένη ταχύτητα του φωτός	435
17.7 Κώνοι φωτός	437
17.8 Εγκαταλείποντας τον απόλυτο χρόνο	441
17.9 Ο χωρόχρονος της γενικής θεωρίας της σχετικότητας του Einstein	444

18.Γεωμετρία Minkowski

18.1 Ο Ευκλείδειος και ο Minkowski 4-διάστατος χώρος	448
18.2 Οι ομάδες συμμετρίας του χώρου Minkowski	451
18.3 Η ορθογωνιότητα Lorentz και το «παράδοξο του ρολογιού»	454
18.4 Η υπερβολική γεωμετρία του χώρου Minkowski	458
18.5 Η ουράνια σφαίρα σαν σφαίρα Riemann	465
18.6 Νευτώνεια ενέργεια και (στροφο) ορμή	469
18.7 Σχετικιστική ενέργεια και (στροφο) ορμή	472

19.Τα κλασικά πεδία του Maxwell και του Einstein

19.1 Η εξέλιξη πέρα από τη Νευτώνεια δυναμική	479
19.2 Η γλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell	481
19.3 Οι νόμοι της διατήρησης και της ροής στη θεωρία του Maxwell	486
19.4 Το πεδίο του Maxwell σαν καμπυλότητα βαθμίδας	489
19.5 Ο τανυστής ενέργειας-ορμής	495

19.6 Οι εξισώσεις πεδίου του Einstein	499
19.7 Περαιτέρω ζητήματα: η κοσμολογική σταθερά και ο τανυστής Weyl	503
19.8 Η ενέργεια του βαρυτικού πεδίου	505
20.Λαγκρανζιανές και Χαμιλτονιανές	
20.1 Ο μαγικός Λαγκρανζιανός φορμαλισμός	512
20.2 Η πιο συμμετρική Χαμιλτονιανή περιγραφή	517
20.3 Μικρές ταλαντώσεις	520
20.4 Η Χαμιλτονιανή δυναμική ως συμπλεκτική γεωμετρία	526
20.5 Λαγκρανζιανή αντιμετώπιση των πεδίων	529
20.6 Πώς οι Λαγκρανζιανές καθοδηγούν τις μοντέρνες θεωρίες;	532
21.Το κβαντικό σωματίδιο	
21.1 Μη-μεταθετικές μεταβλητές	537
21.2 Κβαντικές Χαμιλτονιανές	541
21.3 Η εξίσωση του Schrödinger	543
21.4 Το πειραματικό υπόβαθρο της κβαντικής θεωρίας	545
21.5 Κατανοώντας τον χυματοσωματιδιακό δυσμό	550
21.6 Τι είναι η κβαντική «πραγματικότητα»;	553
21.7 Η «ολιστική» φύση μιας χυματοσυνάρτησης	557
21.8 Τα μυστηριώδη «κβαντικά άλματα»	562
21.9 Η κατανομή πιθανότητας μιας χυματοσυνάρτησης	563
21.10 Καταστάσεις θέσης	566
21.11 Η περιγραφή στο χώρο των ορμών	568
22.Κβαντική άλγεβρα, γεωμετρία και σπιν	
22.1 Οι κβαντικές διαδικασίες U και R	573
22.2 Η γραμμικότητα της U και τα προβλήματά της με την R	576
22.3 Η μοναδιακή δομή, ο χώρος Hilbert και ο συμβολισμός Dirac	579
22.4 Η μοναδιακή εξέλιξη: Schrödinger και Heisenberg	582
22.5 Κβαντικές «παρατηρήσιμες ποσότητες».	586
22.6 Οι «ΝΑΙ/ΟΧΙ» μετρήσεις και οι προβολικοί τελεστές	590
22.7 Μηδενικές μετρήσεις και ελικότητα	593
22.8 Σπιν και σπίνορες	598
22.9 Η σφαίρα Riemann των συστημάτων με δύο καταστάσεις	603
22.10 Μεγαλύτερο σπιν: αναπαράσταση Majorana	609

22.11 Σφαιρικές αρμονικές	612
22.12 Η σχετικιστική κβαντική στροφορμή	617
22.13 Το απομονωμένο κβαντικό αντικείμενο	621
23.Ο εναγκαλισμός του κβαντικού κόσμου	
23.1 Η κβαντική μηχανική ενός συστήματος πολλών σωματιδίων	629
23.2 Ο τεράστιος καταστατικός χώρος των συστημάτων πολλών σωματιδίων	632
23.3 Ο κβαντικός εναγκαλισμός και οι ανισότητες Bell	635
23.4 Τα τύπου Bohm πειράματα EPR	638
23.5 Το EPR παράδειγμα του Hardy: σχεδόν χωρίς πιθανότητες	643
23.6 Τα δύο μυστήρια του κβαντικού εναγκαλισμού	645
23.7 Μποζόνια και φερμιόνια	648
23.8 Οι κβαντικές καταστάσεις των μποζονίων και φερμιονίων	651
23.9 Η κβαντική τηλεμεταφορά	653
23.10 Ο κβαντογκαλισμός	658
24.Το ηλεκτρόνιο του Dirac και τα αντισωματίδια	
24.1 Αντιπαράθεση μεταξύ κβαντικής θεωρίας και σχετικότητας	665
24.2 Γιατί από τα αντισωματίδια οδηγούμαστε στα κβαντικά πεδία;	667
24.3 Η ενέργεια είναι θετική στην κβαντική μηχανική	669
24.4 Τα προβλήματα της σχετικιστικής έκφρασης της ενέργειας	671
24.5 Η μη-αναλλοιώτητα του τελεστή $\partial/\partial t$	673
24.6 Η κατά Clifford-Dirac τετραγωνική ρίζα της Νταλαμπερντιανής. . .	676
24.7 Η εξίσωση Dirac	678
24.8 Η πορεία του Dirac προς το ποζιτρόνιο	680
25.Το ηλεκτρόνιο στην Κανονική Φυσική	
25.1 Η προέλευση της σύγχρονής σωματιδιακής φυσικής	686
25.2 Η «ζιγκ-ζαγκ» περιγραφή του ηλεκτρονίου	688
25.3 Η λεκτρασθενείς αλληλεπιδράσεις και κατοπτρική ασυμμετρία	692
25.4 Συζυγία φορτίου, ομοτιμία και χρονική αντιστροφή	699
25.5 Η ηλεκτρασθενής ομάδα συμμετρίας	701
25.6 Ισχυρώς αλληλεπιδρώντα σωματίδια	706
25.7 «Χρωματιστά κουάρκ»	710
25.8 Πέρα από το κανιερωμένο πρότυπο;	714

26.Κβαντική θεωρία πεδίου

26.1 Η θεμελιώδης θέση της ΚΘΠ στη σύγχρονη φυσική	718
26.2 Τελεστές δημιουργίας και καταστροφής	720
26.3 Άλγεβρες άπειρων διαστάσεων	724
26.4 Τα αντισωματίδια στην ΚΘΠ	726
26.5 Εναλλακτικές καταστάσεις κενού	728
26.6 Αλληλεπιδράσεις: Λαγκρανζιανές και ολοκληρώματα διαδρομών	730
26.7 Αποκλίνοντα ολοκληρώματα διαδρομών: η απάντηση του Feynman	735
26.8 Τα διαγράμματα Feynman και ο <i>S</i> -πίνακας	737
26.9 Επανακανονικοποίηση	741
26.10 Τα διαγράμματα Feynman των Λαγκρανζιανών	746
26.11 Τα διαγράμματα Feynman και η επιλογή του κενού	748

27.Η Μεγάλη Έκρηξη και η θερμοδυναμική αληθονομιά της

27.1 Η χρονική συμμετρία της δυναμικής εξέλιξης	753
27.2 Μικροσκοπικά συστατικά	755
27.3 Η εντροπία	757
27.4 Η αντοχή της έννοιας της εντροπίας	760
27.5 Εξαγωγή του δεύτερου νόμου – ή όχι;	764
27.6 Είναι ολόκληρο το σύμπαν ένα «απομονωμένο σύστημα»;	768
27.7 Ο ρόλος της Μεγάλης Έκρηξης	771
27.8 Μελανές οπές	777
27.9 Ορίζοντες γεγονότων και χωροχρονικές μοναδικότητες	783
27.10 Η εντροπία των μελανών οπών	785
27.11 Κοσμολογία	789
27.12 Σύμμορφα διαγράμματα	795
27.13 Η εξαιρετικά εκλεκτή Μεγάλη Έκρηξη	800

28.Θεωρίες για το πρώιμο σύμπαν

28.1 Το αυθόρυμητο σπάσιμο συμμετρίας στο πρώιμο σύμπαν	809
28.2 Κοσμικές τοπολογικές ανωμαλίες	814
28.3 Προβλήματα κατά το σπάσιμο συμμετρίας στο πρώιμο σύμπαν	818
28.4 Πληθυριστική κοσμολογία	822
28.5 Οι λόγοι που οδηγούν στον πληθυρισμό είναι σωστοί;	829
28.6 Η ανθρωπική αρχή	835

28.7 Η ιδιαίτερα εκλεκτή φύση της Μεγάλης Έκρηξης: μία ανθρωπική απάντηση;	840
28.8 Η υπόθεση της καμπυλότητας Weyl	844
28.9 Η «μη-φραγμένη» πρόταση των Hartle-Hawking	848
28.10 Κοσμολογικές παράμετροι: έχουν παρατηρησιακή υπόσταση?	852
29. Το μετρητικό παράδοξο	
29.1 Συμβατικές οντολογικές ερμηνείες της κβαντικής θεωρίας	863
29.2 Μη-συμβατικές οντολογικές ερμηνείες της κβαντικής θεωρίας	867
29.3 Ο πίνακας πυκνότητας	874
29.4 Πίνακες πυκνότητας για σπιν $\frac{1}{2}$: η σφαίρα Bloch	877
29.5 Ο πίνακας πυκνότητας των φαινομένων EPR	881
29.6 Η FAPP φιλοσοφία της περιβαλλοντικής αποσυσχέτισης	886
29.7 Η γάτα του Schrödinger στην οντολογική ερμηνεία της «Κοπεγχάγης»	888
29.8 Το παράδοξο της «γάτας» επιλύεται από κάποια άλλη συμβατική οντολογική ερμηνεία;	891
29.9 Ποιες μη-συμβατικές οντολογικές ερμηνείες θα μπορούσαν να βοηθήσουν;	895
30. Ο ρόλος της βαρύτητας κατά την αναγωγή της κβαντικής κατάστασης	
30.1 Η σημερινή κβαντική θεωρία είναι ακλόνητη;	901
30.2 Ενδείξεις για κοσμολογική χρονική ασυμμετρία	903
30.3 ή της κβαντικής κατάστασης	905
30.4 Η θερμοκρασία Hawking των μελανών οπών	910
30.5 Η μιγαδική περιοδικότητα και η θερμοκρασία των μελανών οπών . .	914
30.6 Διανύσματα Killing, ενεργειακή ροή και ταξίδι στο χρόνο!	920
30.7 Εκροή ενέργειας από αρνητικής ενέργειας τροχιές	924
30.8 Οι εκρήξεις Hawking	927
30.9 Μία ριζοσπαστικότερη άποψη	931
30.10 Ο βώλος του Schrödinger	935
30.11 Θεμελιώδης σύγκρουση με τις αρχές του Einstein	939
30.12 Καταστάσεις Schrödinger-Newton	943
30.13 Το πείραμα FELIX και σχετικές προτάσεις.	946
30.14 Η προέλευση των διακυμάνσεων στο πρώιμο σύμπαν	952

31. Υπερσυμμετρία, υπερδιαστατικότητα και χορδές

31.1 Ανεξήγητες παράμετροι	960
31.2 Υπερσυμμετρία	965
31.3 Η άλγεβρα και η γεωμετρία της υπερσυμμετρίας.	969
31.4 Χωρόχρονος περισσότερων διαστάσεων	973
31.5 Η αρχική αδρονική θεωρία χορδών	977
31.6 Πως οδηγηθήκαμε στη θεωρία χορδών.	981
31.7 Οι χορδές απαιτούν επιπλέον χωροχρονικές διαστάσεις.	985
31.8 Θεωρία χορδών: μία θεωρία κβαντικής βαρύτητας;	987
31.9 Η δυναμική των χορδών	990
31.10 Γιατί δεν αισθανόμαστε τις επιπλέον χωρικές διαστάσεις;	993
31.11 Πρέπει να δεχτούμε το επιχείρημα της κβαντικής σταθερότητας;	998
31.12 Η κλασική αστάθεια των επιπλέον διαστάσεων.	1002
31.13 Είναι η θεωρία χορδών μία πεπερασμένη ΚΘΠ;	1005
31.14 Οι μαγικοί χώροι Calabi-Yau: M-θεωρία	1007
31.15 Χορδές και εντροπία των μελανών οπών	1014
31.16 Η «ολογραφική αρχή»	1019
31.17 Η ιδέα των D-βρανών	1022
31.18 Ποια είναι η φυσική υπόσταση της θεωρίας χορδών;	1026

32. Ο αυστηρότερος δρόμος του Einstein. Μεταβλητές βρόχων

32.1 Κανονική κβαντική βαρύτητα	1034
32.2 Η εισαγωγή της χειραλικότητας στις μεταβλητές του Ashtekar	1036
32.3 Η μορφή των μεταβλητών του Ashtekar	1039
32.4 Οι μεταβλητές βρόχων	1042
32.5 Τα μαθηματικά των κόμβων και των συνδέσεων.	1045
32.6 Δίκτυα σπιν	1049
32.7 Η υπόσταση της κβαντικής βαρύτητας βρόχων	1055

33. Πιο ριζοσπαστικές προοπτικές: θεωρία συστροφέων

33.1 Θεωρίες στις οποίες η γεωμετρία έχει διακριτά στοιχεία	1061
33.2 Οι συστροφείς ως ακτίνες φωτός	1066
33.3 Σύμμορφη ομάδα: συμπαγοποιημένος χώρος Minkowski	1072
33.4 Οι συστροφείς ως σπίνορες περισσοτέρων διαστάσεων	1077
33.5 Η βασική γεωμετρία και οι συντεταγμένες του χώρου των συστροφέων	1079

33.6 Η γεωμετρία των συστροφέων ως περιστρεφόμενα σωματίδια χωρίς μάζα	1084
33.7 Κβαντική θεωρία συστροφέων	1089
33.8 Τα πεδία χωρίς μάζα στα πλαίσια της θεωρίας συστροφέων	1092
33.9 Η δεσμική συνομολογία των συστροφέων	1094
33.10 Οι συστροφείς και η ανάλυση σε θετική/αρνητική συχνότητα	1100
33.11 Το μη-γραμμικό βαρυτόνιο	1102
33.12 Συστροφείς και γενική σχετικότητα	1108
33.13 Προς μία θεωρία της σωματιδιακής φυσικής στα πλαίσια της θεωρίας συστροφέων	1110
33.14 Το μέλλον της θεωρίας συστροφέων;	1112
 34.Αναζητώντας το δρόμο προς την πραγματικότητα	
34.1 Οι μεγάλες θεωρίες της φυσικής του 20^{ού} αιώνα – και πέρα από αυτές;	1119
34.2 Θεμελιώδης φυσική καθοδηγούμενη από τα μαθηματικά	1124
34.3 Ο ρόλος της μόδας στις θεωρίες της φυσικής	1127
34.4 Μπορεί μία εσφαλμένη θεωρία να διαψευστεί πειραματικά;	1131
34.5 Από πού να περιμένουμε την επόμενη επανάσταση στη φυσική;	1135
34.6 Τι είναι η πραγματικότητα;	1139
34.7 Ο ρόλος της νοημοσύνης στη φυσική θεωρία	1141
34.8 Ο μακρύς μαθηματικός δρόμος προς την πραγματικότητα	1145
34.9 Ομορφιά και θαύματα	1150
34.10 Θεμελιώδεις ερωτήσεις βρίσκουν απαντήσεις, θεμελιωδέστερες ερωτήσεις τίθενται	1156
Επίλογος	1161
Βιβλιογραφία	1163
Ευρετήριο	1194

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός αυτού του βιβλίου είναι να μεταφέρει στον αναγνώστη μία γεύση γι' αυτό που σήγουρα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και συναρπαστικότερα ταξίδια εξερεύνησης για τα οποία ξεκίνησε ποτέ η ανθρωπότητα. Πρόκειται για την έρευνα των βασικών αρχών που διέπουν τη συμπεριφορά του σύμπαντος. Είναι ένα ταξίδι που διαρκεί εδώ και περισσότερο από δυόμιση χιλιετίες, και δε θα πρέπει λοιπόν να μας εκπλήσσει το γεγονός ότι εντέλει! έχει συμβεί ουσιαστική πρόοδος. Αυτό το ταξίδι αποδείχθηκε ιδιαίτερα δύσκολο και η αληθινή κατανόηση κατακτήθηκε, σε μεγάλο βαθμό, αλλά με αργούς ρυθμούς. Αυτή η έμφυτη δυσκολία μας οδήγησε πολλές φορές σε λάθος κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα αυτό να μας εφιστήσει την προσοχή. Ο 20^{ός} αιώνας μας έφερε μπροστά σε εξαιρετικές νέες ιδέες – μερικές γνώμη ότι βρισκόμαστε κοντά στη βαθιά κατανόηση όλων των θεμελιωδών αρχών της φύσης.

Περιγράφοντας τις σύγχρονες θεμελιώδεις θεωρίες, καιώνας έχει πλέον κλείσει τον κύκλο του, θα προσπαθήσω να κρατήσω μία πιο νηφάλια στάση. Δε θα είναι όλες μου οι απόφεις καλοδεχούμενες από αυτούς που θα λέγαμε «οπτιμιστές», αλλά η δική μου προσδοκία είναι ότι θα συντελεστούν ακόμα σημαντικότερες αλλαγές στην κατεύθυνση από αυτές που έλαβαν χώρα τον περασμένο αιώνα. Ο αναγνώστης θα διαπιστώσει ότι σε αυτό το βιβλίο δε διστάζω να παραθέσω και μαθηματικούς τύπους, παρά τις σοβαρές προειδοποιήσεις ότι αυτό θα επιφέρει σημαντική μείωση του αναγνωστικού κοινού. Σκέφτηκα πολύ πάνω σε αυτό το δίλημμα και κατέληξα στο συμπέρασμα ότι αυτά που θέλω να πω δε θα γίταν δυνατό να διατυπωθούν χωρίς τη βοήθεια κάποιου μαθηματικού συμβολισμού και τη διερεύνηση ορισμένων καθαρά μαθηματικών εννοιών. Για να αντιληφθούμε τις

με ως ένα βαθμό το μαθηματικό τους πλαίσιο. Πιθανόν αυτό να γεννήσει απελπισία σε ορισμένους που έχουν σχηματίσει την άποψη ότι δεν έχουν κλίση στα μαθηματικά, ανεξάρτητα αν πρόκειται για μαθηματικά στοιχειώδους επιπέδου. Πώς είναι δυνατό, θα πουν, να κατανοήσουν τις τελευταίες εξελίξεις στην έρευνα της Φυσικής, αν δεν γνωρίζουν ούτε να χειριστούν τα κλάσματα; Φυσικά, κατανοώ την δυσκολία.

Από την άλλη όμως, είμαι πολύ ασιόδοξος όσον αφορά τη μεταβίβαση της κατανόησης. Πιθανόν να είμαι αιλεράπευτα οπτιμιστής. Αναρωτέμαι, μήπως οι αναγνώστες που δεν μπορούν να χειριστούν τα κλάσματα –ή που αυτό τουλάχιστον ισχυρίζονται– αυτοεξαπατώνται έστω και σε μικρό βαθμό, ενώ αντίθετα ένα σημαντικό ποσοστό από αυτούς κρύβει ένα αληθινό δυναμικό προς αυτή την κατεύθυνση, το οποίο δε γνωρίζει καν; Αναμφίβολα ορισμένοι, όταν έρχονται αντιμέτωποι με μία γραμμή από μαθηματικά σύμβολα, βλέπουν μόνο το αμείλικτο πρόσωπο ενός γονιού ή δασκάλου που κάποτε προσπάθησε να τους αναγκάσει να παπαγαλίσουν κάτι ακατανόητο –μία υποχρέωση και μόνο αυτό– χωρίς καμία νύξη για τη μαγεία ή την ομορφιά που θα μπορούσε να τους επικοινωνήσει αυτό το αντικείμενο. Πιθανόν να είναι πολύ αργά για ορισμένους· αλλά όπως είπα, είμαι οπτιμιστής και πιστεύω ότι υπάρχουν πολλοί, ακόμα και μεταξύ αυτών που ποτέ δεν μπόρεσαν να καταλάβουν τα κλάσματα, οι οποίοι έχουν τη διάθεση να πάρουν μία μικρή γεύση από αυτό τον υπέροχο κόσμο, ο οποίος θεωρώ ότι θα πρέπει να είναι, σε ένα μεγάλο βαθμό, προσιτός σε αυτούς.

Μία από τις καλύτερες φίλες της μητέρας μου, όταν ήταν μικρό κοριτσάκι, ήταν από αυτούς που δεν «έπιαναν» τα κλάσματα, όπως μου εκμυστηρεύτηκε η ίδια αφού είχε πια αποτραβήχτεί από μία επιτυχημένη καριέρα ως χορεύτρια μπαλέτου. Ήμουν νέος τότε, δεν είχα ακόμα ξεκινήσει πλήρως να δραστηριοποιούμε ως μαθηματικός, αλλά ήταν γνωστό ότι απολάμβανα το θέμα με το οποίο ασχολιόμουν. «Είναι όλες αυτές οι αναίρεσεις», μου είπε, «που δεν τους πήρα το κολάι». Ήταν μία κομψή και ευφυέστατη γυναίκα και χωρίς καμιά αμφιβολία οι πνευματικές ικανότητες που είναι απαραίτητες για την κατανόηση μιας πολύπλοκης χορογραφίας, κάτι βασικό για το μπαλέτο, δεν είναι κατώτερες από αυτές που επικαλείται κανείς μπροστά σε ένα μαθηματικό πρόβλημα. Έτσι λοιπόν, υπερεκτιμώντας τις ικανότητές μου να εξηγώ αναλυτικά τα πράγματα, προσπάθησα, όπως είχαν κάνει και άλλοι στο παρελθόν, να της εξηγήσω την απλότητα και τη λογική της διαδικασίας της «αναίρεσης».

Οι προσπάθειές μου στέφθηκαν με την ίδια αποτυχία όπως και των προηγούμε-

για την κατανόηση επιστημονικών προβλημάτων. Πιθανόν το «αμείλικτο πρόσωπο» να είχε παίξει εδώ κάποιο ρόλο, αυτό όμως δεν το γνωρίζω). Μετά από βαθιά

σκέψη, σήμερα αναρωτιέμαι μήπως αυτή – και πολλοί άλλοι όπως αυτή – είχε μία
η
μου φλυαρία εγώ δεν είχα προσέξει. Υπάρχει πράγματι ένα βαθύ ζήτημα που κα-
η
φυσική, το οποίο πρωτοεμφανίζεται στη φαινομενικά αιώνα πράξη της αλληλοανά-
ρεσης των όμοιων όρων από τον ονομαστή και παρονομαστή ενός συνηθισμένου
αριθμητικού ηλίσπιτος.

Όσοι θεωρούν απόλυτα φυσική την αναίρεση, λόγω της εξοικείωσης που προ-
καλεί η επανάληψη τέτοιου είδους πράξεων, πιθανόν να μη διαισθάνονται τη δυσκο-
λία που ελλοχεύει πάσω από αυτή τη φαινομενικά απλή διαδικασία. Τσως πολλοί
από εκείνους που βρίσκουν την αναίρεση μυστηριώδη, να διακρίνουν ένα βαθύτε-
ρο πρόβλημα που όσοι από εμάς προχωράμε με υπεροπτικό τρόπο, φαίνεται ότι το
αγνοούμε. Για ποιο πρόβλημα πρόκειται; Αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι μαθη-
ματικοί αποδίδουν μια ύπαρξη στις μαθηματικές τους οντότητες και τον τρόπο με
τον οποίο αυτές οι οντότητες σχετίζονται με τη φυσική πραγματικότητα.

Θυμάμαι μια φορά στο σχολείο, στην ηλικία περίπου των έντεκα χρόνων, ότι
είχα αιρνιδιαστεί όταν ο δάσκαλος ρώτησε την τάξη τι είναι στην πραγματικότητα
ένα κλάσμα (π.χ. το $\frac{3}{8}$)! Ακούστηκαν διάφορες προτάσεις, σχετικά με το μοίρασμα
μιας πίττας και τα παρόμοια, όμως όλες απορρίφθηκαν από το δάσκαλο στην (ορθή)
βάση ότι αναφέρονταν σε ανακριβείς φυσικές καταστάσεις, οι οποίες επικαλούνταν
την ακριβή μαθηματική έννοια του κλάσματος, χωρίς όμως να λένε τι ακριβώς είναι
αυτή η έννοια. Ακούστηκαν και ορισμένες άλλες απόψεις όπως ότι το $\frac{3}{8}$ είναι «κάτι
με το 3 πάνω, το 8 κάτω και μια οριζόντια γραμμή στη μέση», και θυμάμαι με
είχε εντυπωσιάσει εξαιρετικά το γογονός ότι ο δάσκαλος φαινόταν να παίρνει στα
σοβαρά αυτές τις προτάσεις! Δεν θυμάμαι πώς κατέληξε η συζήτηση, όμως με την
κατοπινή μου εμπειρία ως φοιτητής των μαθηματικών, μπορώ τώρα να διακρίνω ότι
ο δάσκαλός μας είχε κάνει μία γενναία απόπειρα να μας παρουσιάσει τον ορισμό
ενός κλάσματος με τη βοήθεια της πανταχού παρούσας μαθηματικής έννοιας της
κλάσης ισοδυναμίας.

Για ποια έννοια πρόκειται; Πώς εφαρμόζεται σε αυτή την περίπτωση για να
μας πει τι είναι ένα κλάσμα; Ας αρχίσουμε από το «κάτι με το 3 πάνω και το
8 κάτω» του συμμαθητή μου. Βασικά αυτή, η πρόταση σημαίνει ότι ένα κλάσμα
καθορίζεται από ένα διατεταγμένο ζεύγος ακέραιων αριθμών, στη συγχεκριμένη
περίπτωση του 3 και του 8. Ωστόσο δε θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι το
κλάσμα είναι αυτό το διατεταγμένο ζεύγος, επειδή, για παράδειγμα, το κλάσμα $\frac{6}{16}$
είναι ο ίδιος αριθμός με το κλάσμα $\frac{3}{8}$, ενώ το ζεύγος (6,16) σίγουρα δε συμπίπτει
με το ζεύγος (3,8). Αυτό προκύπτει απλά με μία αναίρεση, γιατί το $\frac{1}{16}$ μπορεί να
γραφτεί ως $\frac{3}{8 \times 2}$ και στη συνέχεια να ανατρεθεί το 2 από πάνω και από κάτω, δίνοντας

με το ζεύγος (3,8); Η απάντηση των μαθηματικών –η οποία θα ακουστεί σαν μία περιστροφή – ενσωματώνει τον κανόνα της αναίρεσης στον ορισμό του κλάσματος: ένα ζεύγος ακέραιων αριθμών ($a \times n, b \times n$) αναπαριστά το ίδιο κλάσμα όπως το ζεύγος (a, b) όταν ο n είναι ένας μη-μηδενικός ακέραιος αριθμός (και όπου ούτε ο b επιτρέπεται να είναι 0).

Ούτε αυτό όμως μας λέει τι είναι ένα κλάσμα· μας δίνει μόνο κάποιες πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο αναπαριστούμε τα κλάσματα. Τι είναι λοιπόν ένα κλάσμα; Σύμφωνα με τη έννοια της «κλάσης ισοδυναμίας» των μαθηματικών, το κλάσμα $\frac{a}{b}$ για παράδειγμα, είναι απλώς η άπειρη συλλογή όλων των ζευγών

$$(3,8), (-3,-8), (6,16), (-6,-16), (9,24), (-9,-24), (12,32), \dots$$

όπου κάθε ζεύγος μπορεί να προκύψει από κάθε άλλο με την επανάληψη του παραπάνω κανόνα της αναίρεσης.* Για την ολοκλήρωση του ορισμού, χρειάζεται να οριστεί η πρόσθεση, η αφαίρεση και ο πολλαπλασιασμός των άπειρων συλλογών ζευγών ακέραιων, για τους οποίους ισχύουν οι συνήθεις κανόνες της άλγεβρας, καθώς και η αντιστοίχιση κάθις ενός από τους ακέραιους με κάποιο ειδικό είδος κλάσματος.

Αυτός ο ορισμός καλύπτει ότι χρειαζόμαστε από μαθηματικής πλευράς για τα κλάσματα (όπως ότι το $\frac{1}{2}$ είναι ένας αριθμός, ο οποίος όταν προστεθεί στον εαυτό του δίνει τον αριθμό 1 κ.λπ.) και η πράξη της αναίρεσης, όπως είδαμε, ενσωματωνεται σε αυτόν. Ωστόσο αυτός ο ορισμός είναι τόσο τυπικός που γεννάται το ερώτημα αν πράγματι μπορεί να μετακρέψει τη διαισθητική έννοια τού τι είναι ένα κλάσμα. Παρόλο που αυτή η πανταχού παρούσα διαδικασία της κλάσης ισοδυναμίας είναι πολύ ισχυρή ως καθαρά μαθηματικό εργαλείο για την απόδειξη της συνέπειας και της μαθηματικής ύπαρξης, μπορεί να οδηγήσει σε υδροκέφαλες οντότητες. Για παράδειγμα σχεδόν δεν προσεγγίζει καθόλου τη διαισθητική έννοια του $\frac{1}{2}$! Δεν με εκπλήσσει που η φίλη της μητέρας μου μπερδεύστων.

Στη δική μου περιγραφή των μαθηματικών έννοιών θα προσπαθήσω να αποφύγω, στο μέτρο του δυνατού, εκείνη την μαθηματική τυπολατρία που οδηγεί στο να ορίσουμε ένα κλάσμα ως μία «κλάση ισοδυναμίας ζευγών», παρόλο που αυτό σίγουρα έχει την αξία του όσον αφορά τη μαθηματική αυστηρότητα και ακρίβεια. Εδώ, οι περιγραφές μου θα επικεντρωθούν περισσότερο στη μετάδοση της ιδέας που εμπεριέχεται σε πολλές σημαντικές μαθηματικές έννοιες. Ένα κλάσμα, όπως το $\frac{1}{2}$, είναι απλά κάτι που έχει την ιδιότητα ότι αν προστεθεί στον εαυτό του 8 φορές δίνει 3. Η μαγεία κρύβεται στο γεγονός ότι αυτή η ιδέα πράγματι ισχύει,

* Αυτή καλείται «κλάση ισοδυναμίας» γιατί στην ουσία είναι μία κλάση από οντότητες (οι οντότητες σε αυτή τη συγκεκριμένη κλάση, είναι ζεύγη ακέραιων αριθμών) κάθε μία από τις οποίες είναι ισοδύναμη, υπό μία συγκεκριμένη έννοια, με κάθε άλλο μέλος της κλάσης.

παρά το γεγονός ότι δεν συναντάμε άμεσα πράγματα στο φυσικό κόσμο που να μπορούν να μετρηθούν με κλάσματα – τα κομμάτια της πίττας αποτελούν απλές προσεγγίσεις. (Αυτό δεν ισχύει για τους φυσικούς αριθμούς, όπως το 1,2,3, όπου πολυάριθμες οντότητες για τις οποίες έχουμε άμεση εμπειρία μπορούν να μετρηθούν με αυτούς). Ενας τρόπος για να διαπιστώσει κανείς ότι τα κλάσματα έχουν πράγματι μία συνεπή έννοια, είναι μέσω του ορισμού τους ως άπειρες συλλογές ζευγών ακέραιων, όπως είπαμε πριν. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι το $\frac{1}{2}$ είναι μία τέτοια συλλογή. Είναι προτιμότερο να σκεφτόμαστε ότι το $\frac{1}{2}$ είναι μία οντότητα με ένα είδος ανεξάρτητης (πλατωνικής) ύπαρξης και η άπειρη συλλογή ζευγών αποτελεί απλά ένα τρόπο να προσεγγίσουμε τη σύσταση αυτής της οντότητας. Με την εξοικείωση φαντάζει εύκολο να δεχτεί κανείς ότι μία έννοια όπως το $\frac{1}{2}$ είναι κάτι το οποίο έχει τη δική του ύπαρξη, και η ιδέα της «άπειρης συλλογής ζευγών» αποτελεί απλώς ένα σχολαστικό τέχνασμα – ένα τέχνασμα που γρήγορα υποχωρεί από τη φαντασία μας όταν πλέον το έχουμε καταλάβει. Πολλά πράγματα στα μαθηματικά λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο.

Για τους μαθηματικούς (τουλάχιστον στην πλειοψηφία τους, απ' όσο μπορώ να έχουμε δημιουργήσει εμείς, αλλά έχουν δική τους ζωή και σε ένα μεγάλο μέρος τους εναρμονίζονται με καταπληκτικό τρόπο με το φυσικό κόσμο. Δεν μπορούμε να κατανοήσουμε σε βάθιος τους νόμους που διέπουν το φυσικό κόσμο αν δεν εισέλθουμε στον κόσμο των μαθηματικών. Συγκεκριμένα, η προαναφερίσα έννοια

φυσική. Στη μοντέρνα φυσική είναι αδύνατο να αποφύγει κανείς να έρθει αντιμέτωπος με τις λεπτές έννοιες ακόμα πολυπλοκότερων μαθηματικών. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αφέρωσα τα 16 πρώτα κεφάλαια αυτού του έργου στην περιγραφή μαθηματικών έννοιών.

Τι θα μπορούσα να συμβουλεύσω τον αναγνώστη για να τα βγάλει πέρα με αυτά; Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά επίπεδα στα οποία μπορεί να γίνει η ανάγνωση αυτού του βιβλίου. Τσως είσαστε από εκείνους τους αναγνώστες, στο ένα άκρο, οι οποίοι απλώς αλλάζουν δρόμο κάθε φορά που εμφανίζεται ένας μαθηματικός τύπος μπροστά τους (μερικοί από αυτούς τους αναγνώστες δυσκολεύονται σίγουρα και με τα κλάσματα). Νομίζω ότι ακόμα και αν ισχύει αυτό, έχετε κάτι να κερδίσετε διαβάζοντας αυτό το βιβλίο, απλώς παραλείποντας όλους τους τύπους και διαβάζοντας μόνο το κείμενο. Υποθέτω ότι αυτό μοιάζει με τότε που εγώ ξεφύλλιζα τα περιοδικά για το σκάκι, τα οποία βρίσκονταν διασκορπισμένα στο σπίτι

των αδελφών και των γονιών μου, αλλά εμένα δεν με ενδιέφερε και τόσο πολύ. Το μόνο που απολάμβανα ήταν να διαβάζω για τα κατορθώματα των εξαιρετικών και συχνά παράξενων τύπων που αφιέρωναν τη ζωή τους σε αυτό το παιχνίδι. Κάτι όμως κέρδισα διαβάζοντας για τις πανέξυπνες κινήσεις που συχνά έκαναν, ακόμα και αν δεν τις καταλάβαινα· δεν έκανα όμως καμία προσπάθεια να παρακολουθήσω

και επιμορφωτική αυτή τη δραστηριότητα, η οποία κατάφερνε να μου τραβήξει την προσοχή. Ομοίως, ελπίζω ότι οι μαθηματικές περιγραφές που δίνω σε αυτό το βιβλίο θα μπορούσαν να παρουσιάσουν κάποιο ενδιαφέρον ακόμα και για ορισμένους βαθιά αντι-μαθηματικούς αναγνώστες αν, από γενναιότητα ή περιέργεια, επιλέξουν να με ακολουθήσουν σε αυτό το ταξίδι εξερεύνησης των μαθηματικών και φυσικών εννοιών που φαίνεται πως κυβερνούν το σύμπαν. Μη διστάσετε να παραλείψετε εξισώσεις (συχνά το κάνω και εγώ ο ίδιος) και, αν θέλετε, ακόμα και ολόκληρα

βαριά! Υπάρχει μεγάλη ποικιλία όσον αφορά τη δυσκολία και την εξειδίκευση των θεμάτων, και ίσως κάποιο άλλο κεφάλαιο να σας αρέσει. Μπορείτε απλά να επιλέξετε να ξεφυλλίσετε και να φάξετε. Ελπίζω ότι οι εκτεταμένες παραπομπές θα αποδειχθούν αρκετές για να φωτίσουν τις άγνωστες έννοιες, δίνοντας τη δυνατότητα να εντοπιστούν οι απαραίτητες ιδέες και ο συμβολισμός, γυρνώντας πίσω σε αδιάβαστες ενότητες για επεξηγήσεις.

Σε ένα δεύτερο επίπεδο, μπορεί να είσαστε ένας αναγνώστης προετοιμασμένος να μελετά μαθηματικούς τύπους κάθε φορά που αυτοί παρουσιάζονται, αλλά να μην έχετε τη διάθεση (ή το χρόνο) να επιβεβαιώνετε μόνοι σας τις προτάσεις που παρανέτω. Η επιβεβαίωση αυτή αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις τη λύση μιας άσκησης από αυτές που βρίσκονται διασκορπισμένες στα μαθηματικά μέρη αυτού του βιβλίου. Μπορείτε κάλλιστα να εμπιστευθείτε, αν θέλετε, αυτές τις προτάσεις και δεν θα χάσετε τίποτα από τη συνέχεια αν επιλέξετε να το κάνετε.

Αν από την άλλη είσαστε ένας από τους αναγνώστες που επιλύμπούν να αποκτήσουν μία ευκολία με τις διάφορες (σημαντικές) μαθηματικές έννοιες που παρανέτωνται στα μαθηματικά μέρη αυτού του βιβλίου,

ότι οι ασκήσεις που δίνω θα σας βοηθήσουν σημαντικά να καλλιεργήσετε αυτές τις ικανότητες. Στα μαθηματικά πάντα συμβαίνει η άμεση σκέψη πάνω σε ένα πρόβλημα να επιφέρει πολύ βαθύτερη κατανόηση την απλή ανάγνωση. (Αν θέλετε τις λύσεις, μπορείτε να χοιτάζετε στην ιστοσελίδα www.roadsolutions.ox.ac.uk).

Τέλος, πιθανόν να είσαστε κάποιος ειδικός επί του θέματος και σε αυτήν την περίπτωση δεν θα έχετε κανένα πρόβλημα με τα μαθηματικά (τα περισσότερα από τα οποία θα σας φανούν ιδιαιτέρως οικεία) και δε θα θέλετε να χάσετε χρόνο με

τις ασκήσεις. Τσως όμως να βρείτε ότι έχετε κάτι να κερδίσετε από τη δική μου
 (και μερικές φορές πολύ διαφορετική) από τη συνηθισμένη. Τσως να είσαστε περί-
 εργοί να μάθετε τη δική μου γνώμη για ένα πλήθος από μοντέρνες θεωρίες (π.χ.
 την υπερσυμμετρία, την πληθυριστική κοσμολογία, τη φύση της μεγάλης έκρηξης,
 τις μαύρες τρύπες, τη θεωρία χορδών ή θεωρία M, τις μεταβλητές βρόχων στην
 κβαντική βαρύτητα, τη θεωρία συστροφέων, ακόμα και για τα ίδια τα θεμέλια της
 κβαντικής θεωρίας). Αναμφίβολα θα ανακαλύψετε ότι διαφωνείτε μαζί μου σε πολ-
 λά από αυτά τα θέματα. Άλλα η αντιπαράθεση, παίζει ένα σημαντικότατο ρόλο στην
 ανάπτυξη της επιστήμης και γι' αυτό το λόγο δεν μετανοώ καθόλου που εκφράζω
 απόφεις οι οποίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν, εν μέρει, αντίθετες με ορισμένες
 από τις συνήθεις δραστηριότητες της μοντέρνας θεωρητικής φυσικής.

Θα μπορούσε να πει κανείς ότι αυτό το βιβλίο, στην πραγματικότητα, πραγμα-
 τεύεται τη σχέση μεταξύ μαθηματικών και φυσικής, καθώς και τον τρόπο με τον

έρευνα για μία καλύτερη θεωρία του σύμπαντος. Ένα ουσιαστικό στοιχείο, που
 καλοδηγεί πολλές εξελίξεις σήμερα, είναι η κριτική της ομορφιάς, του βάθους και
 της πολυπλοκότητας των μαθηματικών μιας θεωρίας. Είναι σαφές ότι αυτές οι μα-
 θηματικές επιρροές είναι ζωτικής σημασίας, όπως συμβαίνει σε μερικές από τις πιο
 εντυπωσιακά επιτυχημένες θεωρίες του 20^{ου} αιώνα: η εξίσωση του ηλεκτρονίου
 του Dirac, το γενικό πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής και η γενική σχετικότητα

πανοποιησιακή επιβεβαίωση – ιπότισε το ίδιοπτο κοινόνιο νια την αποδονή τους.
 Όμως, για πολλές από τις μοντέρνες προτάσεις σχετικά με το δρόμο που πρέπει να
 ακολουθήσουμε για την προαγωγή της κατανόησης των νόμων του σύμπαντος, δεν
 είναι διαιθέσιμα κατάλληλα φυσικά κριτήρια – δηλαδή πειραματικά δεδομένα, ούτε
 καν η δυνατότητα πειραματικής επαλήθυευσης. Θα μπορούσαμε λοιπόν να αναρω-
 τηθούμε αν οι μαθηματικές επιλυμίες, οι οποίες είναι οι μόνες στις οποίες έχουμε
 πρόσβαση, επαρκούν ως κριτήριο για να εκτιμήσουμε τις πιθανότητες επιτυχίας αυ-
 τών των ιδεών. Το ερώτημα είναι λεπτό και σε αυτό εδώ το βιβλίο θα προσπαθήσω
 να θέσω ζητήματα που νομίζω ότι δεν έχουν συζητηθεί αρχετά ως τώρα.

Παρόλο που σε ορισμένα σημεία παρουσιάζω απόφεις που θα μπορούσαν να
 θεωρηθούν εριτικές, έχω επίπονα προσπαθήσει να καταστήσω σαφές στον ανα-
 γνώστη ότι πάρνω αυτή την ελευθερία. Κατά συνέπεια, αυτό το βιβλίο θα μπορού-
 σε να χρησιμοποιηθεί σαν ένας πραγματικός οδηγός για τις θεμελιώδεις ιδέες (και
 τα ερωτήματα) της μοντέρνας φυσικής. Είναι κατάλληλο για εκπαιδευτική χρήση,
 ως μία αξιόπιστη εισαγωγή στην μοντέρνα φυσική – με την έννοια που πάρνει
 αυτό το αντικείμενο καθώς διαβαίνουμε τα πρώτα χρόνια της 3^{ης} χιλιετίας.