

Η ΜΑΓΕΙΑ ΤΗΣ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Σειρά: *Επιστήμη - Φυσική, Αστρονομία, Κοσμολογία*

Υπεύθυνος έκδοσης: *Θεόδωρος Πενέσης*

Μετάφραση: *Γεώργιος Κατωπόδης*

Φιλολογική επιμέλεια: *Ειρήνη Φισκατόρη*

Σχεδιασμός εξωφύλλου: *Ιάκωβος Γαβαλάς*

Τίτλος πρωτοτύπου:

DEEP DOWN THINGS

The Breathtaking Beauty of Particle Physics

Bruce A. Schumm

© 2004 The Johns Hopkins University Press

All rights reserved. Published by arrangement with The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland

Για την ελληνική γλώσσα

© 2009 «ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΟΥΚΑΜΙΣΑΣ»

ISBN: 978-960-6881-05-3

Απαγορεύεται η με οποιονδήποτε τρόπο, μέσο και μέθοδο αναδημοσίευση, αναπαραγωγή ή διασκευή του παρόντος έργου στο σύνολό του ή τμηματικά χωρίς την έγγραφη άδεια των εκδοτών (Νόμος 2121/93)



Σωτήρος & Αλκιβιάδου 132, Τ.Κ. 185 35 Πειραιάς,

Τηλ.: 210 4112507, Fax: 210 4116752

url: www.poukamisas.gr, e-mail: publications@poukamisas.gr

BRUCE A. SCHUMM

Η ΜΑΓΕΙΑ ΤΗΣ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Μετάφραση από τα αγγλικά:
Γεώργιος Κατωπόδης

 [®] εκδόσεις
ΠΟΥΚΑΜΙΣΑΣ

Και γι' αυτό το λόγο, η φύση δεν αναλώνεται ποτέ...

Τζέραρντ Μάνλεϊ Χόπκινς, Μεγαλείο Θεού

Περιεχόμενα

Πρόλογος

- 1 Εισαγωγή 15
 - 2 Οι αληθινοί υποκινητές και ανακινητές:
Οι δυνάμεις της φύσης 22
 - 3 Η μεγάλη επαναδραστηριοποίηση:
Η επανάσταση της σύγχρονης φυσικής 38
 - 4 Το πάντρεμα σχετικότητας και κβαντικής θεωρίας:
Η σχετικιστική κβαντική θεωρία πεδίου 80
 - 5 Μοτίβα στη φύση: Τα θεμελιώδη δομικά υλικά 136
 - 6 Μαθηματικά μοτίβα: Οι ομάδες L_1 197
 - 7 Τα ενδότερα του κόσμου: Εσωτερικές συμμετρίες 236
 - 8 Η φυσική με απλές σκέψεις: Η θεωρία βαθμίδας 286
 - 9 Το τρέχον πρότυπο: Η κρυφή συμμετρία,
το Καθιερωμένο Πρότυπο και το μποζόνιο Χιγκς 385
 - 10 Εντός του αγνώστου: Τι επιφυλάσσει το μέλλον 452
- Παράρτημα: Εκθετική σημειογραφία 479
- Σημειώσεις 481
- Ευρετήριο 509

Πρόλογος

Δεν ήμουν εγώ αυτός που σκαρφίστηκε τον τίτλο αυτού του βιβλίου. Γι' αυτό, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους των Εκδόσεων του Πανεπιστημίου Τζονς Χόπκινς, και συγκεκριμένα, στον Τρέβορ Λίπσκομπ, με τον οποίο εργάστηκα αρκετά στενά σε διάφορα στάδια κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συγκέντρωσης στοιχείων για το βιβλίο. Ωστόσο θα πω το εξής: οι τρεις μονοσύλλαβες λέξεις του τίτλου κατορθώνουν να αποδώσουν την ουσία της σωματιδιακής φυσικής. Βαθιά μέσα σε έναν ατομικό πυρήνα, βαθιά εντός του παράδοξα άφθονου κενού χώρου, βαθιά μέσα στο νου των μεγάλων επιστημονικών στοχαστών του 20ού αιώνα - αυτό είναι το όριο αρμοδιότητας της σωματιδιακής φυσικής. Η σύνδεση με τη θρησκευτική ποίηση του Τζέραρντ Μάνλεϊ Χόπκινς έχει γίνει εξίσου καλά. Ανεξάρτητα αν κάποιος είναι θρησκόληπτος ή όχι, για να κατανοήσει τη σωματιδιακή φυσική πρέπει να κατανοήσει το θαύμα της φύσης. Στην πραγματικότητα, η μόνη μου επιφύλαξη σχετικά με τον τίτλο είναι ότι, όπως σύντομα θα δείτε, υπονοεί ένα βαθμό στοιχειώδους εκπαίδευσης τον οποίο δεν μπορώ να απαιτήσω.

Δεν θα αποτελέσει έκπληξη σε κανέναν αν παραδεχτώ ότι η συγγραφή ενός βιβλίου είναι ένα τεράστιο και ίσως απερίσκεπτο εγχείρημα. Σε αυτή την περίπτωση, η έκδοση θα είχε γίνει πάνω από τέσσερα χρόνια πριν από την εποχή που, ενώ είχα θητεύσει στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, στην Σάντα Κρουζ, έγραψα για πρώτη φορά μια λεπτομερή ανάλυση του Καθιερωμένου Προτύπου της σωματιδιακής φυσικής για όποιον ενδιαφέρεται αρκετά να εντυφλήσει σε αυτή. Οι φοιτητές από τους οποίους εισέπραξα τις πρώτες αντιδράσεις για τα προσχέδια των πρώτων κεφαλαίων έχουν από τότε προοδεύσει, ακολουθώντας ανώτερες σπουδές, και ελπίζω να

αναπτύξουν τον πνευματικό Κάιν στον οποίο προσπαθήσαμε να τους εκπαιδεύσουμε. Όσον αφορά εμένα, όταν σκέφτομαι όλες τις μεταμεσονύκτιες εκπομπές της τηλεόρασης που έχασα σχεδόν με κάνει να θέλω να βάλω τα κλάματα. Αλλά υποθέτω ότι όλα αυτά δεν γυρίζουν πίσω.

Από κάθε άποψη, κάποιος δεν αναδεικνύεται από μια διαδικασία σαν αυτή χωρίς διάθεση να ανταποδώσει, και φαίνεται ότι είναι συνήθης πρακτική να μπαίνουν μερικές βιαστικές ευχαριστίες στην αρχή του βιβλίου, οι οποίες ελπίζω να φανούν επαρκής ανταπόδοση.

Πρώτα και κύρια, ευχαριστώ τον Τρέβορ, φίλο φυσικό και αρχισυντάκτη στις Εκδόσεις Χόπκινς, τον οποίο τώρα θεωρώ, μαζί με τους Άγγλους καθηγητές που είχα στο σχολείο και ως πρωτοετής στο κολέγιο, ως έναν από τους τρεις πιο αποτελεσματικούς εκπαιδευτές συγγραφής που είχα ποτέ. Επίσης νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Τρέβορ που μου επέτρεψε να γράψω το βιβλίο με τον τρόπο που εγώ ήθελα, για την πληθώρα καθαρών και με καλό κίνητρο συμβουλές του και για το ότι δεν ήταν καταπιεστικός για αυτές. Στο ίδιο πνεύμα, πρέπει να ευχαριστήσω τον αστρονόμο συνάδερφό μου Στέφεν Θόρσετ που μου υπέδειξε τον Τρέβορ και τις Εκδόσεις Χόπκινς.

Θέλω να ευχαριστήσω τον καλό μου φίλο Μπιλ Ρόου, το ταλέντο του οποίου συμπληρώνει το περιεχόμενο και το ύφος του βιβλίου με μια ιδανική εικονογράφηση. Ίσως ο Μπιλ κι εγώ να βρούμε κάποια άλλη πρόφαση να συνεργαστούμε κάποια στιγμή στο μέλλον.

Ευγνωμοσύνη χρωστάω και στον συνάδερφο μου στο τμήμα φυσικής Μάικλ Ρίορνταν, έναν επιτυχημένο συγγραφέα, και στον Τζον Γουίλκινς του πολύ γνωστού προγράμματος επιστημονικής επικοινωνίας. Οι συμβουλές τους ήταν ανεκτίμητες, ενώ διαπραγματεύομαι την πορεία μου εν μέσω του άγνωστου κόσμου των εκδοτών και των φιλολογικών παραγόντων.

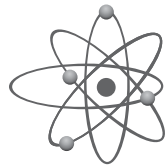
Και μετά υπάρχει ο μικρός στρατός των θεωρητικών στους οποίους βασίστηκα για να νοικοκυρέψω τις σκέψεις μου. Καθένας από αυτούς που ακολουθούν ξόδεψε χρόνο να διαβάσει ένα κεφάλαιο από το βιβλίο, επιβεβαιώνοντας τις ιδέες μου και απαλλάσσοντάς με ευγενικά από τις παρανοήσεις μου, εξαντλώντας τη μέριμνα

για να αποφύγω την έκθεση μεγάλων και ενοχλητικών κενών, τα οποία τείνουν να κηλιδώσουν την αντίληψη των πειραματικών για την ίδια τους τη δουλειά. Από το Κέντρο Γραμμικού Επιταχυντή του Στάνφορντ: τον Τομ Ρίτσο και τον Λανς Ντίξον (Τζόαν, είχες την ευκαιρία σου!). Από το τμήμα φυσικής του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια στην Σάντα Κρουζ: τον Μάικλ Ντάιν, τον Χόουϊ Χάμπερ και τον Τομ Μπανκς. Ευχαριστίες επίσης από το ίδιο πανεπιστήμιο στον Τζόελ Πρίμακ για τη βιβλιογραφία του σε προσिता βιβλία περί κοσμολογίας. Και θέλω να συμπεριλάβω και έναν άλλο επιστήμονα: τη μητέρα μου (Μάργκοτ Σουμ, συνταξιούχος καθηγήτρια χημείας στο Κολλέγιο Μοντγκόμερι στο Μαίριλαντ), η οποία μου έδωσε κάποια ιδιαίτερα χρήσιμα σχόλια στο κεφάλαιο 3, καθώς επίσης και το ένα μισό από το δώρο της ζωής (για το άλλο μισό, πρέπει να ευχαριστήσω τον πατέρα μου, Ρίτσαρντ Σουμ, επίσης συνταξιούχο χημικό).

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω εσένα, τον αναγνώστη, για την επιλογή σου να πάρεις αυτό το βιβλίο, αντί να με συντροφεύσεις στην αναζήτησή μου να ενημερώσω το υπόβαθρο μου στα τρέχοντα προγράμματα τηλεόρασης. Από τη δική μου οπτική, η υπομονή σας θα ανταμειφθεί καλά, επειδή είστε στην αρχή ενός μεγαλοπρεπούς ταξιδιού. Όπως το σλόγκαν του Οδυσσέα κατά τις επικίνδυνες περιπέτειες της Οδύσσειας, ο πηγαϊμός ίσως να μην είναι εύκολος, αλλά η επιμονή θα ανταμειφθεί. Ειλικρινά, σας εύχομαι τα καλύτερα. Καλό ταξίδι!

1

Εισαγωγή



Εντός του προηγούμενου αιώνα, η εντύπωση που είχαμε για τον φυσικό κόσμο έκανε ένα τεράστιο βήμα προς τα εμπρός δεδομένου ότι, αν κοιτάξουμε στο παρελθόν, διαπιστώνουμε πως η κατάσταση της επιστημονικής μας γνώσης εκατό χρόνια πριν φαινόταν σχεδόν κωμικά αφελής. Σήμερα, καθώς εντρυφούμε όλο και πιο βαθιά στις διεργασίες του σύμπαντος, η ευθύνη για να αποκαλυφθούν οι πιο βασικές και οι πιο σημαντικές από τις λειτουργικές του αρχές περιήλθε, από κάθε άποψη, σε μια ομάδα επιστημόνων, που είναι γνωστοί ως σωματιδιακοί φυσικοί. Το παρόν είναι ένα βιβλίο που αφορά στο Καθιερωμένο Πρότυπο της σωματιδιακής φυσικής, δηλαδή στην οπτική του φυσικού κόσμου που αναπτύχθηκε από αυτή την κοινότητα επιστημόνων, μετά από μια αξιοσημείωτη περίοδο εξέλιξης που έχει διαρκέσει περίπου πενήντα χρόνια.

Ως κάτοικοι ενός εκπληκτικά εύφορου νησιού σε ένα κατά τα άλλα αφιλόξενο μέρος του διαστρικού χώρου, έχουμε αναπτύξει μια οπτική του κόσμου μας, η οποία συνάδει με την κοινή λογική μας και έχει σχηματιστεί από τον μικρόκοσμο στον οποίο εμείς ζούμε. Οι νόμοι αυτού του κόσμου είναι γνωστοί σε όλους. Αν θες να βρεις καταφύγιο από τα στοιχεία της φύσης, ανάπτυξε μέσα συντήρησης τα οποία θα σου παρέχουν εύκολη πρόσβαση σε τροφή, σε μέσα μεταφοράς και σε οποιαδήποτε υλική άνεση, που είναι διαθέσιμη, και κατεύθυνε τη ζωή με τέτοιο τρόπο που να επιτρέπει



και στους άλλους να κάνουν το ίδιο. Αυτά είναι τα είδη των πραγμάτων που πρέπει να γνωρίζουμε να κάνουμε στη δική μας γωνιά του σύμπαντος.

Ωστόσο, κατά τους τελευταίους αιώνες, έχουμε εφεύρει εργαλεία που μας επιτρέπουν να επεκτείνουμε τις αισθήσεις μας σε «κόσμους» που πριν ούτε καν είχαμε φανταστεί, και σαν αποτέλεσμα, έχουμε αναγκαστεί να επαναδιατυπώσουμε τις ιδέες μας για τους κανόνες που κυβερνούν τον φυσικό κόσμο. Όσο πιο βαθιά κοιτάμε τόσο περισσότερο ανακαλύπτουμε ότι οι εκλεπτυσμένες μας περιγραφές εκτρέπονται από τις αρχικές διορατικές αντιλήψεις μας για τους φυσικούς νόμους, οι οποίες πλέον μοιάζουν να είναι τοπικιστικές.

Το ανθρώπινο σώμα ανακαλύψαμε ότι δεν είναι πραγματικά ένα μοναδικό αντικείμενο που αγνοεί τους συνήθεις κανόνες, αλλά είναι, σε κάποιο βαθμό, μια μη μετρήσιμη συλλογή από μοναδικά και ειδικά κύτταρα, που το καθένα ξεχωριστά έχει τη δική του ζωή και συνεργάζεται με τα υπόλοιπα με τρόπους κατανοητούς, καθιστώντας δυνατές τις σωματικές λειτουργίες για τη συντήρηση της ζωής. Κοιτώντας ακόμα βαθύτερα, ανακαλύπτουμε ότι τα κύτταρα αποτελούνται από μόρια και τα μόρια αυτά αποτελούνται από άτομα. Καθώς προσπαθούμε να καταλάβουμε και να κωδικογραφήσουμε τους κανόνες της υλικής υπόστασης σε αυτό το επίπεδο, εισερχόμαστε στο βασίλειο της κβαντικής φυσικής με τις όχι και τόσο ευχάριστες μεταφυσικές της επιπτώσεις.

Διερευνώντας ακόμα πιο βαθιά στο ψήγμα του ατομικού πυρήνα ή στον πυρήνα των κβαντομηχανικών ακαθαρσιών που περιβάλλουν τα ηλεκτρόνια, διεισδύουμε στο βασίλειο της σωματιδιακής φυσικής. Η σωματιδιακή φυσική είναι η μελέτη του «εντός το οποίο ζεί στο εντός», δηλαδή των κανόνων της ταξινόμησης που μας πάνε στον κόσμο των αφηρημένων μαθηματικών, πέρα από το συγκριτικά πιο πεζό κόσμο της κβαντικής φυσικής των ατόμων και των μορίων. Οι φυσικοί των στοιχειωδών σωματιδίων προσπαθούν να καταλάβουν τις λειτουργίες τού υπερβολικά μικρού και υπερβολικά ενεργειακού (η σύνδεση θα επεξηγηθεί σύντομα). Μέσα σε αυτό τον κόσμο βρίσκονται πολλά από τα στοιχεία που είναι σημαντικά για να διαλευκάνουμε το μυστήριο της φύσης και της προέλευσης



του σύμπαντος. Το τι υποδεικνύουν αυτά τα στοιχεία για τη φύση είναι, όπως θα δούμε, αρκετά δύσκολο να το πιστέψουμε.

Αφού αναλάβαμε αυτή τη θεμελιώδη εξερεύνηση του σύμπαντος, ξεκινάμε να ανακαλύψουμε ότι ο φυσικός κόσμος είναι ένα μέρος εντυπωσιακής φυσικής απλότητας. Αυτή η αντίληψη διαρρέει το αίμα μας σαν φιλοσοφία και μας οδηγεί προς τον δελεαστικό στόχο της ακριβούς διατύπωσης των βασικών νόμων της φύσης, αναφορικά με μια και μοναδική αρχή που τα περιλαμβάνει όλα. Ταυτόχρονα, ωστόσο, αρχίζουμε να συλλαμβάνουμε τα εξεζητημένα μαθηματικά θεμέλια της φυσικής ιεράρχησης και πώς αυτή η μαθηματική δομή ενεργεί ώστε να θέσει το σκηνικό για την ανάπτυξη της ζωής. Μια από τις πιο ευχάριστες στροφές στην ανάπτυξη της σωματιδιακής φυσικής είναι η απόσπαση των αφηρημένων μαθηματικών από το πατάρι του θεωρητικού λογισμού, στην καθημερινή φυσική επιστήμη.

Ο Αϊνστάιν υποστήριζε πως οποιαδήποτε φυσική θεωρία άξια σεβασμού, πρέπει να είναι εξηγήσιμη σε όλα τα λογικά σκεπτόμενα άτομα. Αυτό το βιβλίο εκπροσωπεί την προσπάθειά μου να αποσαφηνίσω την προσφάτως αποδεκτή θεωρία για τη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων – το υπόδειγμα του Καθιερωμένου Προτύπου – για το ενδιαφερόμενο κοινό. Δεν είναι, κατά πρώτα και κύρια, ένα αφήγημα για την ιστορία της σωματιδιακής φυσικής ή τις ζωές των πρωταγωνιστών της· ούτε είναι ένα βιβλίο με σύντομη αφήγηση για την κουλτούρα και την κοινωνία των φυσικών των στοιχειωδών σωματιδίων. Είναι ένα βιβλίο που παρουσιάζει σε ένα καλό επίπεδο, πέραν του επιπόλαιου, τις εννοιολογικές ιδέες που βρίσκονται κάτω από την οπτική αυτών των φυσικών για τον κόσμο.

Για να γίνει αρκετά ενδιαφέρον ωστόσο, δεν θα εμβαθύνουμε στο τυπικό περιεχόμενο, μαθηματικό και επιστημονικό της φυσικής. Ειδικότερα, θεωρώ απαραίτητο ένα στοιχειώδες μαθηματικό υπόβαθρο – κάποιες πολύ λίγες βασικές έννοιες από την άλγεβρα και την ταξινόμηση των μεγεθών.

Είναι αδύνατο, ωστόσο, να εκμαιεύσουμε τις βασικές ιδέες της θεωρίας της σωματιδιακής φυσικής χωρίς μια περίπλοκη μελέτη των μαθηματικών που υπόκεινται αυτής. Η όμορφη σύνδεση με-



ταξύ του κόσμου των μαθηματικών και των φυσικών επιστημόνων είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα νήματα που θα ξετυλίξουμε, αλλά ένα νήμα για το οποίο υπάρχει εξαιρετικά λίγο διαθέσιμο υλικό για τους μη επαγγελματίες. Το ότι οι αφαιρέσεις των ανώτερων μαθηματικών εμφανίζουν κάποια σχέση με τον φυσικό κόσμο - στην πραγματικότητα, φαίνονται να βρίσκονται στην καρδιά της ιεράρχησης και της λειτουργίας του - είναι μια από τις πιο βαθυστόχαστες αποκαλύψεις της μοντέρνας εποχής.

Τα μαθηματικά, ωστόσο, που εμείς θα συζητήσουμε δεν είναι οι τελματικές υπολογιστικές εντυπώσεις που αντιμετωπίζει κάποιος σε εισαγωγικά μαθήματα κολεγιακού επιπέδου, αλλά σε κάποιο βαθμό είναι αφηρημένα μαθηματικά με εργαλεία τη λογική και τη γενίκευση, παρά τις εφαρμογές σε αναρίθμητες σελίδες μαθηματικών πράξεων. Είναι ένα διαφορετικό είδος μαθηματικών από αυτά που οι περισσότεροι έχουμε συνηθίσει (μια εξελισσόμενη πειθαρχία η οποία εμφανίζει μικρή ομοιότητα με τους πρακτικούς, καθημερινούς χειρισμούς από τους οποίους πηγάζει). Κάτι περισσότερο από αριθμούς και εξισώσεις. Αυτά τα μαθηματικά είναι μια εξερεύνηση της δομής, και συγκεκριμένα, των προτύπων που παρουσιάζει αυτή η δομή. Μέσω αυτών των προτύπων λοιπόν, κατά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα, η βαθιά σύνδεση μεταξύ των αφηρημένων μαθηματικών και των βασικών οργανωτικών αρχών του φυσικού σύμπαντος αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά.

Πριν τα μαθηματικά, εντούτοις, θα χρειαστεί να αποκτήσουμε καλές βάσεις για το υπόβαθρο της φυσικής, από το οποίο ξεπήδησε το Καθιερωμένο Πρότυπο, κατά την εύφορη περίοδο της δεκαετίας του 1960. Θέλοντας να διευκρινίσουμε τα όρια του επιθετικού προσδιορισμού *μοντέρνο*, που βάζουμε σαν ετικέτα σε κάθε ανθρώπινη εξέλιξη, ξεκινάμε με την περιέργως γηραιά «μοντέρνα» φυσική στις αρχές του 20ού αιώνα - τη συμβατική κβαντική μηχανική και την ειδική σχετικότητα του Αϊνστάιν. Η μελέτη του σύγχρονου πλαισίου της πρόκλησης που αναπτύχθηκε από αυτή τη βάση - η «θεωρία κβαντικού πεδίου» του Ρίτσαρντ Φάινμαν και άλλων - αργότερα περιγράφει πώς η ιδέα του 19ου αιώνα για *δράση από απόσταση*, υποσκελίστηκε από την ιδέα ότι οι φυσικές δυνάμεις μεταβιβάζονται με ανταλλαγή υποατομικών σωματιδίων.