

Εισαγωγή

Τι είναι η κβαντική φυσική;

Αγαπητοί αναγνώστες,
πιθανότατα να έχετε κι εσείς κάποια φορά θέσει στον εαυτό σας τουλάχιστον ένα από τα ακόλουθα ερωτήματα:

Τι είναι τα κβάντα;
Ποια είναι η σχέση της κβαντικής φυσικής με τον πραγματικό κόσμο;
Πώς είναι δομημένη η ύλη;
Τι είναι η αρχή της απροσδιοριστίας του Χάιζενμπεργκ;
Τι συμβαίνει με τη γάτα του Σρέντινγκερ;
Καθορίζεται η εξέλιξη του κόσμου από κρυμμένες παραμέτρους;
Πού βρίσκεται το όριο μεταξύ μικρόκοσμου και μακρόκοσμου;
...κλπ.

Πρόκειται για ερωτήματα απολύτως θεμελιώδους σημασίας και, μάλιστα, όχι μόνο για τη σύγχρονη φυσική, αλλά σε μεγάλο βαθμό και για την καθημερινή μας εικόνα για τον κόσμο και την ουσία της φύσης, για την εμπιστοσύνη μας στον υγιή ανθρώπινο νου και τη δυνατότητα γνώσης που έχει ο άνθρωπος. Στο παρελθόν, επιστημολογικά παραδείγματα, δηλαδή θεμελιώδεις γνωσιοθεωρητικές απόψεις και κοσμοθεωρήσεις, διαμορφώθηκαν και καθορίστηκαν κυρίως μέσω αμιγώς φιλοσοφικών κινήτρων και θεωρητικών υποθέσεων. Ότι αυτός είναι ένας υπερβολικά κατανοητός και φυσικός τρόπος προσέγγισης στα πλέον θεμελιώδη ερωτήματα περί της ύπαρξης και της πραγματικότητας του κόσμου μοιάζει πολύ λογικό. Όμως, στον ίδιο βαθμό που κατά το παρελθόν οι επιστήμες αντικαθιστούσαν ολόένα και περισσότερο τις μυστικιστικές και θρησκευτικές ψευδοεξηγήσεις με ορθολογικές εξηγήσεις, στη σημερινή εποχή είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθεί μια επιστημολογική αλλαγή παραδείγματος. Παρ' ότι συνήθως δεν το συνειδητοποιούμε –αδιαφορώντας για κάθε σύγχρονη και θεμελιώδη γνώση που παρέχει η σύγχρονη φυσική–, η σημερινή κοσμοθεώρησή μας συνεχίζει να μοιάζει με εκείνη της εποχής του Νεύτωνα κατά το 1700. Δια-

τηρούμε μια μηχανιστική, αιτιοκρατική κοσμοθεώρηση, καθορισμένη και θεμελιωμένη μέσω των γεγονότων της καθημερινής μας ζωής.

Για παράδειγμα, σε ένα τραπέζι μπιλιάρδου συναντώνται όλες μας οι κοσμοθεωρητικές προκαταλήψεις: με έναν απλό συνδυασμό δυνάμεων και ικανοποιώντας τους νόμους διατήρησης της ενέργειας και της ορμής, πραγματοποιούνται πλάγιες κρούσεις που υπολογίζονται με απλό τρόπο και οι οποίες ενδεχομένως συνοδεύονται από περιστροφικές κινήσεις. Αυτός είναι ο κλασικός, μηχανικός-αιτιοκρατικός κόσμος όπως τον γνωρίζουμε. Είναι όμως πράγματι σωστή αυτή η μηχανιστική εικόνα για τη φύση; Συμπεριφέρονται όλα τα φυσικά αντικείμενα τόσο απλά και προβλέψιμα όπως οι μπάλες του μπιλιάρδου;

Με αυτά τα βασικά ερωτήματα στο μυαλό μας, θα προσπαθήσουμε σ' αυτό το βιβλίο να ρίξουμε μια ματιά στον μυστηριώδη, θαυμαστό και συναρπαστικό κόσμο των κβάντων και παράλληλα, στο πλαίσιο της αιώνιας αναζήτησης της ουσίας των πραγμάτων, να έρθουμε λίγο πιο κοντά στην έσχατη θεμελιώδη αρχή της φύσης.

Τι είναι τα κβαντικά αντικείμενα;

Όμως, ευθύς εξαρχής τίθεται το ερώτημα: τι είναι τελικά η κβαντική φυσική; Η κβαντική φυσική είναι το πεδίο της φυσικής που ασχολείται με τους τρόπους συμπεριφοράς κβαντικών αντικειμένων. Μέχρι εδώ καλά. Όμως τι είναι ένα κβαντικό αντικείμενο;

Με τον όρο κβαντικό αντικείμενο εννοούμε συνήθως ατομικά ή υποατομικά αντικείμενα, π.χ. στοιχειώδη σωματίδια, όπως οι γνωστοί δομικοί λίθοι του ατόμου, δηλαδή το ηλεκτρόνιο, το πρωτόνιο και το νετρόνιο. Σε μια πιο γενική διατύπωση διαπιστώνουμε ότι σε μικροσκοπική κλίμακα τόσο η ύλη όσο και το φως χαρακτηρίζονται κβαντικά αντικείμενα. Βεβαίως, αρκετά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, αποτελούμενες από πολλές δεκάδες άτομα, μπορούν να συμπεριφερθούν επίσης ως κβαντικά αντικείμενα. Ασφαλώς, θα μάθουμε περισσότερες λεπτομέρειες στα επόμενα κεφάλαια.

Για ποιο λόγο διεξάγει κανείς έρευνα στην περιοχή του μικρόκοσμου;

Αφού εξηγήσαμε σε κάποιο βαθμό το αντικείμενο της κβαντικής φυσικής, ίσως να ήταν ενδιαφέρον να μάθουμε για ποιο λόγο ασχολείται

κανείς με τους τρόπους συμπεριφοράς μικροαντικειμένων και γιατί διεξάγει έρευνα στην περιοχή των πιο μικρών σωματιδίων. Δύσκολα μπορεί κανείς να αρνηθεί ότι κάποιος που διεξάγει θεμελιώδη ή βασική έρευνα στο πεδίο της κβαντικής φυσικής, της σωματιδιακής φυσικής ή της φυσικής υψηλών ενεργειών δεν ωθείται κυρίως από την υστεροβουλία σχετικά με την πρακτική εφαρμοσιμότητα των ερευνητικών του αποτελεσμάτων, παρά από την ανεξάντλητη περιέργεια και την εσωτερική παρόρμηση να γνωρίσει και να κατανοήσει τον συναρπαστικό και θαυμαστό κόσμο γύρω του. Έτσι, ένας κβαντικός φυσικός που διεξάγει έρευνα στα θεμέλια της φυσικής θεωρεί πως κινείται διαρκώς πάνω στο τεντωμένο σχοινί της άσκοπης και άνευ νοήματος έρευνας. Ωστόσο, για τον πραγματικό, αφιερωμένο φυσικό επιστήμονα, αυτό δεν θέτει κανένα εμπόδιο στη δραστηριότητά του, καθώς οι πολυπλοκές γνώσεις που αναζητά με ζήλο θα του αποκαλύψουν, σε τελική ανάλυση, τη θαυμαστή ουσία της ίδιας της φύσης. Γεγονότα όπως ότι ένα κβαντικό αντικείμενο μπορεί «να παίζει ταυτόχρονα σε δύο ταμπλό» ή ότι στον μικρόκοσμο μοιάζει να μην υπάρχει αντικειμενικότητα, καθώς επίσης και η γνώση ότι η ύπαρξη της «στοιχειωμένης δράσης από απόσταση», που τόσο σφοδρά αμφισβήτησε ο Αϊνστάιν, αποτελεί αναπόσπαστο συστατικό της φυσικής πραγματικότητας καθιστούν την έρευνα στο πεδίο της κβαντικής φυσικής κατά έναν απίστευτο παράγοντα πιο συναρπαστική από οποιοδήποτε καλό αλλ' ωστόσο απόλυτα φανταστικό αστυνομικό μυθιστόρημα. Διότι το συναρπαστικό στοιχείο στην κβαντική φυσική είναι ακριβώς ότι δεν πρόκειται για ουτοπική επιστημονική φαντασία, αλλά για την ίδια την πραγματικότητα. Στην «κβαντική καθημερινότητα» του μικρόκοσμου ανήκουν τέλος κάποια πράγματα που, από τη δική μας άποψη, θα φάνταζαν υπερβολικά ασαφή και γελοία, ακόμη και σε περιπέτειες του Σταρ Τρεκ. Ή, για να το εκφράσουμε με τα ακριβή και χαρακτηριστικά λόγια του κβαντικού φυσικού Ντάνιελ Γκρίνμπεργκερ:¹

«Ο Αϊνστάιν είπε ότι ο κόσμος δεν μπορεί να είναι τόσο τρελός. Σήμερα γνωρίζουμε ότι ο κόσμος είναι τόσο τρελός».

1. A. Zeilinger, *Einsteins Schleier* (C. H. Beck) 2003, σελ. 7.

Είναι η φυσική ένα ολοκληρωμένο οικοδόμημα ιδεών;

Όπως ίσως βιώσατε κι εσείς, στο σχολείο δίνεται συχνά η εντύπωση ότι η φυσική αποτελεί ένα πλήρες και ολοκληρωμένο οικοδόμημα ιδεών, που αποτελείται από αμέτρητες εξισώσεις οι οποίες υποτίθεται πως περιγράφουν κάποια εξιδανικευμένα πειράματα. Φαίνεται πως αυτό που ζητείται από τον φυσικό είναι απλώς να διαλέξει, για την εκάστοτε φυσική περίπτωση, τον κατάλληλο τύπο από το τυπολόγιο, να τον εισαγάγει στον υπολογιστή μαζί με τα κατάλληλα πειραματικά δεδομένα, και τελικά να περιμένει ώσπου η μηχανή να δώσει τα σωστά αποτελέσματα. Όμως –και θέλω να το υπογραμμίσω– τα πράγματα δεν έχουν έτσι ακριβώς!

Ο Μαξ Πλανκ (1858-1947), ο οποίος δικαίως χαρακτηρίζεται ο πατέρας της κβαντικής θεωρίας, όταν ήταν νέος είχε αμφιβολίες αν οι σπουδές στη φυσική είναι κάτι το πολλά υποσχόμενο, παρ' ότι ο ίδιος ένιωθε εξαιρετικό ενδιαφέρον γι' αυτή την πιο θεμελιώδη από όλες τις θετικές επιστήμες. Ένας γνωστός καθηγητής φυσικής* τον συμβούλευσε καλοπροαίρετα να αποφύγει τις σπουδές αυτές τονίζοντας ότι στη φυσική τα σημαντικότερα είχαν ήδη ερευνηθεί και ανακαλυφθεί και το μόνο που απέμενε ήταν λίγες ασήμαντες λεπτομέρειες που έπρεπε ακόμη να αποσαφηνιστούν. Ευτυχώς, ο Πλανκ αγνόησε αυτή τη φιλική συμβουλή, καθώς οι μεταγενέστερες εργασίες του έμελλαν να σημάνουν μια θεμελιωδώς καινούρια εποχή, ουσιαστικά μια επανάσταση στη φυσική. Τελικά, το 1900 ο Πλανκ ανακάλυψε μια μέχρι τότε απρόβλεπτη πτυχή της φύσης: την κβάντωση στον μικρόκοσμο.

Τι συμβαίνει στο βασίλειο του μικρόκοσμου;

Αυτό ακριβώς είναι το ερώτημα: το ερώτημα περί της ουσίας των πραγμάτων, περί των πιο θεμελιωδών αρχών της φύσης, περί της ουσίας της φυσικής δομής και συμπεριφοράς του σύμπαντος. Γύρω από το ερώτημα αυτό περιστρέφεται το κεντρικό θέμα αυτής της εκδρομής στο βασίλειο του μικρόκοσμου. Το ερώτημα αυτό διατρέχει σαν νήμα κάθε κεφάλαιο του βιβλίου.

* Πρόκειται για τον Γιόχαν Φίλιπ Γκούσταβ φον Γιόλι, καθηγητή φυσικής και μαθηματικών στο Πανεπιστήμιο του Μονάχου την εποχή που φοιτούσε εκεί ο Μαξ Πλανκ. (Σ.τ.Μ.)

Σε αυτό το ταξίδι, που θα αρχίσει στις αμέσως επόμενες σελίδες, θα περιηγηθούμε στην κβαντική φυσική, στο συναρπαστικό βασίλειο του μικρόκοσμου, και είναι βέβαιο ότι θα σκοντάψουμε –και επιτρέψτε μου να σας προειδοποιήσω ήδη από τώρα– σε κάποια όρια της κατανόησης και σε ορισμένα γνωσιολογικά σύνορα. Αυτή η δυσκολία οφείλεται ελάχιστα σε εσάς ή στην υπό μελέτη φυσική θεωρία και πολύ περισσότερο στη φύση του ίδιου του αντικειμένου της εξέτασής μας. Το βασίλειο του μικρόκοσμου παίζει ένα παιχνίδι που ενίοτε προκαλεί σύγχυση και επιζητά δεξιολογική αντιμετώπιση. Τα κβαντικά αντικείμενα είναι και παραμένουν ακόμη, μετά από δεκαετίες εντατικής και επιτυχημένης έρευνας, ένα αναπόδραστα αιώνιο αίνιγμα, η προσωποποίηση του αντιφατικού, του σκοτεινού και του μυστηριώδους. Η κβαντική φυσική περιέχει τόσο πολλά απρόβλεπτα παράδοξα και εκπλήξεις, ώστε συχνά αναγκάζεται κανείς να αμφισβητήσει την εμπιστοσύνη του στη δική του ικανότητα γνώσης.

Όμως, κατά τη γνώμη μου, αυτό ακριβώς το (φαινομενικά) επιστημολογικό απρόσιτο και, σε τελική ανάλυση, αινιγματικό στοιχείο του κβαντικού κόσμου τον καθιστά τόσο συναρπαστικό και συνάμα γοητευτικό.