

## Η ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΔΙΕΜΠΛΟΚΗ

Η κβαντική διεμπλοκή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο, δύο αντικείμενα που δημιουργούνται μαζί (για παράδειγμα δύο ηλεκτρόνια) μένουν σε κατάσταση διεμπλοκής μεταξύ τους, ασχέτως του χώρου που μεσολαβεί πλέον από το ένα στο άλλο.

Αν στείλουμε το ένα από τα δύο στο άλλο άκρο του σύμπαντος και κάνουμε κάτι σε οποιοδήποτε από τα δύο, το άλλο αντιδρά ακαριαία!

Έτσι, είτε πρέπει να δεχτούμε πως η πληροφορία μπορεί να ταξιδέψει με άπειρη ταχύτητα είτε πως στην πραγματικότητα τα δύο αντικείμενα βρίσκονται ακόμα σε «επαφή», σε σύνδεση μεταξύ τους, δηλαδή σε κατάσταση διεμπλοκής.

Προέκταση της κβαντικής διεμπλοκής, με την προϋπόθεση πως συνέβη η μεγάλη έκρηξη, είναι πως τα πάντα, αφού δημιουργήθηκαν μαζί, είναι ακόμα συνδεδεμένα μεταξύ τους, «ακουμπούν» υπό μία έννοια ακόμα το ένα το άλλο.

Έτσι ο χώρος εμφανίζεται σαν ένα κατασκευάσμα που δίνει την ψευδαίσθηση πως υπάρχουν χωριστά αντικείμενα. Υπό την έννοια αυτή, η κβαντική διεμπλοκή κάνει να καταρρέει η εμπειρία μας για τον χώρο.

Ο Έρβιν Σρέντιγκερ απεκάλεσε την διεμπλοκή σαν το «καθοριστικό γνώρισμα» της κβαντικής θεωρίας. Ο Αϊνστάιν από την άλλη δεν ήθελε να πιστέψει σε αυτήν καθόλου, νομίζοντας ότι η κβαντική θεωρία είχε σοβαρά λάθη.

### Το παράδοξο πείραμα EPR

Το 1936, λοιπόν, και στην προσπάθειά του να καταδείξει ότι μία από τις συνέπειες της κβαντικής θεωρίας ήταν τόσο αβάσιμη ώστε η θεωρία θα έπρεπε είτε να είναι λανθασμένη είτε να είναι, κατά μία έννοια, μη πλήρης, ο Αϊνστάιν διατύπωσε, από κοινού με τους Boris Podolsky και Nathan Rosen, ένα νοητικό πείραμα που έμεινε γνωστό ως το «παράδοξο EPR».

Υποθέστε ότι δημιουργείτε ένα ζεύγος πεπλεγμένων (διαπλεγμένων) φωτονίων οι διευθύνσεις πόλωσης των οποίων σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία  $90^\circ$ . Δεν μπορείτε να γνωρίζετε ποιες ακριβώς είναι οι διευθύνσεις πόλωσης τους, μέχρι να τις μετρήσετε. Μπορεί η μία να είναι κατακόρυφη και η άλλη οριζόντια ή να έχουν οποιοδήποτε άλλο προσανατολισμό — σίγουρα όμως ξέρετε ότι είναι κάθετες μεταξύ τους.

Βάλατε τα φωτόνια προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Καθώς αυτά απομακρύνονται, σε κάποιο σημείο της τροχιάς τους διέρχονται μέσα από πολωτικά φίλτρα που — επί τούτου — έχετε τοποθετήσει στο δρόμο τους.

Υποθέστε ότι το ένα φωτόνιο περνά απρόσκοπτα μέσα από φίλτρο, η χαρακτηριστική διεύθυνση του οποίου είναι κατακόρυφη. Συνεπώς, θα πρέπει αυτό το φωτόνιο να είναι κατακόρυφα πολωμένο — οπότε ο σύντροφος του θα πρέπει να είναι πολωμένος οριζόντια.

Δηλαδή το δεύτερο φωτόνιο μπορεί να διέλθει από φίλτρο, η χαρακτηριστική διεύθυνση του οποίου είναι οριζόντια, όχι όμως και από φίλτρο με χαρακτηριστική διεύθυνση κατακόρυφη.

Ός εδώ καλά. Το ένα φωτόνιο είναι πολωμένο κατακόρυφα, το άλλο οριζόντια — οπότε μεταξύ τους σχηματίζουν ορθή γωνία, και όλα στον κόσμο πρέπει να βαίνουν καλώς. Όχι ακριβώς!

Έως ότου το πρώτο φωτόνιο εξέλθει από το φίλτρο, δεν έχετε ιδέα αν θα το διαπεράσει ή όχι. Και επιπλέον, το φωτόνιο δεν ξέρει σε τι είδους φίλτρο πρόκειται να εισέλθει. Δεν γνωρίζετε τίποτε σχετικά με τη διεύθυνση πόλωσης καθενός φωτονίου μέχρις ότου τη μετρήσετε — ξέρετε μόνο ότι οι πιθανότητες του να διέλθει είναι 50%, ανεξάρτητα από τη χαρακτηριστική διεύθυνση του φίλτρου.

Συνεπώς, το δεύτερο φωτόνιο δεν μπορεί να γνωρίζει τι θα κάνει το πρώτο, μέχρις ότου όντως το κάνει. Επιπλέον, οι ενέργειες του πρώτου φωτονίου προσδιορίζουν τις ενέργειες του δεύτερου. Επομένως, το δεύτερο φωτόνιο πρέπει να λαμβάνει κάποιου τύπου ειδοποίηση από το πρώτο, έστω και αν αυτά βρίσκονται μακριά το ένα από το άλλο.

Μάλιστα, αυτή η ειδοποίηση πρέπει να είναι ακαριαία, επειδή οφείλει να διαβιβάζεται ακόμη κι όταν τα φωτόνια εισέρχονται στα φίλτρα την ίδια ακριβώς στιγμή! Είναι αδύνατον να προβλέψουμε τι θα κάνει κάθε φωτόνιο, εντούτοις και τα δύο θα πρέπει να δρουν εναρμονισμένα ώστε οι πολώσεις τους να έχουν τη σωστή μεταξύ τους σχέση.

Η σφοδρή αντίδραση των Αϊνστάιν, Podolsky και Rosen οφείλεται σε τούτη ακριβώς την αινιγματική συμπεριφορά. Συμπεριφορά που εγείρεται επειδή τα αποτελέσματα των κβαντικών μετρήσεων είναι αβέβαια ή απροσδιόριστα έως ότου εμφανιστούν.

Το επιχείρημα, με άλλα λόγια, ήταν ότι, αν όντως οι πολώσεις των φωτονίων παραμένουν απροσδιόριστες μέχρι να μετρηθούν, τότε τα συσχετισμένα φωτόνια EPR πρέπει να συνωμοτούν μεταξύ τους ακαριαία, ώστε να διασφαλίζεται ότι οι ταυτόχρονες μετρήσεις τους δίνουν συνεπή αποτελέσματα. Αυτό φαίνεται παράλογο!

Ο Αϊνστάιν και οι συνεργάτες του πίστευαν ότι είναι λογικότερο να θεωρήσουμε την κβαντική θεωρία μη πλήρη, ότι είναι λογικότερο να θεωρήσουμε πως κάθε φωτόνιο διαθέτει κάποια μυστική ιδιότητα, κρύβει μια μεταβλητή που, αν τη γνωρίζαμε, θα ήμασταν σε θέση να προβλέψουμε ποιο θα ήταν το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Όλα καλά, αλλά... πώς αλλιώς μπορούμε να ανακαλύψουμε τη μυστική ιδιότητα των φωτονίων παρά πραγματοποιώντας την ακριβή μέτρηση, το αποτέλεσμα της οποίας υποτίθεται ότι θα μας βοηθήσει να την προβλέψουμε; Αυτό ακυρώνει όλη την παραπάνω επιχειρηματολογία. Οι περισσότεροι φυσικοί συμφωνούν ότι το παράδοξο EPR αποτελεί πράγματι μέρος ενός αινίγματος.

# ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΔΙΕΜΠΛΟΚΗ

Λευτέρης Καλιαμπός (L. Kaliambos)

Νοέμβριος 29 του 2016

Είναι γεγονός ότι όλα τα πειράματα της Κβαντικής Διεμπλοκής επιβεβαίωσαν την εξ αποστάσεως ακαριαία αλληλεπίδραση του τρίτου νόμου του Νεύτωνα, που οδήγησε στις ανακαλύψεις των νόμων των ηλεκτρικών και μαγνητικών δυνάμεων που δρουν από απόσταση ([Coulomb](#) 1785) και ([Ampere](#) 1820). Ωστόσο κάτω από την επιρροή των [απατηλών πεδίων του Maxwell](#) και της [άκυρης θεωρίας της σχετικότητας](#) σήμερα πολλοί φυσικοί την Κβαντική Διεμπλοκή τη θεωρούν ως ένα περίεργο κβαντικό φαινόμενο που παραβιάζει τη λεγόμενη τοπικότητα των θωριών του Maxwell και Αϊνστάιν, με αποτέλεσμα να μην θεωρείται το φαινόμενο ως αποτέλεσμα του τρίτου νόμου του Νεύτωνα.

Στο διαδίκτυο η [ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ](#) μας πληροφορεί ότι η Κβαντική Διεμπλοκή είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο δύο σωματίδια όπου δημιουργούνται μαζί εξακολουθούν να μένουν σε κατάσταση διεμπλοκής μεταξύ τους ακόμη και όταν τα διαχωρίσουμε και βρεθούν να είναι πολύ μακριά το ένα από το άλλο. Λόγου χάρη αν σταλεί ένα από τα δύο ηλεκτρόνια ενός ατόμου στο άλλο άκρο του σύμπαντος και συμβεί κάτι σε οποιοδήποτε από τα δύο, το άλλο αντιδρά ακαριαία. Έτσι, φαίνεται πως η πληροφορία μπορεί να ταξιδέψει με άπειρη ταχύτητα.

Η Κβαντική Διεμπλοκή είναι υπαρκτό φαινόμενο και παρατηρείται σε πειράματα, όχι μόνο στο μικρόκοσμο, αλλά και σε μεγαλύτερες κλίμακες. Για πολλούς φυσικούς ο χώρος εμφανίζεται σαν ένα κατασκεύασμα που δίνει την ψευδαίσθηση πως υπάρχουν χωριστά αντικείμενα. Έτσι πολλοί πιστεύουν πως υπό την έννοια αυτή, η Κβαντική Διεμπλοκή κάνει να καταρρέει η εμπειρία του ανθρώπου για τον χώρο. Με άλλα λόγια η εγκατάλειψη της Νευτώνειας ιδέας αναφορικά με τη θεμελιώδη δράση από απόσταση είχε σαν αποτέλεσμα να θεωρούν σήμερα πολλοί φυσικοί την Κβαντική Διεμπλοκή ως κατάρρευση της εμπειρίας η οποία θα έπρεπε σχετίζεται με τα θεωρούμενα έγκυρα πεδία του Maxwell και του Αϊνστάιν.

Ιστορικά, το πρόβλημα της μετάδοσης των βαρυτικών δυνάμεων ξεκίνησε από τον Καρτέσιο ο οποίος στην εργασία του «Αρχές της φιλοσοφίας» (1644) υπέθεσε ότι η βαρύτητα δεν δρα ακαριαία αλλά μεταδίδεται μέσω βαρυτικών κυμάτων μέσα στον απατηλό αιθέρα του Αριστοτέλη. Έτσι ο Νεύτων μετά από το θρίαμβο της ανακάλυψης του νόμου της βαρύτητας και των τριών νόμων της κίνησης των σωμάτων (1687) ύστερα από λεπτομερείς αστρονομικές παρατηρήσεις και πειράματα κατέληξε στη διατύπωση του τρίτου νόμου ο οποίος αναφέρεται και στην ακαριαία εξ αποστάσεως αλληλεπίδραση με τη μορφή της δράσης και της ταυτόχρονης αντίδρασης. Και επειδή εκείνο τον καιρό υπήρχαν πολλοί φυσικοί που υποστήριζαν τις ιδέες του Καρτέσιου ο Νεύτων είπε την περίφημη φράση “[Hypotheses non fingo](#)”. Πραγματικά επειδή τότε ο Νεύτων δεν είχε στη διάθεσή του τα ανάλογα πειράματα για να αντιμετωπίσει τα απατηλά βαρυτικά κύματα του Καρτέσιου ([wrong gravitational waves](#)) εξέφρασε την άποψή του με το σκεπτικό ότι δεν ήταν ακόμη σε θέση να ανακαλύψει την αιτία για αυτές τις ιδιότητες της βαρύτητας που προκύπτουν

από τα φαινόμενα, και γι αυτό τον λόγο δεν μπορούσε να προτείνει υποθέσεις για ό,τι δεν συνάγεται από τα φαινόμενα της βαρυτικής έλξης.

Παρόλα αυτά πολύ αργότερα (1915) ο Αϊνστάιν στη θεωρία του της [άκυρης γενικής σχετικότητας](#) ξανά έφερε στο προσκήνιο τα βαρυτικά κύματα του Καρτέσιου, αλλά μετά από τα πρώτα πειράματα της Κβαντικής Διεμπλοκής (1935), ο ίδιος ο Αϊνστάιν το 1936 σε μια εργασία του τα βαρυτικά κύματα τα απέρριψε, παρότι δεν αποδέχονταν τα πειράματα της Κβαντικής Διεμπλοκής που επιβεβαίωναν τη Νευτώνεια «Δράση από απόσταση». Γι αυτό άλλωστε επηρεασμένος από τις άκυρες εξισώσεις των πεδίων του Maxwell ([invalid Maxwell's equations](#)) είπε τη φράση “[Spooky action at a distance](#)”. Δηλαδή κάτω από την επιρροή των πεδίων και όχι των διανυσμάτων της ηλεκτρικής και μαγνητικής έντασης ([intensity and false field](#)) δεν ήθελε να πιστεύει σε μια ακαριαία δράση η οποία θα έπρεπε να μοιάζει με ένα σπίτι που το θεωρούμε στοιχειωμένο και αποφεύγουμε να κατοικήσουμε σε αυτό. Ας σημειωθεί ότι στις αρχές του 2016 η ομάδα LIGO ανίχνευσε όχι τα βαρυτικά κύματα αλλά τις χωροχρονικές μεταβολές της Κβαντικής Φυσικής. ([Spacetime ripples of laws](#)). Άλλωστε τέτοιες χωροχρονικές μεταβολές της κβαντικής φυσικής τις παρατηρούμε και κατά τη διάρκεια της απορρόφησης του φωτός από την ύλη ([photon-matter interaction](#)) ακριβώς για να μην παραβιασθεί ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα, ([Discovery of length contraction](#)).

Πάντως επιλέγοντας στο διαδίκτυο το θέμα “Διεμπλοκή- physics 4u’s Weblog” διαβάζουμε ότι φυσικοί στο Πανεπιστήμιο της Γενεύης έχουν επινοήσει ένα νέο είδος κβαντικού πειράματος χρησιμοποιώντας ανθρώπους ως ανιχνευτές φωτονίων, και με τον τρόπο αυτό έχουν κάνει για πρώτη φορά το κβαντικό φαινόμενο της διεμπλοκής ορατό με γυμνό μάτι. . Για εκείνους που χρειάζονται μια εξήγηση, η διεμπλοκή είναι εκείνο το κβαντικό φαινόμενο που συνδέει δύο σωματίδια σε απόσταση, ώστε κάθε τυχόν μέτρηση που διεξάγεται στο ένα σωματίδιο, αμέσως αλλάζει την ιδιότητα του άλλου – ακόμη και αν χωρίζονται από ολόκληρο το σύμπαν. Σήμερα κάτω από την επιρροή των κομπών εξισώσεων των πεδίων του Maxwell και της θεωρίας της Σχετικότητας πολλοί φυσικοί θεωρούν ότι το φαινόμενο της Κβαντικής Διεμπλοκής είναι ένα από τα πιο περίεργα φαινόμενα που είδαμε ποτέ, ενώ στην πραγματικότητα συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. ([Quantum entanglement rejects Einstein](#)).

Ο Nicolas Gisin στο Πανεπιστήμιο της Γενεύης διαπίστωσε ότι Ιταλοί φυσικοί είχαν κάνει στο παρελθόν ένα πολύ έξυπνο πείραμα με φωτόνια. Η ιταλική ομάδα είχε κάνει πειράματα διεμπλοκής σε ένα ζευγάρι φωτονίων και στη συνέχεια σε ένα από αυτά οι πειραματιστές κατάφεραν να δημιουργήσουν ένα πλήθος φωτονίων με αμέτρητα φωτόνια και παρατήρησαν ότι όλα συνδέονταν με το άλλο μεμονωμένο φωτόνιο από το αρχικό ζεύγος. Δηλαδή, υπήρχε ένα μεμονωμένο φωτόνιο, και ένα πλήθος από άλλα φωτόνια, όλα συνδεδεμένα με το φαινόμενο της Κβαντικής Διεμπλοκής.

Ο Gisin συνειδητοποίησε ότι, ενώ με γυμνό μάτι δεν μπορεί να δει κανείς ένα φωτόνιο, ωστόσο μπορεί σίγουρα να δει χιλιάδες φωτόνια. Έτσι χρησιμοποίησε μια διάταξη παρόμοια με τους Ιταλούς, αλλά αντί να βάλει ένα ανιχνευτή φωτονίων μπροστά από τον χείμαρρο των φωτονίων έβαλε τον εαυτό του και τους συνάδελφους του. Η δέσμη των φωτονίων που παράγονταν από τον ενισχυτή θα εμφανιζόταν σε μία από τις δύο θέσεις στον σκοτεινό χώρο τους, ανάλογα με την κατάσταση

πόλωσης που έδιναν στο μικροσκοπικά μοναδικό φωτόνιο τους. Κι έτσι, το ανθρώπινο μάτι αντικατέστησε τους ανιχνευτές φωτονίων για πρώτη φορά.

Δηλαδή κάποιοι επιστήμονες κάθονταν σε ένα σκοτεινό δωμάτιο κοιτάζοντας να αναβοσβήνουν τα φώτα, αλλά στην ουσία αυτό αποτελούσε την πρώτη κβαντική διεμπλοκή που έχει παρατηρηθεί άμεσα με γυμνό μάτι.

Από την άλλη μεριά σε ένα άρθρο που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Nature, μια διεθνής ομάδα επιστημόνων υποστηρίζει πως επιβεβαίωσε πειραματικά ένα από τα πλέον θεμελιώδη φαινόμενα της κβαντικής φυσικής, δηλαδή ότι δύο υποατομικά σωματίδια μπορούν να αλληλεπιδρούν από απόσταση, ανεξάρτητα από το πόσο μεγάλη είναι αυτή, μεταβάλλοντας έτσι ακαριαία τις ιδιότητές τους.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με επικεφαλής ερευνητές του Πανεπιστημίου Τεχνολογίας του Ντελφτ και είναι ορόσημο στην ιστορία της φυσικής, αφού αποτελεί την πιο βάσιμη μέχρι σήμερα ένδειξη ότι δεν ισχύει η λεγόμενη «τοπικότητα» των πεδίων του Maxwell και Αϊνστάιν.

Σύμφωνα με την απατηλή ιδέα των πεδίων, καμία αλληλεπίδραση δεν μπορεί να διαδοθεί ταχύτερα από το φως, ενώ όταν δύο συστήματα που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους απομακρυνθούν πάρα πολύ, τότε διαχωρίζονται και δεν υπάρχει καμία αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

Σε μια τέτοια αρχή της τοπικότητας των πεδίων είχε βασισθεί ο Αϊνστάιν για να υποστηρίξει πως η κβαντική φυσική δεν είναι μία πλήρης θεωρία ώστε να μπορεί περιγράψει απόλυτα την πραγματικότητα.

Ένα παράδειγμα που χρησιμοποιείται για να περιγραφεί η κβαντική διεμπλοκή είναι όταν λόγω χάρη από την αποδιέγερση ενός σωματιδίου παράγονται δύο ηλεκτρόνια, τα οποία έχουν αντίθετα spin και κινούνται σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Με βάση την κβαντική φυσική, το spin κάθε ηλεκτρονίου βρίσκεται σε μία υπέρθεση καταστάσεων, κάτι που σημαίνει πως αποκτά δεδομένη τιμή μόνο όταν μετρηθεί. Ο τρόπος που παράχθηκαν τα ηλεκτρόνια σημαίνει όμως πως είναι «συσχετισμένα». Συνεπώς, αν μετρηθεί το spin του ενός ηλεκτρονίου, και πάρει συγκεκριμένη τιμή, θα πρέπει το άθροισμα των spin των δύο ηλεκτρονίων να συνεχίσει να είναι μηδενικό. Αυτό σημαίνει πως το δεύτερο ηλεκτρόνιο θα επηρεασθεί ακαριαία, όσο μακριά κι αν βρίσκεται, αποκτώντας αντίθετο spin.

Πάντως από τη δεκαετία του '70, αρκετά πειράματα έχουν δείξει ότι η θεμελιώδης δράση από απόσταση που έχει προβλεφθεί από το Νεύτωνα όντως ισχύει. Η διαφορά του νέου πειράματος, στο οποίο πήραν μέρος επίσης φυσικοί από την Ισπανία και την Αγγλία, είναι πως «κλείνει την πόρτα» σε εναλλακτικές ερμηνείες, όπως π.χ. την ύπαρξη τοπικά κρυμμένων μεταβλητών, δείχνοντας πως η μοναδική εξήγηση είναι ότι επιβεβαιώνεται περίτρανα ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα.

Το πείραμα έγινε στις εγκαταστάσεις του Ντελφτ, με τους επιστήμονες να χρησιμοποιούν ζεύγη «συσχετισμένων» ηλεκτρονίων, τα οποία «επικοινωνούσαν» μεταξύ τους από απόσταση 1,3 χιλιομέτρων. Σε κάθε άκρο της διάταξης είχε τοποθετηθεί από ένα διαμάντι με μια «παγίδα» για τα ηλεκτρόνια, ενώ με τη βοήθεια παλμών από μικροκύματα και λέιζερ γινόταν ο «συσχετισμός» των ηλεκτρονίων και η μέτρηση του spin τους. Η μεγάλη απόσταση των δύο διαμαντιών εξασφάλιζε πως τα ηλεκτρόνια δεν μπορούσαν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους με συμβατικό τρόπο, πριν μετρηθεί το spin τους.

Πάντως, ορισμένοι ειδικοί που δεν συμμετείχαν στο πείραμα, επηρεασμένοι από τα πεδία του Maxwell με τα σχόλιά τους υποστήριξαν πως παρόλο που όντως αποκλείονται οι περισσότερες εναλλακτικές ερμηνείες εντούτοις τα πειραματικά αποτελέσματα δεν θα μπορούσαν να δώσουν τελεσίδικη «απάντηση» στο “Spooky action at a distance” του Αϊνστάιν.

Ενδεικτικά, ο Ντέιβιντ Κάιζερ από το MIT ανέφερε στο σάιτ του περιοδικού The World Weekly πως αφήνει ανοικτό το ενδεχόμενο το ηλεκτρονικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για να γίνουν τυχαίες οι μετρήσεις να είναι προκαθορισμένο, με κάποιον τρόπο ο οποίος δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμος.

Ο Κάιζερ είναι επικεφαλής ενός φιλόδοξου πειράματος που χρηματοδοτείται από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών των ΗΠΑ και, σύντομα θα προσπαθήσει να αποδείξει την κβαντική διεμπλοκή χρησιμοποιώντας φωτόνια από κβάζαρ που βρίσκονται στις παρυφές του σύμπαντος και σε αντιδιαμετρικά σημεία.

Συμπερασματικά θα λέγαμε πως παρότι πάρα πολλά πειράματα της Κβαντικής Διεμπλοκής επιβεβαίωσαν τη θεμελιώδη ακαριαία δράση από απόσταση του τρίτου νόμου του Νεύτωνα, εντούτοις πολλοί φυσικοί κάτω από την επιρροή των κομψών εξισώσεων των πεδίων του Maxwell εκφράζουν ένα σκεπτικισμό που οδήγησε στο σημερινό αντιφατικό φαινόμενο να διδάσκεται ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα με παράλληλη διδασκαλία και των πεδίων του Maxwell. Για παράδειγμα στο βιβλίο ΦΥΣΙΚΗ των Halliday-Resnick (1976) Μέρος Α (σελ.87) για τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα διευκρινίζεται ότι “ Εδώ δεν έχουμε μια σχέση αιτίου και αποτελέσματος αλλά μια αμοιβαία ταυτόχρονη αλληλεπίδραση. Η ιδιότητα αυτή των δυνάμεων διατυπώθηκε για πρώτη φορά από το Νεύτωνα στον τρίτο νόμο του της κινήσεως.” Αντίθετα στο Μέρος Β διαβάζουμε ότι παρότι ο Νόμος του Coulomb διατυπώθηκε στα πλαίσια της ακαριαίας δράσης από απόσταση σε συμφωνία με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα εντούτοις κάτω από την επιρροή των απατηλών πεδίων στη σελίδα 18 διαβάζουμε: “ Την εποχή προ του Faraday, η δύναμη μεταξύ φορτισμένων σωμάτων εθεωρείτο σαν μια άμεση και στιγμιαία αλληλεπίδραση ανάμεσα στα δυο σώματα. Αυτή η εξ αποστάσεως δράση εθεωρείτο τόσο για τις μαγνητικές όσο και για τις δυνάμεις βαρύτητας.”

Επίσης στη σελίδα 19 διαβάζουμε: “ Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία προβλέπει ότι το ένα φορτίο μαθαίνει για την κίνηση του άλλου με μια διαταραχή πεδίου που κινείται με την ταχύτητα του φωτός. Και φυσικά για να μην συνεχίσει μια τέτοιου είδους σύγχυση και στο μέλλον που αναγκαστικά θα αναχαιτίζει την πρόοδο της επιστήμης θα έπρεπε η θεωρία του Maxwell να υποβληθεί σε μια αυστηρή κριτική όπως συνέβη και με την εργασία μου των [διπολικών φωτονίων](#) που παρουσιάστηκε στο παγκόσμιο συνέδριο “ [Frontiers of fundamental physics](#)” (1993) διότι στην επιλογή μας ανάμεσα σε νόμους και θεωρίες πάντοτε προέχουν οι νόμοι ως αποτέλεσμα λεπτομερών πειραμάτων και παρατηρήσεων. Αντίθετα τα συμπεράσματα του Αϊνστάιν στο τελευταίο κεφάλαιο “Η φυσική και η πραγματικότητα” του βιβλίου του “Η εξέλιξη των ιδεών στη φυσική” (1938) όπου ξεκινάει με τη φράση “ Η επιστήμη δεν είναι η συλλογή νόμων” θα πρέπει να μας προβληματίζουν και να απορρίπτονται εις όφελος της προόδου της επιστήμης απέναντι στις θεωρίες.

Σημαίνει όμως αυτό ότι η κβαντική θέα είναι λανθασμένη ή απλώς ότι είναι δύσκολο να την κατανοήσουμε; Ποιο θα ήταν το όφελος να αποδώσουμε στα φωτόνια επιπλέον ιδιότητες αν δεν υπάρχει αδιαμφισβήτητος τρόπος να ανακαλύψουμε ποιες είναι αυτές, ιδιαίτερα, μάλιστα, εφόσον δεν φαίνεται να προκαλούν την παραμικρή διαφοροποίηση στα αποτελέσματα των πειραμάτων;

Δεν υπάρχει απόλυτη πραγματικότητα

Το 1964, ο φυσικός John Bell του CERN, υπολόγισε μια μαθηματική ανισότητα που περιείχε το μέγιστο συσχετισμό μεταξύ των καταστάσεων των απομακρυσμένων σωματιδίων, σε πειράματα στα οποία διατηρούνται τρεις «λογικές» προϋποθέσεις:

1. Οι πειραματιστές έχουν ελεύθερη βούληση να καθορίσουν τα πράγματα όπως αυτοί θέλουν.
2. Οι ιδιότητες των σωματιδίων που μετριοούνται είναι πραγματικές και προϋπάρχουσες, κι όχι απλώς να αναδύονται κατά τη στιγμή της μέτρησης.
3. Κανένας συσχετισμός (επίδραση) δεν ταξιδεύει γρηγορότερα από ότι το φως, το κοσμικό όριο της ταχύτητας.

Όπως έχουν δείξει πολλά πειράματα από τότε, η κβαντική μηχανική παραβιάζει κανονικά την ανισότητα του Bell, παράγοντας επίπεδα συσχέτισης πάνω από αυτά που είναι δυνατόν, εάν ισχύουν και τις τρεις παραπάνω συνθήκες.

Το 1967 ο Σάμιον Κόχεν και ο Ερνστ Σπέκερ απέδειξαν μαθηματικά ότι ακόμη και σε ένα μεμονωμένο κβαντικό αντικείμενο, στο οποίο ο συσχετισμός δεν είναι δυνατός, οι τιμές που παίρνει κάποιος όταν μετράει τις ιδιότητές του εξαρτώνται από το γενικότερο πλαίσιο.

Ετσι η τιμή της ιδιότητας A, ας πούμε, εξαρτάται από το αν επιλέγει κάποιος να τη μετρήσει με την ιδιότητα B ή με την ιδιότητα Γ. Με άλλα λόγια, δεν υπάρχει πραγματικότητα ανεξάρτητη από την επιλογή του τρόπου μέτρησης.

Ο Νιλς Μπορ, ένας από τους γίγαντες της Κβαντικής Φυσικής, υπήρξε μεγάλος υπέρμαχος της ιδέας ότι η φύση της κβαντικής πραγματικότητας εξαρτάται από το τι επιλέγουμε να μετρήσουμε, μια έννοια την οποία αποκαλούσε «Ερμηνεία της Κοπεγχάγης».

Πάντως, όσο περίεργη κι αν ακούγεται, η κβαντική διεμπλοκή είναι ένα φυσικό φαινόμενο που παρατηρείται σε πειράματα μικρής και μεγάλης κλίμακας, και στο μέλλον πρόκειται να παίξει πρωτεύοντα ρόλο σε τομείς όπως η ανάπτυξη των κβαντικών υπολογιστών και η ασφάλεια των τηλεπικοινωνιών.