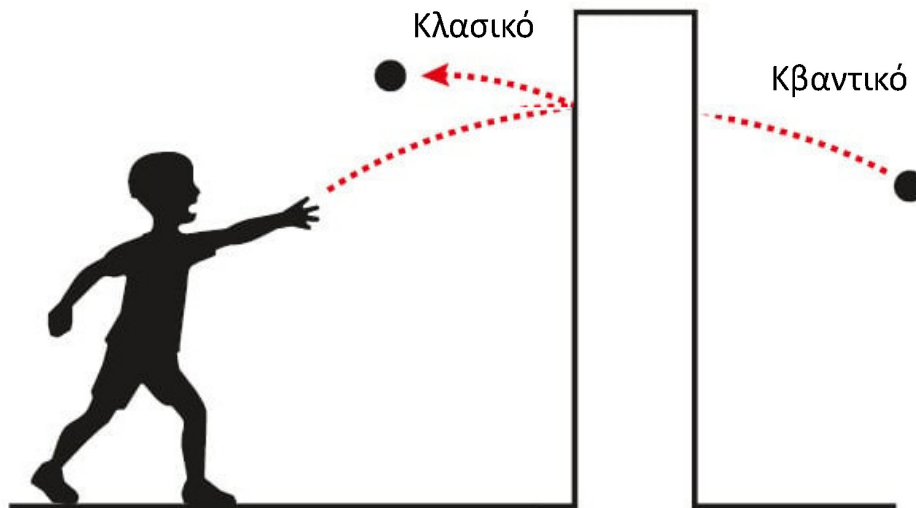


Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2025

Το Νόμπελ Φυσικής του 2025 απονέμεται στους John Clarke, Michel H. Devoret και John M. Martinis για την ανακάλυψη του μακροσκοπικού κβαντομηχανικού φαινομένου της σήραγγας (tunnelling) και της κβάντωσης της ενέργειας σε ηλεκτρικό κύκλωμα.

Το φαινόμενο της σήραγγας είναι μια ιδιότητα που αποδίδεται σε ένα κβαντικό σωματίδιο το οποίο, αν και διαθέτει ενέργεια χαμηλότερη από ένα ενεργειακό φράγμα δυναμικού, μπορεί να το διαπεράσει. Πρόκειται για καθαρά κβαντικό φαινόμενο, το οποίο είναι απόρροια της αρχής της αβεβαιότητας του Heisenberg, καθώς ένα κλασικό σωματίδιο δεν θα μπορούσε να υπερβεί το φράγμα αυτό. Στην πιο πάνω εικόνα ένα παιδί πετάει μια μπάλα σε ένα συμπαγή τοί-



χο. Κλασικά θα περιμέναμε η μπάλα αφού βρει στο τοίχο να ανακλαστεί από την πλευρά του παιδιού. Στον κβαντικό κόσμο όμως είναι δυνατόν να συμβεί κάτι ανάλογο με αυτό που φαίνεται στο σχήμα, δηλ. η μπάλα να διαπεράσει τον συμπαγή τοίχο μέσω του φαινομένου της σήραγγας, απλά η εμπειρία μας οδηγεί στο ότι στις κλίμακες που αντιλαμβανόμαστε άμεσα, αυτό δεν πρόκειται να συμβεί.

Κί όμως μπορεί να συμβεί κάτι που αγγίζει τα όρια του ασύλληπτου. Οι βραβευθέντες απέδειξαν ότι ένα ολόκληρο ηλεκτρικό κύκλωμα —που περιέχει δισεκατομμύρια ηλεκτρόνια— μπορεί να συμπεριφερθεί ως ενιαία κβαντική οντότητα με διακριτά ενεργειακά επίπεδα, όπως ακριβώς συμβαίνει με ένα μοναδικό σωματίδιο δεσμευμένο σε ένα δυναμικό με πολλά «πηγάδια» που χωρίζονται από ενεργειακά φράγματα. Ακόμη περισσότερο, έδειξαν ότι αυτή η οντότητα μπορεί να περάσει από το ένα «πηγάδι» στο άλλο χωρίς να αποκτήσει την ενέργεια που θα ήταν απαραίτητη σε ένα κλασικό σωματίδιο. Τη δεκαετία του 1980 οι τρεις επιστήμονες κατόρθωσαν να επιδείξουν αυτά τα φαινόμενα χρησιμοποιώντας κυκλώματα υπεραγωγών βασισμένα σε ενώσεις Josephson, μιας κβαντικής διάταξης που αποτελείται από δύο υπεραγωγούς που διαχωρίζονται από ένα λεπτό φράγμα μονωτή. Αν και τα υπεραγωγίμα τμήματα αποτελούνται από ζεύγη Cooper εν τούτοις αυτά συσχετίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκτήσουν μια κοινή φάση σαν να ήταν όλα μαζί ένα κβαντικό σωματίο. Αυτή η συσχέτιση στην φάση των ζευγών Cooper κατευθύνεται από το φαινόμενο της σήραγγας μεταξύ των δύο υπεραγωγών. Έτσι οι βραβευθέντες κατέγραψαν



Σε ένα κανονικό αγωγό τα ηλεκτρόνια σπρώχνονται μεταξύ τους και με το υλικό.



Σε ένα υπεραγωγό τα ηλεκτρόνια ζευγαρώνουν σε ζεύγη Cooper και ρέουν χωρίς αντίσταση. Το χάσμα παριστά την επαφή Josephson,



Τα ζεύγη Cooper συμπεριφέρονται σαν ένα σωματίο που γεμίζει όλο το κύκλωμα. Η κβαντική περιγραφή του συστήματος γίνεται μέσω μιας ολικής κυματοσυνάρτησης που περιγράφει την συλλογική κατάσταση του συστήματος. Οι ιδιότητες αυτής της κυματοσυνάρτησης ήταν το βασικό εργαλείο στο πείραμα των Clarke, Devoret και Martinis.

μεταβάσεις μέσω του φαινομένου της σήραγγας σε μακροσκοπική κλίμακα και

απέδειξαν ότι η απορρόφηση και η εκπομπή ενέργειας από αυτά τα κυκλώματα συμβαίνει σε διακριτές ποσότητες, όπως ακριβώς προβλέπει η κβαντική θεωρία. Η σημασία των πειραμάτων τους είναι τεράστια: απέδειξαν ότι η κβαντική συμπεριφορά δεν περιορίζεται σε μικροσκοπική κλίμακα, αλλά μπορεί να εκδηλωθεί και να μετρηθεί σε μεγαλύτερα συστήματα, ανοίγοντας τον δρόμο για εφαρμογές όπως οι κβαντικοί υπολογιστές, η κβαντική κρυπτογράφηση και οι υπερευαίσθητοι αισθητήρες.

Ο John Clarke διακρίνεται για τη συνεισφορά του στα συστήματα μέτρησης με υπεραγωγούς (όπως τα SQUIDS), ο Michel Devoret συνέβαλε τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά στην ανάπτυξη κατάλληλων διατάξεων, και ο John M. Martinis, μαθητής του Clarke, έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην πειραματική επιβεβαίωση της κβαντικής συμπεριφοράς σε κυκλώματα.

Πυλώνες στην ανάδειξη κβαντικής συμπεριφοράς σε κλίμακες πολύ μεγαλύτερες από αυτές του ατόμου αποτελούν μεταξύ άλλων η δημιουργία στο εργαστήριο του συμπυκνώματος Bose–Einstein από τους Eric Cornell, Wolfgang Ketterle και Carl Wieman (Νόμπελ Φυσικής το 2001), μιας κατάστασης που παρουσιάζει κβαντική συμπεριφορά στην κλίμακα μερικών μικρομέτρων (10–100). Αν θυμηθούμε ότι ένα μικρόμετρο είναι 10.000 Ångstrom και ότι η διάμετρος του ατόμου του υδρογόνου είναι περίπου μισό Ångstrom, μπορούμε να πούμε ότι το συμπύκνωμα Bose–Einstein επεκτείνει φαινόμενα που νομίζαμε ότι περιορίζονταν σε ένα δωμάτιο του σπιτιού μας, έως τα σύνορα μιας χώρας. Στην ίδια κατεύθυνση το 1999 ο Anton Zeilinger, ο Markus Arndt και η ομάδα τους πραγματοποίησαν ένα πείραμα που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως «πείραμα των δύο οπών», αλλά αυτή τη φορά με χρήση μακρομορίων — όπως το φουλερένιο, που αποτελείται από 60 άτομα άνθρακα. Παρότι τα μόρια αυτά είναι μακροσκοπικά (περίπου 10 Ångstrom) συγκριτικά με το ηλεκτρόνιο, το πείραμα του Zeilinger έδειξε καθαρά φαινόμενα συμβολής, όπως αυτά που παρατηρούνται στο κλασικό πείραμα των δύο οπών με ηλεκτρόνια ή φωτόνια. Πολύ πιο πρόσφατα, το 2017 ερευνητές της Κινεζικής Ακαδημίας Επιστημών, με επικεφαλής τον Jian-Wei Pan —μαθητή του Zeilinger— χρησιμοποίησαν τον δορυφόρο QUESS (Quantum Experiments at Space Scales) για να στείλουν εναγκαλισμένα ζεύγη φωτονίων σε επίγειους σταθμούς που απέιχαν μεταξύ τους 1.200 χλμ. Τα αποτελέσματα, δημοσιευμένα στο Science τον Ιούνιο του 2017, άνοιξαν τον δρόμο για τη δημιουργία του κβαντικού διαδικτύου και την

ανάπτυξη της κβαντικής κρυπτογραφίας.

Αυτά τα μεγάλα επιτεύγματα μαζί με την δουλειά των John Clarke, Michel H. Devoret και John M. Martinis ανοίγουν διάπλατα το δρόμο προς την ανίχνευση και διαχείριση της κβαντικής συμπεριφοράς της ύλης σε μακροσκοπικό επίπεδο αποτελώντας τα θεμέλια για μια νέα εποχή της ανθρωπότητας που θα στηρίζεται στην κβαντική τεχνολογία.

(Πηγές: APS Physics Magazin, Nobel Prize Committee)