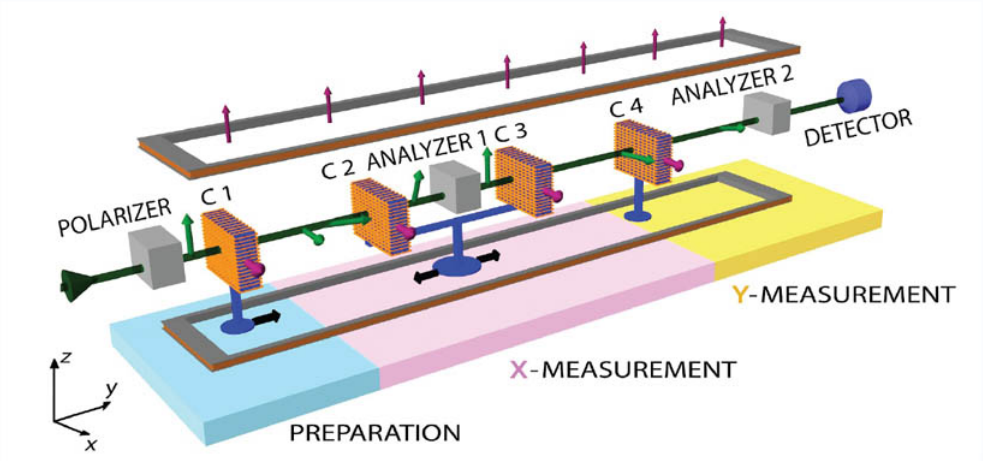
28 Απριλίου 2014

Κβαντική Μηχανική & Αρχή της Απροσδιοριστίας

/ Πεμπτουσία

Image not found or type unknown



Τα Νετρόνια Αναβιώνουν τις Πρώτες Ιδέες του Heisenberg για την Αρχή της Απροσδιοριστίας

Όταν ο Heisenberg πρότεινε για πρώτη φορά την Αρχή της Απροσδιοριστίας, χρησιμοποίησε μια εκδοχή της νοητικής συσκευής που είναι σήμερα γνωστή ως μικροσκόπιο του Heisenberg, όπου ένα φωτόνιο χρησιμοποιείται για να μετρηθεί η θέση ενός ηλεκτρονίου. Το φωτόνιο σε αυτό το πείραμα σκέψης σκεδάζεται από το ηλεκτρόνιο και στη συνέχεια ανιχνεύεται. Ο Heisenberg τόνισε ότι σε μια τέτοια μέτρηση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και το σφάλμα το οποίο είναι ενσωματωμένο στη μέτρηση και αναφέρεται στο σημείο στο οποίο πραγματοποιήθηκε η μέτρηση, μια ποσότητα γνωστή ως “σφάλμα”, αλλά και η ενσωματωμένη στη διαδικασία απροσδιοριστία στο πώς θα μεταβληθεί η ορμή του ηλεκτρονίου εξαιτίας της σκέδασης, μια ποσότητα που ονομάζεται “διαταραχή”. Ο Heisenberg απέδειξε ότι το γινόμενο αυτών των δύο ποσοτήτων σε ένα κβαντικό σύστημα δεν μπορεί να γίνει μικρότερο από μια συγκεκριμένη τιμή που σχετίζεται με τη σταθερά του Planck (που για την απλή περίπτωση της θέσης και της ορμής είναι h/2).

Στη συνέχεια όμως η αντίληψη για το “σφάλμα” και τη “διαταραχή” ξεχάστηκαν, καθώς έγινε αντιληπτό ότι υπήρχε μια πολύ βαθύτερη σχέση ανάμεσα στην Αρχή

της Απροσδιοριστίας και στην Κβαντική Μηχανική. Ο Heisenberg αλλά και όλοι όσοι στη συνέχεια χρησιμοποιούσαν την κβαντική μηχανική διατύπωναν την Αρχή της Απροσδιοριστίας χρησιμοποιώντας στατιστική περιγραφή: “Το γινόμενο των τυπικών στατιστικών αποκλίσεων της θέσης και της ορμής δεν μπορεί να είναι μικρότερο από τη συγκεκριμένη αυτή τιμή”. Αν και αυτή η διατύπωση είναι πολύ πιο γενική και καλύπτει πολύ σημαντικά ζητήματα της κβαντικής μηχανικής, υπήρχε πάντα ένα ενδιαφέρον για το τι συμβαίνει με την αρχική διατύπωση του Heisenberg.

Το 2003 ο Masanao Ozawa του Ιαπωνικού Πανεπιστημίου Tohoku διατύπωσε μια καινούργια γενική έκφραση της Αρχής της Απροσδιοριστίας, στην οποία περιέχονται το “σφάλμα” και η “διαταραχή”, όπως και οι συνηθισμένοι στατιστικοί όροι. Στη συνέχεια ο Ozawa και ο Yuji Hasegawa και οι συνεργάτες του στο Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Βιέννης προσπάθησαν να επιβεβαιώσουν αυτόν τον υπολογισμό χρησιμοποιώντας σπιν-πολωμένα νετρόνια. Αντί όμως να μετρήσουν τις συνηθισμένες ποσότητες της θέσης και της ορμής, μέτρησαν δύο κάθετες συνιστώσες του σπιν των νετρονίων, που είναι ποσότητες οι οποίες και αυτές υπακούουν στην Αρχή της Απροσδιοριστίας. Στο πείραμα μετρήθηκαν οι συνιστώσες του σπιν των νετρονίων στη διεύθυνση x και στη διεύθυνση y (που από την κβαντική μηχανική γνωρίζουμε ότι οι τελεστές τους δεν μετατίθενται, επομένως δεν μπορούν να μετρηθούν ταυτόχρονα με άπειρη ακρίβεια). Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν μαγνητικά πεδία για να περιστρέψουν τα σπιν στην κατάλληλη διεύθυνση που οι ερευνητές ήθελαν. Επίσης πραγματοποιήθηκε ένας μεγάλος αριθμός μετρήσεων, αφού πρώτα πραγματοποιούνταν μικρές αλλά καλά ορισμένες αλλαγές στον εξοπλισμό μέτρησης, ώστε οι ερευνητές να μπορούν να μελετήσουν τις διαφορετικές πηγές της απροσδιοριστίας.

Τελικά οι μετρήσεις επιβεβαίωσαν τη νέα διατύπωση της Αρχής της Απροσδιοριστίας του 2003. Συνεπώς η φύση είναι Απροσδιόριστη ακόμα και όταν δεν εξελίσσεται κάποια διαδικασία μέτρησης, καθώς υπάρχει η ενγενής απροσδιοριστία της κβαντικής φύσης των σωματιδίων.

1) Jacqueline Erhart, Stephan Sponar, Georg Su- lyok, Gerald Badurek, Masanao Ozawa, Yuji Hasegawa. Experimental demonstration of a universally valid error-disturbance uncertainty relation in spin measurements. Nature Physics, 2012; DOI: 10.1038/nphys2194.

2) Masanao Ozawa, Universally valid reformulation of the Heisenberg uncertainty principle on noise and disturbance in measurement, Phys. Rev. A 67, 042105-(1–6) (2003).

Σημείωση: το παρόν άρθρο δημοσιεύεται σε συνεργασία με το περιοδικό