

Κβαντικοί υπολογιστές:

Στο κατώφλι μιας τεχνολογικής

επανάστασης

Σε ορισμένα άρθρα μου στο παρελθόν, έχω “βουτήξει στα βαθιά νερά” και μαζι τράβηξα κι εσάς τους αναγνώστες μου, γράφοντας για εξειδικευμένα και πολύπλοκα θέματα, που απευθύνονται συνήθως σε ειδικούς. Όμως, η ιδέα μου είναι να εξετάζουμε, έστω ακροθιγώς, ένα αντικείμενο, μιας και εί-



Γράφει ο
Butas Tomazos
Μηχανολόγος,
Απόφοιτος Πολυτεχνείου
Μονάχου
e-mail: btomazos@gmail.com

να σημαντικό για όλους μας να ξέρουμε κάτι και να μην το αντιμετωπίζουμε, όταν παρουσιάζεται, σαν να ήρθε από το διάστημα.

Όλοι γνωρίζουμε την επίδραση που έχει στη ζωή μας η **εκθετική απόκτηση** της γνώσης, η οποία πιθανόν να χρειάστηκε εκατομμύρια χρόνια για να διπλασιαστεί και τώρα πλέον διπλασιάζεται σχεδόν κάθε δύο χρόνια ή και λιγότερο.

Άρα είναι επιτακτική ανάγκη, ειδικά για τους νέους, να παρακολουθούν τις εξελίξεις κατά το δυνατόν και να ξέρουν ορισμένα βασικά, π.χ. πώς λειτουργεί το εργαλείο της καθημερινότητάς τους, το κινητό τους. Σήμερα οι περισσότεροι χρησιμοποιούμε, λίγο ως πολύ, τους υπολογιστές· όμως τώρα έρχεται μια νέα γενιά, οι **κβαντικοί υπολογιστές**, οι οποίοι έχουν τεράστιες δυνατότητες εν συγκρίσει με τους κλασικούς.

Θυμάμαι στο Πολυτεχνείο, ένα από τα δυσκολότερα μαθήματα που είχαμε ήταν η θεωρητική φυσική, που περιελάμβανε την κβαντική θεωρία. Τη διατύπωσε πρώτος στις αρχές του 20ού αιώνα (1900) ο **Μαξ Πλανκ** και ακολούθησαν ο **Αϊνστάιν**, ο **Έρνεστ Ράδερφορντ**, ο **Νιλς Μπορ** και πολλοί άλλοι, που ασχολήθηκαν με την κβαντική θεωρία, η οποία εκείνη την εποχή προκαλούσε τουλάχιστον αμηχανία. Ακόμα και ο Αϊνστάιν συνέχισε να την αμφισβητεί μέχρι το τέλος της ζωής του, λέγοντας «ο Θεός δεν παίζει ζάρια με το σύμπαν», επειδή η κβαντική θεωρία βασίζεται σε πιθανότητες.

Παρά τις όποιες αμφισβητήσεις, η θεωρία της κβαντομηχανικής εξελίχθηκε και έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη και μελέτη της πυρηνικής φυσικής, των στοιχειωδών σωματιδίων, τη κβαντική χημεία, εμβάθυνε στη μελέτη των ημιαγωγών και την εφεύρεση των τρανζίστορ, οδηγώντας στην «ηλεκτρονική επανάσταση», ερμηνεύοντας τις εσωτερικές διαδικασίες των άστρων, εφευρίσκοντας τα λεί-ζερ, ανακαλύπτοντας την υπεραγωγι-μότητα κ.ά.

Η **βασική ιδέα** της θεωρίας είναι ότι σε κάθε πεδίο, η αλληλεπίδραση πραγματοποιείται με τη **μεταφορά** ενός σωματιδίου, που ονομάζεται κβάντο του πεδίου, από το ένα σωματίδιο στο άλλο. Για παράδειγμα το κβάντο του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι το φωτόνιο.

Το κβαντικό bit, ή συνηθέστερα το **qubit**, είναι η στοιχειώδης μονάδα κβαντικής πληροφορίας. Οι κλασικοί υπολογιστές επεξεργάζονται δεδομένα σε bits - μεμονωμένες μονάδες πληροφορίας που μπορούν να είναι είτε 1 είτε 0. Αυτό είναι το δομικό στοιχείο όλων των ψηφιακών υπολογισμών. Οι κβαντικοί υπολογιστές βασίζονται σε qubits, τα οποία λόγω της **κβαντικής υπέρθεσης** (αθροίσματος) **μπορούν να είναι 1 και 0 ταυτόχρονα**.

Επειδή τα δεδομένα του μπορούν να υπάρχουν σε πολλαπλές καταστάσεις, ένας κβαντικός υπολογιστής μπορεί να εκτελεί **πολλαπλές λειτουργίες** ταυτόχρονα αντί για μία προς μία.

Μια αριθμητική σύγκριση των δύο συστημάτων είναι η εξής :

Ενώ οι παραδοσιακοί υπολογιστές, όπως προσε-νέφερα, βασίζονται σε δυαδικά bits, δηλαδή ένας διακόπτης είναι είτε ενεργοποιημένος είτε απενεργοποιημένος, που συμβολίζεται από το 1 και το 0, τα qubits που στηρίζουν την κβαντική πληροφορική είναι μικροσκοπικά υποατομικά σωματίδια που μπορούν να υπάρχουν σε κάποιο ποσοστό και στις **δύο καταστάσεις ταυτόχρονα, όπως ένα νόμισμα που περιστρέφεται στον αέρα και είναι κορώνα και γράμματα την ίδια στιγμή**.

Μπροστά σε μια επανάσταση Πολύπλοκα προβλήματα, για τα οποία σήμερα οι ισχυρότεροι υπολογιστές χρειάζονται πολλά **χρόνια**, θα μπορούσαν ενδεχομένως να λυθούν από τους κβαντικούς υπολογιστές σε **δευτερόλεπτα**. Οι βιομηχανικές **χρήσεις** της κβαντικής τεχνολογίας είναι **απεριόριστες**. Π.χ. για τη δημιουργία ενός νέου μοντέλου αυτοκινήτου, μόνο οι αξιόπιστες προσημειωμένες δοκιμές μετωπικής σύγκρουσης μπορούν να εξοικονομήσουν μέχρι και έξι μήνες στην όλη διαδικασία. Επίσης, η κβαντική πληροφορική μπορεί να βοηθήσει ώστε να βρεθεί το νέο βέλτιστο μεταξύ σχεδιασμού, μέγιστου εσωτερικού χώρου και καλύτερης αεροδυναμικής.

Οι σύγχρονες επιχειρήσεις βρίθουν προβλημάτων βελτιστοποίησης που ταιριάζουν ιδανικά σε κβαντικούς αλγορίθμους και θα μπορούσαν να εξοικονομήσουν **χρόνο, ενέργεια** και πόρους.

Θυμάμαι, όταν τελείωσα το Πολυτεχνείο στο Μόναχο, το 1960, προσελήφθη στους ατομικούς αντιδραστήρες στη Siemens ως μηχανολόγος. Μου έδωσαν να υπολογίσω, μαζί με μια ομάδα υπομηχανικών, τις θερμικές τάσεις στο σφαιρικό καπάκι του αντιδραστήρα, που ήταν στη ουσία ένας πολύ μεγάλος κύλινδρος, διαμέτρου 2,5 μέτρων με δύο σφαιρικά καπάκια.

Εμείς υπολογίζαμε τότε με τον λογαριθμικό κανόνα, χρησιμοποιώντας ορισμένες εξισώσεις. Όταν αργότερα πήγα στην General Electric και συμμετείχα σε ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα, έδωσα την εξίσωση αυτή και σε μια εβδομάδα περίπου, με ένα κομπιούτερ που η διάστασή του ήταν όσο ένα μεγάλο δωμάτιο, βγάλαμε πολύ περισσότερα προσομοιωτικά αποτελέσματα από ό,τι είχαμε βγάλει όλοι μαζί τον ενάμιση χρόνο που δουλεύαμε πάνω σε αυτό. Φανταστείτε πόσο έχουν εξελιχθεί σήμερα τα πράγματα, αφού εκείνος ο τεράστιος υπολογιστής είχε τις ίδιες δυνατότητες, ίσως και λιγότερες, από ένα microchip του κινητού σας.

Η κβαντική τεχνολογία είναι επίσης πιο εναρμονισμένη με τη φύση. Τα μόρια-τα δομικά στοιχεία του σύμπαντος- είναι πολλαπλά άτομα που συνδέονται μεταξύ τους με ηλεκτρόνια που υπάρχουν ως μέρος του καθενός. Ο τρόπος με τον οποίο αυτά τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν ουσιαστικά δύο καταστάσεις ταυτόχρονα, είναι αυτό που αναπαράγουν τα κβαντικά σωματίδια, παρουσιάζο-

ντας **εφαρμογές** για τις **φυσικές επιστήμες**, προβλέποντας τον τρόπο με τον οποίο τα φάρμακα αλληλεπιδρούν με το ανθρώπινο σώμα ή τα μέταλλα υφίστανται διάβρωση. Ενώ η παραδοσιακή κατασκευή απαιτεί υπολογισμένες εικασίες για την πραγματοποίηση ανακαλύψεων μέσω δοκιμής και λάθους, αντικατοπτρίζοντας τον φυσικό κόσμο, η κβαντική θα πρέπει να επιτρέπει τον **σκόπιμο σχεδιασμό των προόδων**.

Τα τελευταία χρόνια, που οι μεγαλύτερες εταιρείες του κόσμου, μαζί με εκατοντάδες νεοφυείς επιχειρήσεις, αγωνίζονται να αξιοποιήσουν την κβαντική τεχνολογία, η **IBM** έχει αναδειχθεί σε ηγέτη του κλάδου. Σήμερα, η εταιρεία **διαθέτει περισσότερους από 60 λειτουργικούς** κβαντικούς υπολογιστές **-περισσότερους από ό,τι όλος ο υπόλοιπος κόσμος μαζί-** και μια λίστα συνεργατών που περιλαμβάνει τίτάνες, σχεδόν κάθε κλάδου της βιομηχανίας, από την Exxon-Mobil έως τη Sony. Πρόκειται για μια ευπρόσδεκτη **επιστροφή στο ζενίθ** της τεχνολογίας για την ιστορική εταιρεία, η οποία **ιδρύθηκε πριν από έναν αιώνα** για την παραγωγή ταμειακών μηχανών που τροποδοτούνταν με κάρτες διάτρησης. Τα τελευταία χρόνια, η IBM είχε μείνει πίσω από αντιπάλους όπως η Apple και η Microsoft, καθώς δεν ανέλαβε την πρωτοβουλία με το cloud computing και την τεχνητή νοημοσύνη. Η κβαντική προσφέρει κάποια **εξίλεψη**.

Ο πονοκέφαλος της κυβερνοασφάλειας

Μια καταγίδια πρόσφατων ανακαλύψεων και κυβερνητικών επενδύσεων δείχνει ότι βρισκόμαστε στο κατώφλι μιας κβαντικής επανάστασης. Όμως, κάθε μεγάλη αλλαγή ενέχει και κινδύνους, και η κβαντική τεχνολογία έχει γίνει πονοκέφαλος για την **εθνική ασφάλεια** κάθε χώρας. Η ικανότητά της να επιλύει προβλήματα, θα καταστήσει σύντομα όλη την υπάρχουσα **κρυπτογραφία** παραωχημένη, θέτοντας σε κίνδυνο τις επικοινωνίες, τις οικονομικές συναλλαγές, ακόμη και τις στρατιωτικές άμυνες.

«Ο κόσμος περιγράφει την **κβαντική τεχνολογία** ως μια νέα **διαστημική κούρσα**», λέει ο Dan O’Shea, διευθυντής επιχειρήσεων για την Inside Quantum Technology, μια βιομηχανική έκδοση.

Τον περασμένο Οκτώβριο, ο πρόεδρος των ΗΠΑ Τζο Μπάιντεν ξαναγήθηκε στο κβαντικό κέντρο δεδομένων της **IBM** στο Roughkeepsie της Νέας Υόρκης, χαρακτηρίζοντας την κβαντική «ζωτικής σημασίας για την οικονομία μας και εξίσου σημαντική για την εθνική μας ασφάλεια». Σε αυτή τη νέα εποχή του ανταγωνισμού των μεγάλων δυνάμεων, η Κίνα και οι ΗΠΑ εμφανίζονται ιδιαίτερα αποφασισμένες να κατακτήσουν την τεχνολογία για να μη χάσουν ζωτικό έδαφος. «Αυτή η τεχνολογία θα είναι η επόμενη βιομηχανική επανάσταση», λέει ο Tony Uttley, πρόεδρος και COO της Quantinuum, μιας εταιρείας με έδρα το Κολοράντο που προσφέρει εμπορικές κβαντικές εφαρμογές. **«Είναι σαν την αρχή του διαδικτύου ή την αρχή της κλασικής πληροφορικής»**.

Σήμερα, σχεδόν όλη η κυβερνοασφάλεια -είτε πρόκειται για μηνύματα WhatsApp, τραπεζικές μεταφορές ή ψηφιακές χειραψίες- βασίζεται στον **RSA**, έναν αλγόριθμο ασύμμετρης κρυπτογραφίας που χρησιμοποιείται για την ασφαλή μεταφορά δεδομένων. Αλλά ενώ ένας κανονικός υπολογιστής χρειάζεται δισεκατομμύρια χρόνια για να σπάσει τον RSA, ένας γρήγορος κβαντικός υπολογιστής θα χρειαζόταν μόλις ώρες. Τον Δεκέμβριο, μια ομάδα επιστημόνων στην Κίνα δημοσίευσε μια εργασία που ισχυριζόταν ότι είχε έναν κβαντικό αλγόριθμο που θα μπορούσε να σπάσει τον RSA με έναν υπολογιστή 372 qubit (αν και τα συμπεράσματά της αμφισβητούνται έντονα). Ο αγώνας δρόμου έχει πλέον ξεκινήσει για την επινόηση της **μετα-κβαντικής ασφάλειας** - μια δουλειά που ανατίθεται στο **Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας** των ΗΠΑ, ή NIST.

Παρόλο που οι κβαντικοί υπολογιστές, που είναι αρκετά ισχυροί για να σπάσουν τον RSA, απέχουν μερικά χρόνια από το να είναι ανοιχτά διαθέσιμοι, οι **χάκερς** ήδη κατάσχουν και αποθηκεύουν ευαίσθητα δεδομένα γνωρίζοντας ότι θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτά μέσω κβαντικών υπολογιστών πολύ σύντομα. Ο σύγχρονος πόλεμος και οι μηχανισμοί εθνικής ασφάλειας βασίζονται στην **ταχύτητα** και την **ακρίβεια** της λήψης αποφάσεων.

Ο τρόμος που συνοδεύει την κβαντική τεχνολογία δεν προέρχεται μόνον από τους κινδύνους ασφαλείας. Εμπιστευόμαστε τους κλασικούς υπολογιστές εν μέρει, επειδή μπορούμε να **επαληθεύουμε** τους υπολογισμούς τους με στυλό και χαρτί. Όμως οι κβαντικοί υπολογιστές περιλαμβάνουν τόσο απόκρυφη φυσική και αντιμετωπίζουν τόσο πολύπλοκα προβλήματα, που η παραδοσιακή επαλήθευση είναι εξαιρετικά δύσκολη. Προς το παρόν, είναι δυνατή η προσομοίωση πολλών κβαντικών υπολογισμών σε έναν παραδοσιακό υπερυπολογιστή για να ελέγξουμε το αποτέλεσμα. Σύντομα όμως, θα έρθει η στιγμή που η εμπιστοσύνη σε έναν κβαντικό υπολογιστή θα απαιτεί ένα **“άλλα πίστη”**.

Υπάρχουν ακόμα, πολλοί διαταγμοί για τους κβαντικούς υπολογιστές, αλλά κάνοντάς τους ανοικτού κώδικα και καλωσορίζοντας ακαδημαϊκούς και επιχειρηματίες από παντού, η εταιρεία IBM ελπίζει να μετριάσει τους διαταγμούς. Η αλήθεια είναι ότι για κάθε καινούργιο πάντα υπάρχουν αμφιβολίες, διαταγμοί και άγχος προκειμένου να βρεθούν λύσεις και θα πρέπει να μετριάσουμε αυτές τις αμφιβολίες και τις όποιες αναστολές.

Η παγκόσμια βιομηχανία κβαντικών υπολογιστών προβλέπεται να αυξηθεί από **412 εκατομμύρια** δολάρια το **2020** σε **8,6 δισεκατομμύρια** δολάρια το 2027, σύμφωνα με ανάλυση της International Data Corp.

Τα τελευταία χρόνια η κβαντική τεχνολογία έχει μετακινηθεί **από υποσημείωση, στην κορυφή** της παγκόσμιας ατζέντας για την ασφάλεια. Μέχρι σήμερα, 17 χώρες διαθέτουν εθνικές στρατηγικές για την κβαντική ασφάλεια και άλλες τέσσερις τις αναπτύσσουν. Η **Κίνα** έχει επενδύσει περίπου 25 δισεκατομμύρια δολάρια στην κβαντική έρευνα από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, σύμφωνα με το Quantum Computing Report και κατέστησε την κατάκτηση της κβαντικής τεχνολογίας προτεραιότητα πολιτικής.

Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ, από τα πάνω από 30 δισεκατομμύρια δολάρια που δαπανήθηκαν παγκοσμίως για την κβαντική τεχνολογία πέρυσι, η Κίνα κάλυψε περίπου τα μισά, η Ε.Ε. σχεδόν το ένα τέταρτο και τα υπόλοιπα ο υπόλοιπος κόσμος. Παρόλο που η IBM είναι ηγέτης, εντούτοις υπάρχουν πιέσεις να αυξηθούν τα κονδύλια στις ΗΠΑ με ένα πρότζεκτ που ονομάζεται **Μανχάταν** και νομίζω και οι ΗΠΑ, πέραν του Μανχάταν, θα αυξήσουν ακόμα περισσότερο τα κονδύλια.

Να προλάβουμε το τρένο της ανάπτυξης Ας ελπίσουμε ότι και εμείς, στην Ελλάδα, θα έχουμε την οικονομική δυνατότητα να ασχοληθούμε πιο εντατικά με το θέμα. Λίγο πριν την 5η βιομηχανική επανάσταση, οι περισσότερες χώρες αυξάνουν το ποσοστό του ΑΕΠ που ξοδεύουν για έρευνα και ανάπτυξη. Η **Ελλάδα** για πολλά χρόνια, δαπανούσε **0,5%-0,6% του ΑΕΠ** και από το 2011 μέχρι σήμερα έχει μια ικανοποιητική ανοδική πορεία, η οποία είναι στο **1,4%** και πρέπει να αυξηθεί περισσότερο, δεδομένου ότι υπολείπεται των περισσότερων Ευρωπαϊκών χωρών, οι οποίες είναι από 2,5-5%.

Θεωρώ ότι έχουμε τις προϋποθέσεις, πανεπιστήμια, ινστιτούτα και ιδιωτικές επιχειρήσεις που μπορούν να συμβάλλουν σε αυτόν τον τομέα. Επίσης έχουμε το σημαντικότερο, το **ανθρώπινο δυναμικό**, πολλούς αξιόλογους επιστήμονες σε αυτόν τον κλάδο, που ευτυχώς, παρέμειναν στην Ελλάδα, πέραν των 500.000 που έφυγαν στο εξωτερικό λόγω κρίσης. Και βέβαια, αυτό είναι μια ευκαιρία να επισπευστεί το **brain gain**, που είναι επιθυμία πολλών, αν αλλάξουν οι συνθήκες εργασίας στη χώρα. Παρ’ενθεντικά, καταθέτω την προσωπική μου εμπειρία, λόγω πολλών χρόνων δουλειάς σε μικρές πόλεις της Γερμανίας και της Αμερικής, παρόλο που η περίπτωση μου ήταν πολύ πιο δύσκολη, δεδομένου ότι η διαφορά του βιοτικού επιπέδου ήταν πιο μεγάλη από ό,τι είναι σήμερα. Θυμάμαι πόσο μου ήταν δύσκολο να προσαρμοστώ εκεί, που έβρεχε συχνά και ξαφνικά, που τα πάντα έκλειναν τις καθημερινές στις 10 το βράδυ, ακόμα και κάποια ελληνική ταβέρνα, αν υπήρχε, που τη θάλασσα τη βλέπαμε με το τηλεσκόπιο, το νερό στις λίμνες ήταν παγωμένο, σκοτεινό και σε απώθοüse να κολυμπήσεις, σε αντίθεση με τη θάλασσα στην Ελλάδα, που στα περισσότερα νησιά μας με νημενία μπορείς να δεις μέχρι και σε 20 μέτρα βάθος. Όλα αυτά τα μικρά και μεγάλα της καθημερινότητας δεν συνάδουν με το modus vivendi που εμείς οι Έλληνες έχουμε συνηθίσει, γι’ αυτό πιστεύω ότι και με μικρότερη αμοιβή, πολλοί από τους επιστήμονες θα ήθελαν να επιστρέψουν.

Το “διά ταύτα μου” είναι ότι πρέπει αφενός εμείς, ως άτομα, να έχουμε σκοπό και όραμά μας την, κατά το δυνατόν, **εξοκειώσή** μας με αυτή τη **μοντέρνα τεχνολογία** και αφετέρου το κράτος και οι επιχειρήσεις να **αυξήσουν** τις **δαπάνες** για την έρευνα και την τεχνολογία στην Ελλάδα. Επίσης, είναι αναγκαίο να υπάρχει στενή **συνεργασία** των **πανεπιστημίων** με τη **βιομηχανία**, ώστε να δοθεί και σ’ εμάς η ευκαιρία να πάρουμε ένα μεγαλύτερο, αναλογικά, κομμάτι από αυτή τη μεγάλη πίτα και να **εδραιώσουμε** τη θέση μας στο τρένο της ανάπτυξης.

Πηγές: Μτάζατα-Google, The Times, Economist, Bloomberg