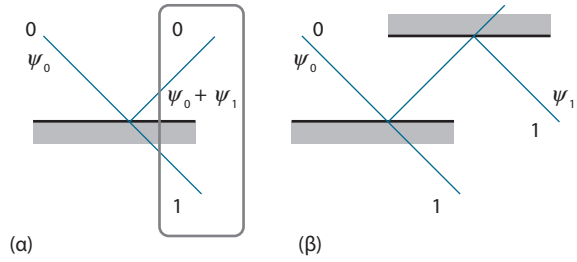
ΕΠΙΔΡΑΣΗ 11 **...ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ:**
Κβαντικοί υπολογιστές

Η κβαντομηχανική βρίσκεται στην καρδιά αυτού που μπορεί κάποια μέρα να αποδειχτεί επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται οι υπολογισμοί σε μια νέα γενιά υπολογιστών. Οι *κβαντικοί υπολογιστές* είναι δυνητικά ικανοί να επιλύουν σε δευτερόλεπτα προβλήματα που οι συμβατικοί υπολογιστές ενδεχομένως να αδυνατούσαν να λύσουν σε ολόκληρο τον χρόνο ύπαρξης του σύμπαντος. Μπορεί επίσης να υπονομεύσει μια από τις πιο πολύτιμες όψεις του εμπορίου, του πολέμου, και της διακυβέρνησης: τη μυστικότητα.

Οι συμβατικοί ψηφιακοί υπολογισμοί βασίζονται στον χειρισμό στοιχειοσειρών από 0 και 1, τα *bits* (από το «binary digits»). Το κάθε bit θα μπορούσε στην πράξη να υλοποιηθεί από τη φυσική κατάσταση ενός αντικειμένου, όπως μια διαφορά δυναμικού σε μια ημιαγώγιμη επαφή ή την κατάσταση πόλωσης (αριστερόστροφη κυκλική πόλωση ή δεξιόστροφη κυκλική πόλωση) ενός φωτονίου. Αυτές οι φυσικές καταστάσεις, που δηλώνονται με 0 ή 1, αναπαριστώνται από τις κυματοσυναρτήσεις ψ_0 και ψ_1, και ένας συμβατικός υπολογιστής μπορεί να θεωρηθεί ως μια συσκευή για την εκτέλεση πράξεων επί των $|\psi_0|^2$ και $|\psi_1|^2$. Μια κατάσταση στην κβαντομηχανική, ωστόσο, μπορεί να περιγραφεί από έναν γραμμικό συνδυασμό αυτών των κυματοσυναρτήσεων, όπως ο $c_0\psi_0 + c_1\psi_1$, με αυθαίρετες (ή, τουλάχιστον, καθορισμένες) τιμές των δύο συντελεστών και ένας κβαντικός υπολογιστής εκτελεί πράξεις επί των πλατών, και όχι επί των τετραγώνων των μέτρων τους. Μια υπέρθεση καταστάσεων όπως η $c_0\psi_0 + c_1\psi_1$ ονομάζεται *qubit* (από το «quantum bit»). Η κεντρική ιδέα των κβαντικών υπολογιστών αρχίζει να αναδύεται: αντί να εκτελούμε πράξεις σε ορισμένες καταστάσεις του συστήματος ανεξάρτητα, οι υπολογισμοί εκτελούνται σε αρκετές, και ίσως πολλές, καταστάσεις ταυτόχρονα.

Ο πυρήνας των συμβατικών υπολογισμών συνίσταται από διάφορα λογικά κυκλώματα όπως οι πύλες AND και NOT. Μια πύλη AND δίνει έξοδο 1 μόνο αν και οι δύο είσοδοι είναι 1, αλλιώς η έξοδος είναι 0· μια πύλη NOT δίνει έξοδο 0 αν η είσοδος είναι 1, και έξοδο 1 αν η είσοδος είναι 0. Οι συμβατικοί υπολογιστές συνδυάζουν αυτές και άλλες αποκαλούμενες «πράξεις Boole» και τις υλοποιούν μέσω διαφορών δυναμικού σε επαφές ημιαγωγών. Ίσως έχετε αντιληφθεί ότι, επειδή ένας κβαντικός υπολογιστής εκτελεί πράξεις στην κυματοσυνάρτηση και όχι στην πιθανότητα, τα λογικά κυκλώματα θα ενεργούν υπό κάποια έννοια ως η τετραγωνική ρίζα των συνήθων πράξεων Boole. Δηλαδή, αντί να δρα η NOT στα bits, θα δρα η τετραγωνική ρίζα της NOT (που συμβολίζεται με √NOT) στα qubits. Κάτι τέτοιο αποδεικνύεται ότι ισχύει.

Ως απλό παράδειγμα, θεωρούμε την √NOT προκειμένου να δούμε ότι έχει πραγματικό, φυσικά πραγματοποιήσιμο νόημα. Θεωρούμε τη διάταξη του Σχ. 1, όπου φαίνεται ένα φωτόνιο που προσπίπτει σε ένα ημιεπαργυρωμένο κάτοπτρο. Αν το φωτόνιο ανακλαστεί εισέρχεται σε αυτό που μπορεί να θεωρηθεί ως η κατάσταση 0 ενώ αν διέλθει εισέρχεται σε αυτό που μπορεί να θεωρηθεί ως η κατάσταση 1: οι καταστάσεις είναι φυσικά διακριτές αφού το φωτόνιο καταλαμβάνει διαφορετικά τμήματα του χώρου. Ωστόσο, επειδή δεν έχει γίνει κάποια παρατήρηση της θέσης του φωτονίου, οι πιθανότητες να βρεθεί σε οποιαδήποτε από τις δύο καταστάσεις είναι ίσες και το qubit, που τώρα περιγράφεται από τον γραμμικό συνδυασμό $c_0\psi_0 + c_1\psi_1$, έχει παραχθεί από την κατάσταση 0 (το προσπίπτον φωτόνιο ήταν πάνω από το κάτοπτρο). Αν ανιχνεύαμε το φωτόνιο, θα βρισκόταν κατά το ήμισυ του χρόνου πάνω από το κάτοπτρο (0) και κατά το ήμισυ κάτω (1).



Σχήμα 1 (α) Ένα φωτόνιο με κυματοσυνάρτηση ψ_0 προσπίπτει σε ένα ημιεπαργυρωμένο κάτοπτρο από το οποίο είτε ανακλάται (κατάσταση 0) ή το διαπερνά (κατάσταση 1)· η τελική κατάσταση είναι επομένως το qubit που αναπαριστάται από τον γραμμικό συνδυασμό $\psi_0 + \psi_1$. (β) Ο γραμμικός συνδυασμός $\psi_0 + \psi_1$ επανενώνεται δίνοντας ένα φωτόνιο που εξέρχεται κάτω από το δεύτερο ημιεπαργυρωμένο κάτοπτρο, με την κυματοσυνάρτηση ψ_1· δηλαδή, στην κατάσταση 1.

Τώρα υποθέτουμε ότι μια δεύτερη διάταξη ενώνεται με την πρώτη, όπως στο Σχ. 1β. Σύμφωνα με την κβαντική μηχανική, ο γραμμικός συνδυασμός $c_0\psi_0 + c_1\psi_1$ επανενώνεται στη δεύτερη διάταξη για να δώσει ένα φωτόνιο που εξέρχεται κάτω από το δεύτερο ημιεπαργυρωμένο κάτοπτρο δηλαδή, στην κατάσταση 1. Με άλλα λόγια, ο συνδυασμός των δύο διατάξεων δρα σαν μια πύλη NOT. Αυτό συνεπάγεται ότι κάθε επιμέρους συνιστώσα συνεισφέρει κατά ένα √NOT, επειδή η διαδοχή √NOT√NOT ισοδυναμεί με την NOT.

Η τεχνολογία των κβαντικών υπολογιστών είναι ακόμα σε αρχικό στάδιο, αλλά αρχίζει πλέον να χρησιμοποιείται σε πρακτικές εφαρμογές. Εννοιολογικά στηρίζεται στα αξιώματα της κβαντικής μηχανικής και θα χρησιμοποιεί τα κβαντωμένα πραγματικά συστήματα που συναντάμε στο βιβλίο.