

Άλμπερτ Αϊνστάιν: Από το μηχανιστικό στο διαλεκτικό κοσμοείδωλο*

Ο Αϊνστάιν (1879-1955) σημάδεψε την ανθρώπινη ιστορία περισσότερο από οποιονδήποτε άλλο σοφό. Αλλά ο μεγάλος φυσικός, ο συνεχιστής της υλιστικής παράδοσης της φυσικής που εγκαινιάσθηκε με το Γαλιλαίο, ο αγωνιστής της ειρήνης και της κοινωνικής δικαιοσύνης, πέθανε στην περίοδο του ψυχρού πολέμου σε μια διακριτική αλλά εύγλωττη απομόνωση.

Η ζωή του Αϊνστάιν σημαδεύεται από τη δημιουργία μιας σειράς θεωριών, οι οποίες αποτελούν τα θεμέλια της σημερινής αντίληψής μας για το Σύμπαν. Πράγματι, ο Αϊνστάιν ανέτρεψε, με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας (1905) την κλασική εικόνα για τις σχέσεις ανάμεσα στο χώρο, το χρόνο και την κίνηση. Το ίδιο έτος αποκάλυψε τη σχετικιστική σχέση ανάμεσα στη μάζα και την ενέργεια, η οποία σαράντα χρόνια αργότερα θα αποτελούσε τη θεωρητική βάση για την παραγωγή της ατομικής βόμβας. Το ίδιο έτος, συνέβαλε αποφασιστικά στη δημιουργία των κβαντικών θεωριών με τη θεωρία του για την ύπαρξη των φωτονίων – η θεωρία αυτή εξάλλου θα ήταν η αφετηρία για τις αντιλήψεις για τη διαδικότητα σωματίου-κύματος. Πριν από 75 χρόνια (1916-1917) δημιούργησε τη μεγαλειώδη σύνθεση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, δηλαδή τη σύγχρονη θεωρία της βαρύτητας, η οποία προϋποθέτει την ενότητα της ύλης, του χώρου, του χρόνου και της κίνησης. Τέλος, το 1935, σε μια διάσημη εργασία με τους Podolsky και Rosen, αμφισβήτησε την πληρότητα της κβαντομηχανικής περιγραφής, εγκαινιάζοντας μια επιστημονική διαμάχη η οποία έφτασε στο απόγειό της κατά τα τελευταία έτη και η οποία αφορά στα ίδια τα οντολογικά θεμέλια της φυσικής πραγματικότητας.

1. Από το μηχανιστικό σύμπαν στη σχετικότητα

Είναι γνωστό ότι η κλασική φυσική είχε δημιουργήσει μια μηχανιστική εικόνα για τη φύση: συμπαγή άτομα, άφθαρτα και χωρίς δομή· άπειρος χώρος, α-

Δημοσιεύουμε σήμερα ένα σύντομο άρθρο για τον Αϊνστάιν με αφορμή τα 75 χρόνια από τη διατύπωση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας. Το γαλλικό πρωτότυπο δημοσιεύθηκε στην παρισινή επιθεώρηση *Révolution*.

νεξάρτητος από την ύλη· απόλυτος, παγκόσμιος χρόνος, ανεξάρτητος από το χώρο και την κίνηση· ύλη αδρανής, κινούμενη από μια «μη υλική ουσία»: την ενέργεια.

Εντούτοις, μια σειρά ανακαλύψεις προς τα τέλη του περασμένου αιώνα, κλόνισαν αυτό το «αιώνιο» οικοδόμημα: Η ραδιενέργεια αχρήστευσε την αρχή της αφθαρσίας των ατόμων και προκάλεσε αμφιβολίες για την καθολικότητα της ισχύος της διατήρησης της ενέργειας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν ακολουθούσε τους γνωστούς νόμους που είχαν θεμελιωθεί στο αίτημα της συνέχειας της ενέργειας. Οι εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητισμού (εξισώσεις του Maxwell) δεν ήταν σύμφωνες με το κλασικό χωροχρονικό πλαίσιο. Η αποτυχία, τέλος, του πειράματος των Michelson-Morley απέκλεισε την ελπίδα να διαπιστωθεί πειραματικά η κίνηση της γης διαμέσου του αιθέρα, δηλαδή να αποδειχθεί η ύπαρξη του απόλυτου χώρου του Νεύτωνα. Μεγάλοι φυσικοί, όπως οι Poincaré, Lorentz, Langevin και άλλοι, πλησίασαν προς τη λύση της κρίσης χωρίς να την επιτύχουν, επειδή παρέμεναν εγκλωβισμένοι στο κλασικό χωροχρονικό πλαίσιο.

Στις αρχές του αιώνα μας ήταν συνεπώς ώριμες οι συνθήκες για την επανάσταση στη φυσική. Ο νεαρός τότε Αϊνστάιν (25 χρονών!) είχε το θάρρος να κόψει το γόρδιο δεσμό: Αν απορρίψουμε τον απόλυτο χώρο και χρόνο, που θεωρούνται ανεξάρτητοι από την κίνηση, τότε μπορούμε να λύσουμε την αντίθεση. Πράγματι, οι εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητισμού διατηρούν τη μορφή τους σε σχέση με μια νέα ομάδα μετασχηματισμών, οι οποίοι συνεπάγονται τη σχετικότητα του χώρου και του χρόνου. Συνεπώς, οι απόλυτες νευτώνειες μορφές αποδείχτηκαν σχετικές: συνάρτηση της κίνησης. Αυτό ήταν το αφετηριακό σημείο της σχετικότητας.

Τρία χρόνια αργότερα, ο Minkowski (δάσκαλος του Αϊνστάιν) απέδειξε ότι η σχετικότητα του χώρου και του χρόνου χωριστά, οδηγεί, με μια διαλεκτική σύνθεση: στην ενότητά τους. Η ενότητα αυτή εκφράζεται με την αμεταβλητότητα των χωρο-χρονικών διαστημάτων. Όπως θα έγραφε αργότερα ο μεγάλος σοβιετικός φυσικός Βλαντιμίρ Φοκ, η θεωρία της σχετικότητας ήταν θεωρία της μη σχετικότητας. Εν τω μεταξύ – όπως σημειώσαμε ήδη – ο Αϊνστάιν είχε αποδείξει (1905) ότι η αδράνεια ενός σώματος εξαρτάται από το ενεργειακό του περιεχόμενο και είχε διατυπώσει την περιφημη σχέση $E=mc^2$, η οποία συνιστά την ποσοτική έκφραση των σχέσεων ανάμεσα στη μάζα και την ενέργεια και όχι ανάμεσα στην ύλη και την ενέργεια, όπως συνήθως λέγεται. (Η εξίσωση αυτή αποτελεί τη βάση της φυσικής των μικροσωματίων και σε μια άλλη κλίμακα, της αστροφυσικής). Τέλος, το ίδιο έτος (1905), ο Αϊνστάιν διατύπωσε τη θεωρία για τα φωτόνια, στοιχειώδη κβάντα (ποσότητες) της ακτινοβολίας. Η θεωρία αυτή υπήρξε ο αναγκαίος όρος για ολόκληρη την ατομική και την πυρηνική φυσική.

Έτσι, μέσα σε λίγα χρόνια μετασχηματίστηκε σε βάθος ολόκληρη η αντίληψή μας για τον κόσμο: Τα άτομα δεν είναι ούτε απλά ούτε αιώνια – η πρόρρηση του Ένγκελς (1883) είχε επαληθευθεί από την ατομική φυσική. Η μάζα και η ενέργεια

δεν είναι ανεξάρτητες: συνδέονται με ποσοτική σχέση. Ο χώρος και ο χρόνος δεν είναι ανεξάρτητοι: η ενότητά τους εκφράζεται από τη σχετικιστική μετρική. Οι φυσικές αλληλεπιδράσεις, τέλος, δεν διαδίδονται με άπειρη ταχύτητα, αντίθετα με το νευτώνειο αξίωμα. Κατά συνέπεια, ο καθορισμός του αποτελέσματος από την αιτία δεν είναι στιγμιαίος. Είναι μια διαδικασία, μη αντιστρεπτή, μέσα στο χρόνο. (Η δυναμική αντίληψη για την αιτιότητα και η τοπικότητα των κοσμικών συμβάντων, που είχαν για πρώτη φορά καταδειχτεί με τις εξισώσεις του Maxwell, θα γενικεύονταν στα νέα χωροχρονικά πλαίσια). Ο Αϊνστάιν βρισκόταν πίσω απ' όλες αυτές τις επαναστάσεις.

Σύμφωνα με την αρχή της σχετικότητας του Γαλιλαίου, η οποία αφορούσε μόνο τα μηχανικά φαινόμενα, οι νόμοι της φυσικής διατηρούν την ίδια μορφή σε όλα τα αδρανειακά συστήματα. (Τα συστήματα τα οποία κινούνται ομαλά τα μεν ως προς τα δε. Γνωρίζουμε όμως ένα αδρανειακό σύστημα, ως προς το οποίο θα ορίζαμε και τα υπόλοιπα; Αυτό ήταν το αγωνιώδες ερώτημα της νευτώνειας φυσικής, που οδήγησε στη μάταιη αναζήτηση του απόλυτου συστήματος αναφοράς). Με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας ο Αϊνστάιν διέυρυνε αυτή την αρχή, ώστε να περιλάβει και τις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Στη συνέχεια θέλησε να τη γενικεύσει και για μη αδρανειακά συστήματα (για συστήματα με οποιαδήποτε κίνηση). Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας ήταν, ως προς το φυσικό της περιεχόμενο, μια γενικευμένη θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων. Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας ήταν μία νέα θεωρία της βαρύτητας, η οποία μπόρεσε να άρει τις ασυμφωνίες ανάμεσα στις αστρονομικές παρατηρήσεις και τη νευτώνεια θεωρία.

2. Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Αλλά ο επαναστατικός χαρακτήρας της θεωρίας του Αϊνστάιν βρίσκεται κυρίως στις νέες σχέσεις ανάμεσα στο χώρο, το χρόνο, την ύλη και την κίνηση. Σύμφωνα με το Νεύτωνα, ο άπειρος χώρος είναι ένα κενό δοχείο, το οποίο μπορεί να δεχτεί την ύλη. (Η αντίληψη αυτή ταυτίζεται με τη δημοκρίτεια αντίληψη, ενώ αντιφάσκει με την άποψη του Αριστοτέλη για την ανυπαρξία του κενού). Κατά τον Αϊνστάιν, αντίθετα, ο χώρος συνδέεται ενδογενώς με την ύλη. Δεν είναι μια επίπεδη μορφή, εξωτερική ως προς το περιεχόμενό της. Είναι μια μορφή με μεταβλητή καμπυλότητα, η οποία καθορίζεται από τη χωροχρονική κατανομή της ύλης. Κατά συνέπεια, η μορφή του χωροχρόνου μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο του χώρου. Η καμπυλότητα γίνεται μεγαλύτερη στις περιοχές όπου υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις ύλης. Ακόμα και για το ίδιο σημείο του σύμπαντος, η καμπυλότητα δεν είναι σταθερή. Είναι συνάρτηση της χρονικής κατανομής της ύλης.

Για τη μηχανιστική σκέψη – πνευματοκρατική ή υλιστική – ο χώρος είναι

μια κατηγορία εξωτερική ως προς την ύλη, μια άμορφη «πραγματικότητα», χωρίς δομή και χωρίς ιστορία. Για το καντιανό δόγμα, ο χώρος και ο χρόνος είναι προεμπειρικές (*a priori*) μορφές της εποπτείας. Με τις σχετικιστικές θεωρίες ο χώρος και ο χρόνος μετατρέπτηκαν σε ιστορικές κατηγορίες και, ταυτόχρονα, σε αυθεντικά οντολογικές: σε μορφές ύπαρξης της ύλης, μορφές καθοριζόμενες από το υλικό τους περιεχόμενο.

Αλλά οι σχετικιστικές θεωρίες έχουν και μία άλλη γνωσιοθεωρητική άποψη κεφαλαιώδους σημασίας. Η αρχή της αμεταβλητότητας της μορφής των νόμων της φυσικής, η οποία διατυπώθηκε από τη γενική θεωρία της σχετικότητας, είναι ισοδύναμη με μια γενικευμένη *μη σχετικότητα*, άρα με μια ισχυρότερη *αντικειμενικότητα* από την αντικειμενικότητα της κλασικής μηχανικής.

Πριν από τις σχετικιστικές θεωρίες, οι φυσικοί είχαν μία αφηρημένη αντίληψη για την αιτιότητα και τον καθορισμό (*déterminisme*). Η άγνοια των πραγματικών διαδικασιών, που συνδέουν την αιτία με το αποτέλεσμα, βρίσκεται στην αφετηρία θεωρησιακών αντιλήψεων, όπως οι αντιλήψεις του Χιούμ και του Καντ. Οι αντιλήψεις για τη στιγμιαία διάδοση των δυνάμεων νευτώνειου τύπου συνέβαλαν στην οικοδόμηση μιας μηχανιστικής αντίληψης για την αιτιότητα και τον κόσμο.

Οι σχετικιστικές θεωρίες απέδειξαν τον πλασματικό χαρακτήρα των στιγμιαίων αλληλεπιδράσεων. Στιγμιαίες αλληλεπιδράσεις δεν υπάρχουν. Κατά τον Αϊνστάιν, οι φυσικές αλληλεπιδράσεις διαδίδονται με πεπερασμένη ταχύτητα. Η *τοπικότητα* των φυσικών διεργασιών έγινε θεμελιώδες και καθολικό χαρακτηριστικό της φύσης.

3. Αιτιότητα και τοπικότητα κατά τον Αϊνστάιν

Χάρη στην υπόθεση των φωτονίων και την πρώτη ένδειξη για τη διαδικότητα ανάμεσα στα σώματα και τα κύματα, ο Αϊνστάιν δίκαια θεωρείται ένας από τους πατέρες των κβαντικών (μικροφυσικών) θεωριών. Αλλά και η *κριτική* συνεισφορά του στη μικροφυσική υπήρξε κεφαλαιώδης και επαναστατική.

Όπως σημειώθηκε ήδη, με τις σχετικιστικές θεωρίες του ηλεκτρομαγνητισμού και της βαρύτητας, ο Αϊνστάιν συνέβαλε στη συγκεκριμένη γνώση των φυσικών αλληλεπιδράσεων. Οι αλληλεπιδράσεις άλλου τύπου, οι οποίες ανακαλύφθηκαν στα επόμενα χρόνια (ισχυρές και ασθενείς αλληλεπιδράσεις), επιβεβαίωσαν το σχετικιστικό πλαίσιο και, κατά συνέπεια, τον τοπικό και αιτιοκρατικό χαρακτήρα των φυσικών διαδικασιών.

Οι νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού και της βαρύτητας είναι αιτιοκρατικοί-δυναμικοί. Οι νόμοι της μικροφυσικής, αντίθετα, είναι πιθανοκρατικοί. (Στη μικροφυσική υπάρχουν και απόλυτοι νόμοι – διατήρησης, κ.λπ. – αλλά το γενικό χαρακτηριστικό είναι το πιθανοκρατικό). Κατά τον Μπωρ και γενικότερα τους

οπαδούς της θετικιστικής ερμηνείας – τη λεγόμενη Σχολή της Κοπεγχάγης – ο πιθανοκρατικός χαρακτήρας της κβαντομηχανικής είναι ασυμβίβαστος με την αιτιοκρατία και την τοπικότητα των σχετικιστικών θεωριών.

Ο Αϊνστάιν αγωνίστηκε, σε όλη την περίοδο μεταξύ του 1925 και 1955 να ανασκευάσει αυτή την ερμηνεία. Κατά τη διάρκεια του 5ου Συνεδρίου του Solvay (1927), ο Αϊνστάιν πρότεινε ένα νοητικό πείραμα, το οποίο αναδείκνυε τον ουσιαστικά στατιστικό χαρακτήρα της κβαντικής μηχανικής. Αλλά ήταν κυρίως το 1935, όταν ο Αϊνστάιν και οι συνεργάτες του Podolsky και Rosen πρότειναν ένα νοητικό πείραμα το οποίο αμφισβητούσε την πληρότητα της κβαντομηχανικής περιγραφής. Οι τρεις φυσικοί δέχονταν ότι θα μπορούσε να υπάρξει μια πληρέστερη θεωρία της μικροφυσικής πραγματικότητας, η οποία θα ήταν αιτιοκρατική, με τη δυναμική και όχι τη μηχανιστική έννοια του όρου.

Η μεγάλη διαμάχη (débât) ανάμεσα στον Αϊνστάιν και τον Μπωρ συνεχίστηκε. Παρά τη δύναμη των επιχειρημάτων του Αϊνστάιν, η μεγάλη πλειοψηφία των φυσικών δέχτηκε την αντικαιτιοκρατική και αντιρεαλιστική ερμηνεία του αρχηγού της Σχολής της Κοπεγχάγης. (Στη «νίκη» του Μπωρ συνέβαλε και το γενικότερο θετικιστικό κλίμα που κυριαρχούσε στο μεσοπόλεμο στην Ευρώπη). Αλλά το 1952, ο D. Bohm επέτυχε να διατυπώσει μία αιτιοκρατική ερμηνεία της κίνησης των στοιχειωδών σωματιών, με βάση ιδέες παρόμοιες με τις ιδέες του Ντε Μπρέϊγ της δεκαετίας του '20. Εντούτοις η θεωρία του Bohm ήταν μη τοπική και επιπλέοντις προβλέψεις της κβαντικής μηχανικής. Έτσι δεν έδινε τη δυνατότητα να ελεγχθεί πειραματικά η ύπαρξη των περιφημων «λανθανουσών παραμέτρων» (Συμπληρωματικών παραμέτρων που θα επέτρεπαν μια δυναμική περιγραφή του συστήματος).

Η δυνατότητα για μια τέτοια επιβεβαίωση δόθηκε το 1964, με τη διατύπωση των «ανισοτήτων του Bell». Σύμφωνα μ' αυτές τις ανισότητες, αν η τοπικότητα και η αιτιότητα ισχύουν στην κβαντική μηχανική, τότε σε ορισμένες, ειδικές περιπτώσεις, οι προβλέψεις της κβαντομηχανικής θα διαψεύδονταν από το πείραμα.

Έγιναν έκτοτε πολλά πειράματα για να ελεγχθούν οι ανισότητες του Bell. Όλα σχεδόν ήταν υπέρ της κβαντικής μηχανικής και εναντίον των ανισοτήτων του Bell, άρα εναντίον της ταυτόχρονης ισχύος της αιτιότητας και της τοπικότητας στη μικροφυσική.

Έτσι, οι ιδέες του Αϊνστάιν προκάλεσαν, πολλά χρόνια μετά το θάνατό του, μια νέα και μεγάλη κρίση στη φυσική. Σύμφωνα με τη θετικιστική σχολή, η διάψευση των ανισοτήτων του Bell σημαίνει την οριστική ήττα του Αϊνστάιν, της αιτιότητας και της τοπικότητας ή, τουλάχιστον, την ύπαρξη αλληλεπιδράσεων με άπειρη ταχύτητα, ασυμβίβαστων με το σχετικιστικό σχήμα. Κατά τους ακραίους αυτής της τάσης, η δήθεν μη τοπικότητα (ή το μη διαχωρισμο) είναι μία απόδειξη της κατάρρευσης της αιτιακής τάξης του σύμπαντος – η οποία δεν είναι παρά ένα επιφαινόμενο των μακροσκοπιών συνθηκών μας – και η συμφιλίωση της φυσικής με την «αντιφυσική», την ψυχοκίνηση, την παραψυχολογία, το θάυμα και το Θεό.

Η ρεαλιστική και αιτιοκρατική σχολή, η οποία αντιτίθεται στον υποκειμενισμό του θετικισμού, επιχειρεί να βρει μια λύση της σημερινής κρίσης με αφητηρία το ρεαλισμό, την αιτιοκρατία και την τοπικότητα του Αϊνστάιν. Για τους «σκληρούς» της θετικιστικής σχολής, η μάχη εναντίον του Αϊνστάιν έχει οριστικά κερδηθεί. Εντούτοις η τελευταία λέξη δεν ειπώθηκε ακόμα, και οι σημερινοί ρεαλιστές πρότειναν πολλά σχήματα εναντίον της αντιαιτιοκρατικής ερμηνείας. Όπως έγραφε ο μεγάλος φυσικός και άλλοτε αντίπαλος του Αϊνστάιν, P.A.M. Dirac, λίγα χρόνια πριν από το θάνατό του: «Νομίζω ότι μπορεί να αποδειχτεί ότι τελικά ο Αϊνστάιν είχε δίκιο, επειδή η παρούσα μορφή της κβαντομηχανικής θα μπορούσε να μη θεωρηθεί ως η τελική [...]. Και νομίζω ότι θα ήταν εντελώς πιθανό ότι κάποτε στο μέλλον θα μπορούσαμε να έχουμε μια βελτιωμένη κβαντική μηχανική, η οποία θα επέστρεφε στην αιτιοκρατία και η οποία, κατά συνέπεια, θα δικαίωνε την άποψη του Αϊνστάιν» (P.A.M. Dirac, *Directions in Physics*, Wiley, 1976, σελ. 10).

Για ευρύτερη ενημέρωση, βλ. π.χ. 1) F. Selleri, *Η Διαμάχη στην Κβαντική Μηχανική*, εκδ. Gutenberg. 2) Ε. Μπιτσάκη, *Διαλεκτική και Νεώτερη Φυσική*, Ι. Ζαχαρόπουλος. 3) Του ίδιου, *Η Δυναμική του Ελάχιστου*, τ. 2, Ι. Ζαχαρόπουλος. Για τις μυστικιστικές αντιλήψεις που συνδέονται με τη σημερινή φυσική, βλ. το συλλογικό *Science et Consience*, Stock, Paris, 1984.



Αυτοπροσωπογραφία του Buffalo Meat, Cheyenne 1878