



## Από την Κλασική στην Κβαντική Φυσική (Από τη Μεταφυσική στην Φυσική)

Σύμφωνα με την Νευτώνεια Φυσική, κάθε φαινόμενο της φύσης πρέπει να εξηγείται κατά τρόπο μηχανιστικό, δηλαδή ως αποτέλεσμα μιας αιτίας. Η αιτιοκρατική και μηχανιστική αυτή αντίληψη της παραδοσιακής φυσικής κορυφώθηκε με τον ισχυρισμό του Laplace, σύμφωνα με τον οποίο όχι μόνο μπορούμε να γνωρίσουμε την παρούσα φάση του σύμπαντος, αλλά, βάσει των κατάλληλων μετρήσεων, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε και τη μελλοντική του κατάσταση (αιτιοκρατία).

Μία άλλη θεμελιώδης έννοια της παραδοσιακής φυσικής είναι η θεωρία για την αντικειμενικότητα της ύλης. Κατά την ατομική θεωρία του Dalton, ορισμένως, τα πράγματα υπάρχουν ανεξάρτητα από τη συνείδηση μας ως συνθέσεις συμπαγών ατόμων.

### Η Κβαντική Φυσική

Η κβαντική φυσική – μία από τις μεγαλύτερες επαναστάσεις στην ιστορία της επιστήμης της φυσικής, που έλαβε την ονομασία της από τα κβάντα, με τα οποία αποδίδεται η στοιχειώδης ποσότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, και διαμορφώθηκε μέσω των ερευνών του Louis de Broglie, του Werner Heisenberg, του Paul Dirac και του Neils Bohr - αναίρεσε, μεταξύ άλλων, τα παραπάνω χαρακτηριστικά της παραδοσιακής φυσικής.

Γενικά στη φυσική, ο όρος κβάντο ή κβάντουμ αναφέρεται σε μια αδιάστατη μονάδα ποσότητας, ένα "ποσό από κάτι". Για παράδειγμα ένα κβάντο φωτός είναι μία μονάδα φωτός (ή αλλιώς φωτόνιο). Η λέξη "κβάντο" προέρχεται από το λατινικό "quantus", που σημαίνει "πόσο". Έτσι ο όρος αυτός απαντάται με τρεις έννοιες:

1. ως μία ποσότητα (γενικά),
2. ως μια μονάδα φωτός, και
3. ως ελάχιστη ποσότητα στην οποία εκκρίνεται ένας νευροδιαβιβαστής, ειδικότερα.

Ένα εξ ολοκλήρου νέο εννοιολογικό πλαίσιο αναπτύχθηκε γύρω από την έννοια "κβάντο", κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του 20ου αιώνα. Πρόκειται για το εννοιολογικό πλαίσιο της Κβαντικής Μηχανικής. Η κβαντική μηχανική θεωρείται πιο θεμελιώδης από την

κλασσική μηχανική, καθώς εξηγεί φαινόμενα που η κλασσική μηχανική και η κλασσική ηλεκτροδυναμική αδυνατούν να περιγράψουν.

Κεντρική σημασία στη θεωρία της κβαντικής μηχανικής κατέχει η έννοια της κβάντωσης: ένα φυσικό μέγεθος είναι δυνατόν να είναι "κβαντωμένο", πράγμα που σημαίνει ότι το μέγεθος αυτό δεν μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή, αλλά μόνο συγκεκριμένες τιμές. Για παράδειγμα, η κίνηση ενός ηλεκτρονίου σε κάποιο άτομο πραγματοποιείται μόνο σε συγκεκριμένες ενεργειακές τροχιές.

### **Η Έννοια του Κβάντου**

Η έννοια του κβάντου είναι συνυφασμένη με το γεγονός ότι ποσότητες που χαρακτηρίζουν ιδιότητες ενός φυσικού συστήματος (δηλ. φυσικά μεγέθη π.χ. ενέργεια, στροφορμή) μπορούν να παίρνουν διακριτές τιμές και όχι συνεχείς τιμές. Δηλαδή αντίθετα με αυτό που προβλέπει η κλασσική θεωρία, λέμε ότι ένα φυσικό μέγεθος έχει διακριτό φάσμα ιδιοτιμών αντί συνεχή φάσμα ιδιοτιμών. Σημειώνεται ότι δεν είναι όλα τα φυσικά μεγέθη ενός συστήματος που έχουν διακριτό φάσμα ιδιοτιμών, δηλαδή είναι κβαντωμένα, υπάρχουν και μεγέθη που όπως και στην κλασσική μηχανική έχουν συνεχές φάσμα. Έτσι παρόλο που η λέξη κβάντο επινοήθηκε αρχικά για να περιγράψει τα "πακέτα" ενέργειας που λέγονται φωτόνια και από τα οποία αποτελείται το φως, τελικά ολόκληρη η θεωρία πήρε αυτό το όνομα, κβαντομηχανική. Αυτό δείχνει το πόσο ριζοσπαστική φαινόταν τότε η ιδέα ότι υπάρχουν φυσικά μεγέθη που παίρνουν μερικές μόνο τιμές από τις άπειρες διαθέσιμες.

Ο πρώτος που ισχυρίστηκε ότι ένα φυσικό μέγεθος είναι κβαντωμένο ήταν ο Νιλς Μπορ. Ο Δανός φυσικός ισχυρίστηκε ad hoc στο ατομικό του μοντέλο ότι το περιφερόμενο γύρω από τον πυρήνα ηλεκτρόνιο θα μπορούσε να "καταλάβει" μόνο κάποιες "επιτρεπόμενες τροχιές", στις οποίες η στροφορμή θα έπαιρνε κάποιες συγκεκριμένες τιμές, θα ήταν δηλαδή κβαντισμένη. Αυτή ήταν μια εξαιρετική επίδειξη ευφυίας και διαίσθησης καθώς αυτός ο ισχυρισμός περιφρονούσε βασικά αξιώματα του όλου οικοδομήματος της φυσικής όπως κληρονομήθηκε από τον Νεύτωνα. Βάση αυτού του μοντέλου κατόρθωσε να εξηγήσει θεωρητικά το τότε γνωστό φάσμα του υδρογόνου, κάτι ακατόρθωτο μέχρι τότε.

### **Η εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου**

Η δεύτερη σημαντικότερη "χρήση" της ιδέας μιας κβαντισμένης φυσικής ποσότητας, ήταν η εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από τον Γερμανό φυσικό Άλμπερτ Άινσταϊν, πράγμα που του απέφερε και το βραβείο νόμπελ. Ο Άινσταϊν εξήγησε αυτό το φαινόμενο θεωρώντας πως το φως δεν είναι μια συνεχής ροή ενέργειας, αλλά ένα σύνολο από κβάντα ή "πακέτα" συγκεκριμένης ενέργειας, τα φωτόνια.

Έτσι, στο πλαίσιο της κβαντικής φυσικής, υποστηρίχθηκε ότι, εν αντιθέσει προς την έννοια της αντικειμενικότητας της ύλης, στοιχειώδη σωματίδια, όπως τα φωτόνια, τα ηλεκτρόνια και τα κουάρκ, δεν υφίστανται ως πράγματα, ως υλικά στοιχεία, αλλά ως κυματοδέσμη με δυναμικό χαρακτήρα.

Αυτό σημαίνει ότι ο υλικός κόσμος δεν απαρτίζεται, όπως υπέθεσαν οι εκπρόσωποι της παραδοσιακής φυσικής, από άτομα υλικά άτομα αλλά ότι βρίσκεται σε ένα διαρκές καθεστώς άπειρων και εύπλαστων δυνατοτήτων.

### **Η αρχή της απροσδιοριστίας**

Κατ' αντιδιαστολή προς την άποψη της αιτιοκρατίας, εξάλλου, ο Heisenberg διατύπωσε την αρχή της απροσδιοριστίας, σύμφωνα με την οποία είναι αδύνατον να επισημανθούν επακριβώς τα χαρακτηριστικά ενός υποσωματιδίου σε μία δεδομένη στιγμή χωρίς να αλλάξουν την επόμενη. Και τούτο, γιατί η ίδια η διαδικασία της παρατήρησης, μέσω της οποίας, π.χ., μετρούμε μία ιδιότητα ενός φωτονίου, αλλάζει κάποια άλλη του ιδιότητα. Αυτό

σημαίνει ότι ο ίδιος ο παρατηρητής παρεμβαίνει στη φύση του παρατηρούμενου αντικειμένου.

Η ερμηνεία αυτή προβλήθηκε από τα μέλη της λεγόμενης σχολής της Κοπεγχάγης και ιδιαίτερα από τον αρχηγό της Bohr. Άμεση συνέπεια της ερμηνείας αυτής ήταν η κατάρριψη της άποψης της αιτιοκρατίας. Επειδή δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τις ιδιότητες των υποσωματιδίων, παρά μόνον αφού έχουμε ήδη παρέμβει στη φύση των ιδιοτήτων αυτών μέσω της παρατήρησης, έπεται ότι δεν μπορούμε να προβλέψουμε τις μελλοντικές των κινήσεις.

Ο Αϊνστάιν δεν δέχθηκε την αντιρεαλιστική αυτή θέση. «Ο Θεός δεν παίζει ζάρια», αναφώνησε αναφερόμενος στην ερμηνεία του Bohr. «Μην λες στο Θεό τι να κάνει και τι να μην κάνει!», λέγεται πως ήταν η απάντηση του Bohr στον Αϊνστάιν.

Ο Bohr, ο οποίος αντιλαμβανόταν το σύμπαν ως ένα διαρκώς ανοικτό ορίζοντα πιθανοτήτων και δυνατοτήτων, επέμεινε στην άποψη του αυτή παρά τους ισχυρισμούς του Αϊνστάιν για το αντίθετο.

Κλασικό, εν προκειμένω, είναι το νοητό πείραμα του Αυστριακού φυσικού Erwin Schrodinger, γνωστό ως η γάτα του Σρέντινγκερ. Σύμφωνα με το πείραμα αυτό, μία γάτα βρίσκεται σε ένα απολύτως σκοτεινό κουτί, το οποίο συνδέεται με ένα μηχανισμό αποτελούμενο από ένα μετρητή Γκάιγκερ, μία φιάλη δηλητηρίου και ελάχιστη ποσότητα ραδιενεργού υλικού. Οι πιθανότητες να συμβεί κάποια διάσπαση ενός ατόμου του ραδιενεργού υλικού είναι 50%. Αν συμβεί τούτο, τότε θα ενεργοποιηθεί ο μετρητής, πράγμα που θα έχει ως συνέπεια ο μηχανισμός να σπάσει το φιαλίδιο και να δηλητηριαστεί η γάτα. Αν δεν συμβεί η διάσπαση, δεν θα απελευθερωθεί το δηλητήριο και η γάτα θα εξακολουθεί να ζει.

Ο Σρέντινγκερ υποστήριξε ότι, από την πλευρά της κβαντικής θεωρίας, μέχρι ο παρατηρητής να ανοίξει το κουτί και να διαπιστώσει την έκβαση του φαινομένου, η γάτα δεν είναι ούτε ζωντανή ούτε νεκρή. Έως τότε, όμως, καμιά πρόβλεψη ως προς το αν η γάτα είναι ζωντανή ή νεκρή δεν μπορεί να υποστηριχθεί.

### **Το πείραμα EPR**

Προκειμένου να ελέγξει τη θεωρία της απροσδιοριστίας, ο Αϊνστάιν διεξήγαγε το γνωστό νοητό πείραμα EPR, το οποίο έλαβε την ονομασία αυτή από τα αρχικά των τριών επιστημόνων που συμμετείχαν σε αυτό -του Αϊνστάιν [Einstein], του Podolsky και του Rosen. Το πόρισμα του πειράματος αυτού ήταν πως ένα υποσωματίδιο μπορεί να επιδρά σε ένα άλλο υποσωματίδιο, που στην αρχή ήταν μαζί και χωρίστηκαν οπότε βρίσκονται μακριά το ένα από το άλλο. Ακόμη και αν φαινομενικά ουδεμία σύνδεση υπάρχει μεταξύ των σωματιδίων, εν τούτοις μπορούν να επιδρούν το ένα επί του άλλου (φαινόμενο διεμπλοκής ή συζευξης).

Έτσι, αίρεται κάθε μορφής αιτιοκρατία, αφού τα κβαντικά φαινόμενα εξηγούνται, μόνον εάν πολλές και διαφορετικές διαδικασίες συμβαίνουν ταυτόχρονα χωρίς αιτιακή εξάρτηση της μιας από την άλλη.

### **Οι συνέπειες της Κβαντομηχανικής**

Κατά τον Μπορ, οι φιλοσοφικές συνέπειες της ερμηνείας των κβαντικών φαινομένων από τη σχολή της Κοπεγχάγης υπήρξαν τόσο εντυπωσιακές, όσο εκείνες της κοπερνίκειας επανάστασης. Το γεγονός ότι ο παρατηρητής μετέχει μέσω της διαδικασίας της παρατήρησης στα αποτελέσματα των μετρήσεων σημαίνει ότι δεν μπορούμε να έχουμε ακριβείς μετρήσεις των φυσικών φαινομένων. Έτσι, υποστηρίχθηκε μία νέα μορφή αγνωσιαρχίας, σύμφωνα με την οποία δεν υπάρχει μία αντικειμενική πραγματικότητα, αλλά υφίστανται πολλές μορφές πραγματικότητας εξαρτημένες από το πρόσωπο που τις μετρά και τις λογίζεται.

Ο φυσικός Hugh Everett διατύπωσε το 1957 τη θεωρία των πολλών ή παράλληλων συμπάντων θεμελιώνοντας στην κβαντική φυσική την υπόθεση του Λάιμπνιτς για τους

δυνατούς κόσμους, ότι δηλαδή ο κόσμος εντός του οποίου ζούμε δεν είναι ο μόνος κόσμος που μπορεί να υπάρχει. Η θεωρία των παράλληλων κόσμων παραπέμπει σε ριζοσπαστικές ερμηνείες, όπως ότι, παράλληλα προς το δικό μας σύμπαν, θα μπορούσε θεωρητικά να υπάρχει και ένα άλλο σύμπαν όμοιο με το δικό μας, από όπου, όμως, μπορεί να απουσιάζει η ζωή, επειδή οι συνθήκες δεν το επέτρεψαν. Τέτοιες υποθέσεις αντιμετωπίζονται μεν από πολλούς φυσικούς επιστήμονες και φιλοσόφους με σκεπτικισμό, πλην όμως ερεθίζουν το στοχασμό και δημιουργούν νέα ερωτήματα για την υφή του κόσμου και τη σχέση του ανθρώπου προς τον τελευταίο αυτό

### **Η έννοια της πραγματικότητας (Επιστήμη και Θεολογία)**

Το ετήσιο βραβείο Templeton για το 2009, που συνοδεύεται με το τεράστιο ποσό των 1,4 εκατομμυρίων δολαρίων - το μεγαλύτερο βραβείο στον κόσμο - δόθηκε στο Γάλλο φυσικό και φιλόσοφο της επιστήμης Bernard d'Espagnat για τις "μελέτες του στην έννοια της πραγματικότητας".

Το Ίδρυμα που είναι αφοσιωμένο στο συμβιβασμό της επιστήμης με τη θρησκεία απονέμει κάθε χρόνο βραβείο σε επιστήμονες, ορισμένες φορές και σε θεολόγους, για την «εξαιρετική συνεισφορά τους στην επιβεβαίωση της πνευματικής διάστασης της ζωής».

Ο D'Espagnat, που σήμερα είναι 87 ετών, είναι ομότιμος καθηγητής της θεωρητικής φυσικής στο πανεπιστήμιο Paris-Sud, και είναι γνωστός για το έργο του για την κβαντική μηχανική. Δήλωσε μάλιστα ότι θα διαθέσει το ένα τρίτο του χρηματικού βραβείου για την έρευνα στους τομείς του ενδιαφέροντός του, και άλλο ένα τρίτο για φιλανθρωπικούς σκοπούς.

Ο D'Espagnat μπορεί να υπερηφανεύεται ότι έχει δουλέψει με σπουδαίους νομπελίστες : τον Louis de Broglie, τον Enrico Fermi και τον Niels Bohr. Ο De Broglie ήταν υπεύθυνος για την διατριβή του, υπηρέτησε ως βοηθός έρευνας του Fermi, και εργάστηκε στο CERN όταν ήταν ακόμα στην Κοπεγχάγη, υπό τη διεύθυνση του Bohr. Υπηρέτησε επίσης ως επισκέπτης καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Ώστιν, ύστερα από πρόσκληση του θρυλικού φυσικού John Wheeler.

Αλλά ποιο ήταν το έργο του Bernard d'Espagnat;

Ο d'Espagnat δούλεψε για την πειραματική δοκιμή του θεωρήματος Bell, που δηλώνει ότι είτε η κβαντική μηχανική είναι μια πλήρης περιγραφή του κόσμου ή ότι, αν υπάρχει κάποια κρυμμένη πραγματικότητα κάτω από την κβαντομηχανική, πρέπει να είναι μη τοπική - δηλαδή, ότι τα σώματα μπορεί να επηρεάζουν το ένα το άλλο ακαριαία, ανεξάρτητα από το πόσο μακριά είναι μεταξύ τους, κατά παράβαση αυτού που έλεγε ο Αϊνστάιν και επέμενε ότι τίποτα δεν μπορεί να ταξιδέψει γρηγορότερα από το φως.

Αλλά ο d'Espagnat στην πραγματικότητα ενδιαφερόταν για το τι σήμαιναν όλα αυτά για να αντιληφθούμε την πραγματική φύση της τελικής πραγματικότητας. Σε αντίθεση με την πλειονότητα των συγχρόνων του, ο d'Espagnat ήταν ένας από τους γενναίους που δεν φοβόταν να αντιμετωπίσει τα ακανθώδη και βαθιά φιλοσοφικά ερωτήματα που θέτει η κβαντική φυσική.

### **Μια επαναστατική άποψη**

Ο D'Espagnat είναι οπαδός της άποψης που αναφέρει ότι υπάρχει μια πραγματικότητα πέρα από μας, η οποία είναι συγκαλυμμένη και δεν μπορούμε να τη δούμε. Αν πιστέψουμε την θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάιν, τότε υπάρχει μια άλλη πραγματικότητα, διαφορετική από τη δική μας γύρω μας. Αυτή η άλλη πραγματικότητα που δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα, μπορεί είτε να είναι παρατηρήσιμη, είτε μη παρατηρήσιμη ή σκεπασμένη με ένα πέπλο (συγκεκριαλυμμένη). Η τρίτη άποψη υποστηρίζεται από τον D'Espagnat.

Σε αντίθεση με την κλασική φυσική, εξηγεί ο d'Espagnat, η κβαντική μηχανική δεν μπορεί να περιγράψει τον κόσμο όπως πραγματικά είναι, απλώς μπορεί να κάνει προβλέψεις για τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων μας. Αν θέλουμε να πιστέψουμε, όπως ο Αϊνστάιν, ότι

υπάρχει μια πραγματικότητα, ανεξάρτητη από τις παρατηρήσεις μας, τότε αυτή η πραγματικότητα μπορεί είτε να είναι γνωστή, ή άγνωστη ή μια πραγματικότητα συγκεκαλυμμένη.

Ο D'Espagnat ακολουθεί την τρίτη άποψη. Μέσα από την επιστήμη, λέει, μπορούμε να διαβλέψουμε ορισμένες βασικές συγκεκαλυμμένες δομές της πραγματικότητας, αλλά ένα μεγάλο μέρος της παραμένει απροσδιόριστο, και αιώνιο μυστήριο.

Όπως αναφέρει και μια ανακοίνωση του Ιδρύματος Templeton για το έργο του d'Espagnat: "Πρέπει να υπάρχει, πέρα από τα απλά φαινόμενα μια «συγκεκαλυμμένη πραγματικότητα» την οποία η επιστήμη δεν περιγράφει αλλά απλώς κοιτά φευγαλέα και με αβεβαιότητα. Αλληλοδιαδόχως, αντίθετα σε όσους υποστηρίζουν ότι η ύλη είναι η μόνη πραγματικότητα, η πιθανότητα να υπάρχουν και άλλα μέσα, όπως η πνευματικότητα, τα οποία ανοίγουν ένα παράθυρο στην έσχατη πραγματικότητα, δεν μπορεί να αποκλειστεί, ακόμα και από αδιάσειστα επιστημονικά επιχειρήματα".

Αλλά ακόμη και αν υπάρχει μια μερικώς ακατάληπτη πραγματικότητα κάτω από την πραγματικότητα, δεν είμαστε βέβαιοι πως σημαίνει ότι η θρησκευτικότητα είναι ένα καλό μέσο για να προσπελάσουμε αυτή την ακατάληπτη πραγματικότητα. Υπάρχει η υποψία ότι αυτό εξακολουθεί να προέρχεται παραδοσιακά από την παλαιά καλή πίστη στον Θεό.

### **Ο Θεός ως φυσική Πρώτη Αρχή**

Στην πραγματικότητα τι είναι συγκεκαλυμμένο ή κρυμμένο πίσω από την πραγματικότητα; Κατά καιρούς ο d'Espagnat το ονομάζει Ον ή Ανεξάρτητη Πραγματικότητα ή ακόμη "Μεγάλο Υπερκοσμικό Θεό". Είναι ένα ολιστικό, μη υλικό βασίλειο που βρίσκεται εκτός του χώρου και του χρόνου, αλλά πάνω στο οποίο επιβάλουμε τις κατηγορίες του χώρου.

"Η Ανεξάρτητη Πραγματικότητα διαδραματίζει, κατά κάποιον τρόπο, το ρόλο του Θεού - ή την «Ουσία» κατά τον Σπινόζα," γράφει ο d'Espagnat. Ο Αϊνστάιν πίστευε στον Θεό του Σπινόζα, τον οποίο ταύτιζε με την ίδια τη Φύση, αλλά πάντα θεωρούσε αυτό τον "Θεό" ότι είναι απόλυτα γνωστός. Ο συγκεκαλυμμένος Θεός του D'Espagnat, από την άλλη πλευρά, είναι εν μέρει - αλλά ουσιαστικά - άγνωστος. Και για αυτόν ακριβώς τον λόγο, θα ήταν παράλογο να τον 'ζωγραφίσει' με το σχήμα ενός προσωπικού Θεού ή να του προσθέσει ειδικές ανησυχίες ή εντολές.

Η "συγκεκαλυμμένη πραγματικότητα", στη συνέχεια, σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να βοηθήσει Χριστιανούς ή Μουσουλμάνοι ή Εβραίους ή οποιοσδήποτε άλλους εκτός να εξορθολογίσει τις ειδικές πεποιθήσεις τους.

Πολλές φορές έχει υποστηριχτεί ότι η τυχαιότητα και η πιθανοκρατία που παρατηρούμε στα κβαντομηχανικά φαινόμενα οφείλονται στο ότι υπάρχουν κάποιες κρυμμένες μεταβλητές οι οποίες καθορίζουν την εξέλιξη των φαινομένων αλλά δεν τις γνωρίζουμε. Υποστηρίζουν, δηλαδή, οι οπαδοί της θεωρίας των κρυμμένων μεταβλητών (ή του ρεαλισμού) πως αν γνωρίζαμε αυτές τις άγνωστες μεταβλητές των κβαντικών συστημάτων, τότε τα κβαντικά φαινόμενα θα φαινόταν και αυτά ντετερμινιστικά και απολύτως προβλεπτά.