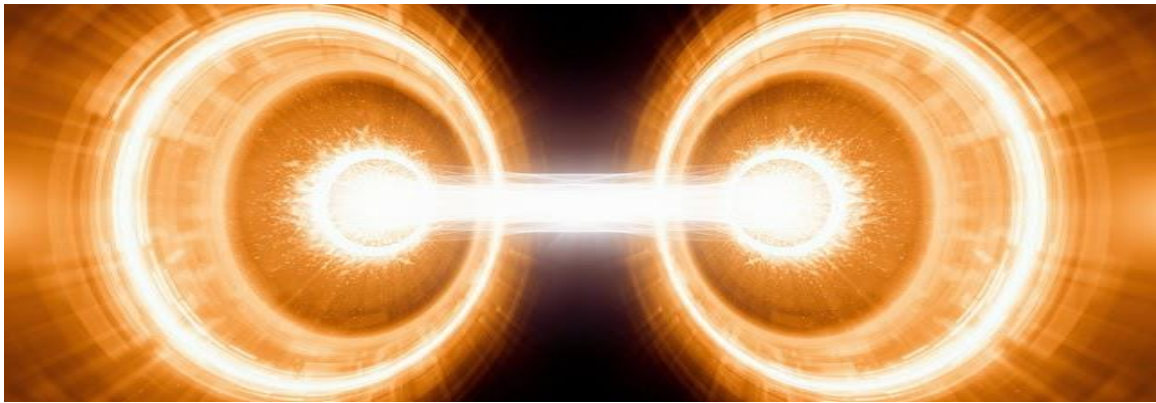




## ΑΡΣΑΚΕΙΟ ΓΕΝΙΚΟ ΛΥΚΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ (PROJECT)  
Α΄ ΛΥΚΕΙΟΥ

### « ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΤΗΛΕΜΕΤΑΦΟΡΑ »



Οι ομάδες εργασίας των μαθητών:

STAR TRECK: Χ.ΒΑΡΤΖΟΠΟΥΛΟΣ Ν.ΒΑΣΙΛΟΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ, Σ.ΚΑΝΙΟΥΡΑ,  
Λ.ΜΠΕΧΛΙΒΑΝΙΔΟΥ, Θ.ΠΟΛΙΟΥ

ΚΒΑΝΤΑ: Α.ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ, Γ.ΚΑΖΙΛΗΣ, Α. ΜΙΛΑΝΟΥ, Σ.ΝΙΚΟΛΑΙΔΟΥ

ΦΩΣ ΣΤΟ ΤΟΥΝΕΛ: Θ.ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΥ, Α.ΓΙΑΝΝΙΩΤΟΥ,  
Π.ΚΕΔΙΚΟΓΛΟΥ, Μ.ΜΑΔΕΜΛΗ, Α.ΜΠΑΛΑΚΑΝΑΚΗ,

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΧΡΥΣΟΒΕΡΓΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

## ΟΡΙΣΜΟΣ

Η τηλεμεταφορά είναι το όνομα που δόθηκε αρχικά από τους συγγραφείς επιστημονικής φαντασίας, στην εξαφάνιση ενός αντικείμενου ή ακόμη και ενός ανθρώπου, και στην εμφάνισή του σαν τέλειο αντίγραφο κάπου αλλού.

Στα διηγήματα αυτά, συνήθως η τηλεμεταφορά παραβιάζει πολλές αρχές της κβαντομηχανικής, αλλά και το όριο της ταχύτητας του φωτός, που προβλέπεται από την θεωρία της σχετικότητας του Einstein, γιατί θεωρούν πως γίνεται αυτή η μεταφορά ακαριαία.

## Με λίγα λόγια

Μια μηχανή τηλεμεταφοράς αν υπήρχε, θα ήταν σαν μια μηχανή fax η οποία θα λειτουργούσε με 3-διάστατα αντικείμενα.

Αυτή θα παρήγαγε ένα ακριβές αντίγραφο του αντικείμενου και όχι μια κόπια κατά προσέγγιση, συγχρόνως θα κατέστρεφε το αρχικό αντικείμενο, στο στάδιο της σάρωσης ή ανάλυσής του.

Πώς όμως αυτή η μεταφορά ολοκληρώνεται, συνήθως δεν μας το εξηγούν λεπτομερώς, αλλά η γενική ιδέα φαίνεται να είναι ότι το αρχικό αντικείμενο αναλύεται ή σαρώνεται από ειδικά μηχανήματα, με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξαχθούν όλες οι πληροφορίες από αυτό.

Κατόπιν όλες αυτές οι πληροφορίες του αντικείμενου, διαβιβάζονται με πομπό, στη θέση που θα εμφανιστεί το αντικείμενο, και χρησιμοποιούνται για να ανακατασκευάσουν το αντίγραφο, όχι απαραίτητα με το πραγματικό υλικό του αρχικού, αλλά ίσως από άτομα του ίδιου είδους, που όμως τακτοποιούνται ακριβώς στην ίδια θέση με βάση το πρωτότυπο σχέδιο.



*Εικόνα 1: Ο Άντον Τσάιλινγκερ*

Το 1998 πρώτος ο Άντον Τσάιλινγκερ και οι συνεργάτες του κατάφεραν να τηλεμεταφέρουν την πρώτη φωτεινή κβαντική πληροφορία με σημαντικά ποσοστά επιτυχίας μεγαλύτερα του 40%.

## 1. ΠΡΩΤΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΗΛΕΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

### 1.1 ΤΡΙΓΩΝΟ ΒΕΡΜΟΥΔΩΝ

Το περίφημο τρίγωνο βρίσκεται ανάμεσα στις Βερμούδες, το Μαϊάμι και το Σαν Χουάν του Πουέρτο Ρίκο, καλύπτοντας μια τεράστια θαλάσσια περιοχή 500.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Αρκετά είναι τα περιστατικά που θεωρείται πως σχετίζονται με το μυστήριο της περιοχής και χρονολογούνται από το μακρινό παρελθόν, (η εξαφάνιση του γαλλικού πλοίου *Rosalie* το 1840 ή αυτή του πλοίου *Cyclops* το 1918), όμως το γεγονός που κατέστησε το Τρίγωνο των Βερμούδων ως ένα από τα μεγαλύτερα μυστήρια του κόσμου ήταν η διάσημη Πτήση 19, για την ακρίβεια η εξαφάνισή της. Κάποιοι πιστεύουν μάλιστα ότι στην περιοχή του υπάρχει η πύλη που οδηγεί σε άλλους πλανήτες. Η πύλη υπάρχει λέει μια άλλη εκδοχή, αλλά οδηγεί σε ένα ταξίδι στο χρόνο, ή σε μια άλλη διάσταση ή και στον κάτω κόσμο υποστηρίζουν άλλες θεωρίες, οι οποίες συνέχισαν την προσπάθεια να εξηγήσουν το πώς γίνεται τόσο μεγάλα πλοία και αεροπλάνα να εξαφανίζονται ξαφνικά χωρίς να αφήνουν ίχνη. Το Τρίγωνο των Βερμούδων, ως φαινόμενο, το οποίο αντιστοιχεί σε μυστηριώδεις εξαφανίσεις παραμένει απλώς ανεξήγητο...



Εικόνα 2: Το τρίγωνο των Βερμούδων

## 1.2 ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΗΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ

Αλλιώς «project Rainbow» ήταν ένα πείραμα που διεξήγαγε το Αμερικανικό Πολεμικό Ναυτικό τον Οκτώβριο του 1943 (την 28η του μήνα στις 7.15 π.μ. σύμφωνα με μερικές πηγές) στη Φιλαδέλφεια (εξ' ου και το όνομα «Philadelphia Experiment»). Τον Ιούλιο του 1943, το αμερικανικό αντιτορπιλικό Eldridge προσάραξε στις αποβάθρες του Delaware για ένα πείραμα του αμερικανικού ναυτικού που είχε σκοπό να κάνει το πλοίο αόρατο.

Ο στόχος αυτού του πειράματος, παραμένει στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος ακόμη και σήμερα καθώς υπάρχει μεγάλη σύγχυση ως προς το τι ήθελαν να πετύχουν και τι τελικά πέτυχαν με αυτό το πείραμα, και αν όντως έγινε. Προτού όμως μελετήσουμε διεξοδικά τα δεδομένα αυτού του πειράματος, θα πρέπει να διευκρινιστεί αυτή η σύγχυση. Αυτό που υποστηρίζεται από την πλευρά των υπέρμαχων του πειράματος αυτού, είναι ότι ένα αντιτορπιλικό πλοίο συνοδείας της κλάσης Cannon, με όνομα DE-173 Eldridge, εξαφανίστηκε από το λιμάνι της Φιλαδέλφειας που βρίσκεται στην Πενσυλβάνια μέσα σε μια πυκνή πράσινη ομίχλη και εμφανίστηκε μετά από 15



Εικόνα 3: Το αντιτορπιλικό Eldridge

λεπτά στο λιμάνι του Norfolk στη Virginia (απόσταση που θα απαιτούσε περίπου 24 ώρες ταξιδιού) και έπειτα επανεμφανίστηκε στη Φιλαδέλφεια. Σύμφωνα με την θεωρία της τεχνητής αφάνειας το πλοίο ήταν εξοπλισμένο με γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων οι οποίες θα το έκαναν αόρατο, θερμαίνοντας τον περιβάλλοντα αέρα και το νερό. Όπως υποστηρίζεται, κάτι τέτοιο είναι πράγματι δυνατόν να γίνει με τα κατάλληλα μέσα, προκαλώντας ουσιαστικά έναν αντικατοπτρισμό.

Σε πρώτη φάση το πείραμα προέβλεπε την περιτύλιξη του

σκελετού του αντιτορπιλικού με σύρμα, σε μια προσπάθεια αδρανοποίησης των μαγνητικών πεδίων που προκαλούνταν από το μέταλλο του. Αυτό είναι γνωστό ως απομαγνήτιση. Κάτι τέτοιο θα καθιστούσε το σκάφος αόρατο σε υποβρύχιες μαγνητικές νάρκες, οι οποίες βασίζονται σε αισθητήρες εγγύτητας για να πυροδοτηθούν. Αυτοί οι αισθητήρες λειτουργούν ανιχνεύοντας μαγνητικά πεδία γύρω από το πλοίο. Συνεπώς, το πλοίο θα ήταν ικανό να διασχίσει περιοχές παγιδευμένες με τέτοιες νάρκες, αόρατο ως προς αυτές, αλλά όχι και ως προς τα ραντάρ η την όραση.

Αυτό που πιστεύει όμως μια κατηγορία επιστημόνων και ερευνητών είναι ότι στο πείραμα της Φιλαδέλφειας το αντιτορπιλικό, πραγματικά εξαφανίστηκε και τηλεμεταφέρθηκε μέσα στο χώρο και το χρόνο. Υποτίθεται ότι στο πείραμα συμμετείχε πλήθος διακεκριμένων επιστημόνων, ανάμεσα στους οποίους ήταν ο Nikola Tesla και ο Albert Einstein. Ωστόσο ο Τέσλα είχε ήδη πεθάνει προ μηνών. Η θεωρεία υποστηρίζει ότι το φως έπρεπε να καμφθεί γύρω από το πλοίο για να γίνει αόρατο. Για να επιτευχθεί αυτό, τύλιξαν γύρω από την περιφέρεια του πλοίου σύρμα από το οποίο πέρασε εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό προκάλεσε τη δημιουργία ενός τεράστιου ταλαντευόμενου μαγνήτη ο οποίος σχημάτισε μαγνητικό πεδίο γύρω από το πλοίο, κάμπτοντας όχι μόνο το φως, αλλά και τον ίδιο τον χωροχρόνο. Οι υποστηρικτές αυτής της θεωρίας παραπέμπουν στη θεωρία του Αϊνστάιν περί ενοποιημένου πεδίου, σύμφωνα με την οποία αν κάμψεις το φως κάμπτεις αναπόφευκτα το χώρο και το χρόνο επίσης.

Κατά την πρώτη φάση του πειράματος το πλοίο δεν εξαφανίστηκε τελείως, αλλά το αποτύπωμα του σκελετού του διαγραφόταν καθαρά στο νερό. Την δεύτερη φορά το πλοίο εξαφανίστηκε τελείως ενώ εμφανίστηκε 15 λεπτά αργότερα στη Virginia. Όταν επανεμφανίστηκε το πλοίο στην Πενσυλβανία, μέλη του πληρώματος βρέθηκαν ενσωματωμένοι με το κήτος του πλοίου, άλλοι έλειπαν και οι υπόλοιποι είχαν χαμένα τα λογικά τους. Αδιαμφισβήτητο είναι το γεγονός ότι πέρα από την επίσημη ανακοίνωση του ναυτικού, δεν υπήρξε δυνατή η επικοινωνία με οποιοδήποτε μέλος του πληρώματος. Όταν το πλοίο μεταπωλήθηκε στο ελληνικό ναυτικό, η ονομαστική χωρητικότητά του είχε αυξηθεί κατά 300 τόνους, που σημαίνει ότι είχε αφαιρεθεί εξοπλισμός από το εσωτερικό του.

## 2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

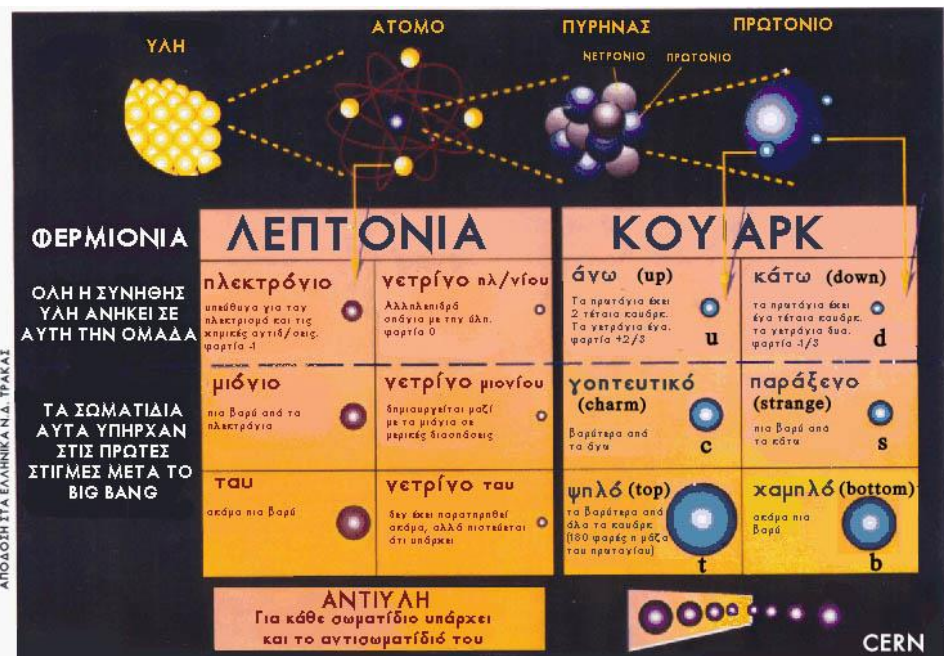
### 2.1 ΤΟ ΚΑΘΙΕΡΩΜΕΝΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

Στη δεκαετία του 1950, οι φυσικοί χρησιμοποιώντας όλο και πιο ισχυρούς επιταχυντές ανακάλυπταν συνεχώς νέα σωματίδια. Ο Τζ. Ρόμπερτ Οπενχάϊμπερ είχε πει αστεειυόμενος ότι το Νόμπελ Φυσικής έπρεπε να απονεμηθεί στον φυσικό, που δεν θα ανακάλυπτε κανένα νέο σωματίδιο.

Στις αρχές της δεκαετίας του 60 η σύγχυση από το τεράστιο πλήθος των «στοιχειωδών» σωματιδίων άρχισε να ξεδιαλύνεται, όταν οι Μάρει Γκέλ - Μαν και ο Τζορτζ Τοσβαϊγκ μίλησαν για πρώτη φορά για τα κουάρκ, τα στοιχειώδη συστατικά των πρωτονίων και νετρονίων.

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1967, όταν οι Στίβεν Γουάϊνμπεργκ και Αμπντούς Σαλάμ έδειξαν ότι μπορεί να επιτευχθεί η ενοποίηση της ηλεκτρομαγνητικής και της ασθενούς δύναμης. Σύμφωνα με τη θεωρία τους, τα ηλεκτρόνια και τα νετρίνα (τα λεπτόνια με μια λέξη) αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας μποζόνια Z, και W και φωτόνια. Βάζοντας τα

μποζόνια και τα λεπτόνια στην ίδια κατηγορία, δημιούργησαν μια θεωρία που ενοποιούσε τις δυο δυνάμεις. Το έργο των Στίβεν Γουάϊνμπεργκ, Σέλντον Γκλάσοου και Αμπντούς Σαλάμ, ενοποιούσε 2 από τις 4 δυνάμεις, την ηλεκτρομαγνητική με την ασθενή και παρέιχε νέα στοιχεία για την ισχυρή πυρηνική δύναμη. Στα μέσα της



Εικόνα 4: Τα σωματίδια που αποτελούν τον κόσμο μας

δεκαετίας του 70, οι 3 από τις 4 δυνάμεις της

φύσης συναρμολογήθηκαν στο λεγόμενο καθιερωμένο πρότυπο.

Το καθιερωμένο πρότυπο είναι μια θεωρία για τα αδρόνια (δηλαδή σωματίδια που αποτελούνται από κουάρκ) και λεπτόνια (δηλαδή σωματίδια που δεν αποτελούνται από τίποτε άλλο όπως ηλεκτρόνια, νετρίνα, κλ.) που αλληλεπιδρούν ανταλλάσσοντας γλουόνια, μποζόνια Z και W και

φωτόνια. Υπάρχουν 3 πανομοιότυπα αντίγραφα στοιχειωδών σωματιδίων (γενιές). Αν εξαιρέσει κανείς τις μάζες τους, οι τρεις γενιές δεν διαφέρουν καθόλου μεταξύ τους.

Τα παραπάνω σωματίδια είναι αυτά που υπάρχουν σήμερα στη φύση και αποτελούν το καθιερωμένο πρότυπο (Standard Model). Στον παραπάνω πίνακα δεν υπάρχει το σωματίδιο Higgs που όπως ξέρουμε ανακαλύφθηκε το 2013 στο CERN με πειράματα που γίνανε στον μεγάλο επιταχυντή LHC. Το Higgs δεν υπάρχει την σημερινή εποχή, υπήρχε όμως πριν 13,5 δισεκατομμύρια χρόνια όταν έγινε η μεγάλη έκρηξη (Big Bang).

Για την μελέτη της τηλεμεταφοράς θα ασχοληθούμε κυρίως με τα φωτόνια και τα ηλεκτρόνια.

## 2.2 MAX PLANCK - ΦΩΤΟΝΙΟ

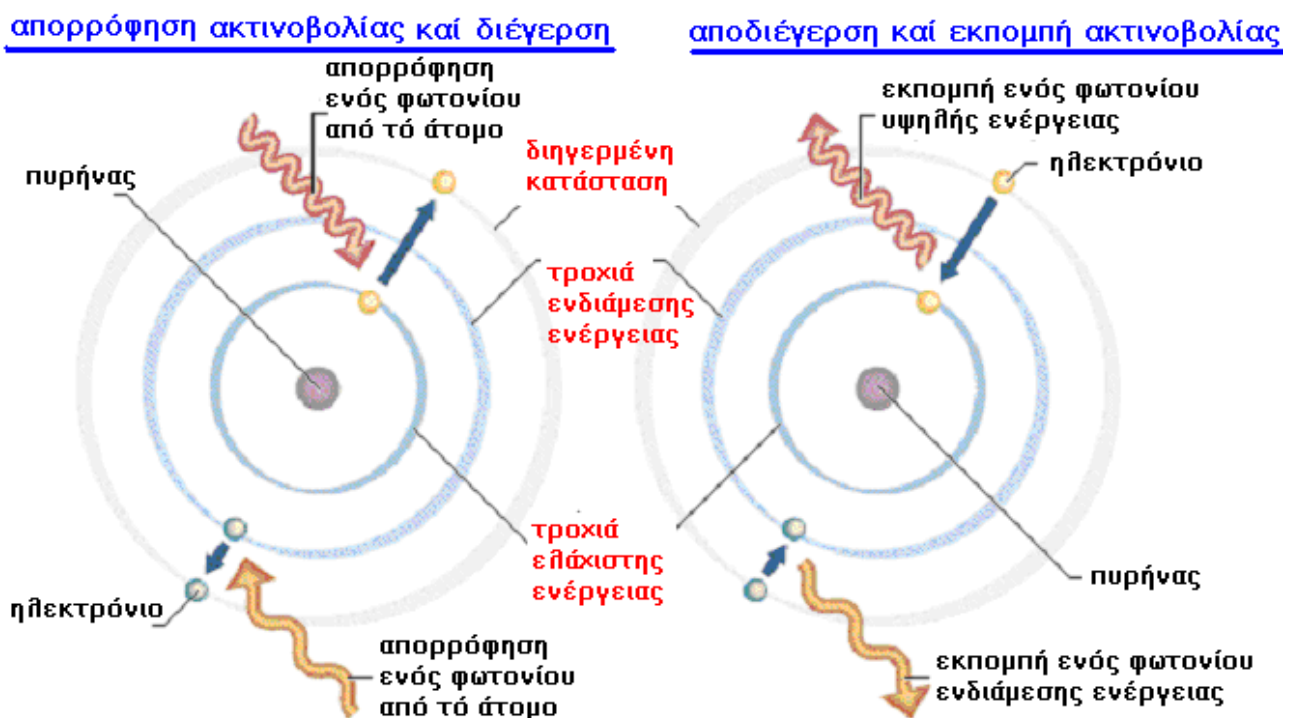
Ο Μαξ Πλανκ ήταν Γερμανός φυσικός και κάτοχος Βραβείου Νόμπελ Φυσικής. Γεννήθηκε στις 23 Απριλίου 1858 στο Κίελο της Γερμανίας και πέθανε στις 4 Οκτωβρίου 1947 στο Γκέτινγκεν. Θεωρείται ως ο πατέρας της Κβαντικής Θεωρίας.

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή το φως δεν εκπέμπεται συνεχόμενα όπως μας φαίνεται στο μάτι μας αλλά εκπέμπεται σε πολύ μικρά κομματάκια, (μικρά πακέτα-κβάντα ενεργείας) που ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια.

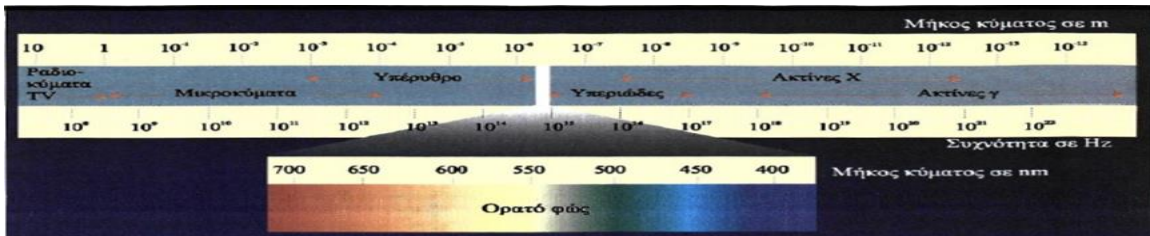
Η ενέργεια ενός φωτονίου δίνεται από το τύπο

$$E = h \cdot f$$

κάθε φωτόνιο περιέχει μέσα του ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Υπάρχουν φωτόνια ορατά και φωτόνια αόρατα.



Εικόνα 5: Απορρόφηση και παραγωγή φωτονίων



Εικόνα 6: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ορατά και αόρατα φωτόνια)

## 2.3 LASER

Ο όρος λέιζερ προέρχεται από το αγγλικό ακρωνύμιο

**Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**

που αποδίδεται στα ελληνικά ως: ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας και καλύπτει τόσο τις συσκευές που την παράγουν όσο και την αντίστοιχη ακτινοβολία.

Τα λέιζερ παράγουν συμφασικό, **μονοχρωματικό φως** (δηλαδή φως με συγκεκριμένο μήκος κύματος-χρώμα) το οποίο διαδίδεται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, σχηματίζοντας στενές δέσμες. Αντίθετα, οι συνηθισμένες πηγές φωτός, όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, παράγουν μη-σύμφωνο φως προς όλες τις διευθύνσεις και, επιπλέον, έχουν μεγάλο φασματικό εύρος.

Η λειτουργία των λέιζερ ερμηνεύεται από την θεωρία της **κβαντικής μηχανικής** και της **θερμοδυναμικής**. Πολλά υλικά έχουν βρεθεί ότι έχουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για να αποτελέσουν ενεργό υλικό των λέιζερ, με αποτέλεσμα την δημιουργία πολλών τύπων λέιζερ με διαφορετικά χαρακτηριστικά, που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Η εφεύρεση των λέιζερ στηρίχθηκε στην κατασκευή των Μείζερ στην δεκαετία του 1950. Το πρώτο λέιζερ κατασκευάστηκε το 1960, από τότε όμως τα λέιζερ βρήκαν εφαρμογή στις θετικές επιστήμες, στην βιομηχανία, στην ιατρική, και στην ηλεκτρονική.

Τα λέιζερ χρησιμοποιούνται στη **κβαντική τηλεμεταφορά**. Με τις δέσμες λέιζερ μεταφέρουμε είτε συγκεκριμένα φωτόνια σε μεγάλες αποστάσεις για να πετύχουμε κβαντική τηλεμεταφορά, είτε για να μεταφέρουμε κάποιες ιδιότητες ατόμων σε άλλα όμοια άτομα, τα οποία και αυτά βρίσκονται μακριά το ένα από το άλλο.



Εικόνα 7: Τα Laser παράγουν ασπληρά μονοχρωματικό φως

## 2.4 ΟΡΜΗ

Η ορμή ενός αντικειμένου είναι ένα μέγεθος που εξαρτάται από το σύστημα μέσα στο οποίο κινείται το αντικείμενο. Για παράδειγμα, η ορμή ενός αντικειμένου που κινείται σε ένα ακίνητο σύστημα αναφοράς, είναι διαφορετική από την ορμή του ίδιου αντικειμένου, όταν κινείται με την ίδια ταχύτητα, μετρούμενη στο σύστημα αναφοράς του κέντρου μάζας του αντικειμένου.

Η ορμή ορίζεται ως το γινόμενο της μάζας ( $m$ ) του αντικειμένου επί την ταχύτητά ( $u$ ) του. Είναι διανυσματικό μέγεθος, όπως και η ταχύτητα, και έχει τη φορά και τη διεύθυνση αυτής. Το μέτρο της ορμής δίνεται από τον τύπο:

$$P = m u \quad (m, \text{ η μάζα και } u \text{ η ταχύτητα)}$$

## 2.5 WERNER HEISENBERG - ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΑΣ

Ο Heisenberg ήταν γερμανός φυσικός, με τεράστια συμβολή στη θεμελίωση της κβαντομηχανικής για την οποία τιμήθηκε με νόμπελ φυσικής το 1932.

Σπούδασε από το 1920 θεωρητική φυσική στο πανεπιστήμιο του Μονάχου.

Το 1927 διατύπωσε την αρχή της απροσδιοριστίας: που έδινε νέα ερμηνεία για τον φυσικό κόσμο. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή το κύμα και το σωματίδιο είναι διαφορετικές απόψεις του ίδιου πράγματος, επίσης συνέβαλε και στην ουσιαστική εξήγηση της σταθερότητας της ύλης.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Η Αρχή της απροσδιοριστίας:

Είναι αδύνατο να μετρηθεί ταυτόχρονα και με ακρίβεια, ούτε πρακτικά, ούτε και θεωρητικά η θέση και η ταχύτητα, ( ή η ορμή), ενός σωματιδίου. (εικόνα 8 )

*Εικόνα 8: Ο τύπος του Heisenberg*

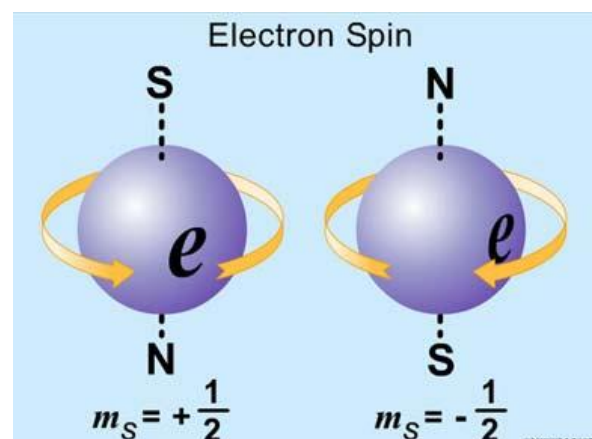
Σε αυτό βασίζονται και όσοι υποστηρίζουν ότι δεν είναι δυνατό να γίνει τηλεμεταφορά στο μακρόκοσμο. Εφόσον δεν μπορούμε να έχουμε ακριβείς πληροφορίες από ένα σωματίδιο πως θα μπορέσουμε να έχουμε από μεγάλα αντικείμενα ή από τον άνθρωπο που αποτελείται από  $10^{29}$  σωματίδια ύλης.

## 2.6 SPIN

Ο όρος σημαίνει περιστροφή και στην φυσική είναι το διανυσματικό μέγεθος που μετρά την κατάσταση περιστροφής ενός σωματιδίου.

Αυτή η κατάσταση μπορεί να είναι δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη ανάλογα με την φορά περιστροφής του σωματιδίου.

Αν φανταστούμε το σωματίδιο σαν μια μικρή σφαίρα, αυτή καθώς περιστρέφεται, μπορεί να περιγραφεί με το διανυσματικό μέγεθος του spin.



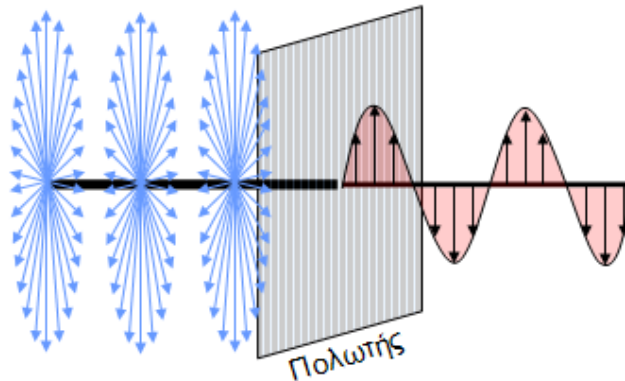
*Εικόνα 9: Τρόποι περιστροφής του ηλεκτρονίου spin*

## 2.7 ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΛΩΣΗΣ

Μας δείχνει το επίπεδο ταλάντωσης ενός σώματος ή ενός μεγέθους. Καθορίζεται από την γωνία που σχηματίζει το επίπεδο πόλωσης με το οριζόντιο επίπεδο.



Αν παραδείγματος χάριν ένα μέγεθος ταλαντώνεται σε οριζόντιο επίπεδο έχει γωνία πόλωσης μηδέν μοίρες ( $0^\circ$ ), ενώ αν ταλαντώνεται σε κατακόρυφο επίπεδο έχει γωνία πόλωσης ενενήντα μοίρες ( $90^\circ$ ).



*Εικόνα 10: Το επίπεδο πόλωσης του ηλεκτρικού πεδίου ενός φωτονίου. Καθώς το φωτόνιο περνά μέσα από τον πολωτή, ένα μόνο επίπεδο ταλάντωσης παραμένει.*

### 3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Μέχρι πριν από λίγα χρόνια, η τηλεμεταφορά δεν αντιμετωπίστηκε σοβαρά από τους επιστήμονες, επειδή θεωρήθηκε πως παραβιάζει την αρχή της αβεβαιότητας της κβαντομηχανικής (Heisenberg), που απαγορεύει την γνώση της ακριβούς θέσης και ορμής ενός σωματιδίου ταυτόχρονα.

Άρα η οποιαδήποτε μέτρηση ή ανιχνευτική διαδικασία ενός ατόμου ή άλλου αντικείμενου θα εμπεριέχει σφάλματα, και δεν θα επέτρεπε έτσι την ακριβή μεταφορά όλων των πληροφοριών (θέσης, ταχύτητας, ορμής, ενέργειας) σε νέα θέση.

Σύμφωνα με την αρχή αβεβαιότητας, όταν ένα μικροσκοπικό αντικείμενο γίνεται στόχος ακριβούς μέτρησης, επηρεάζεται η υπόστασή του. Η αρχική του εικόνα θα αλλοιωθεί, και δεν θα μπορεί να εξαχθεί ένα ακριβές αντίγραφο του.

Αυτό βέβαια είναι ένα γερό επιχείρημα εναντίον της τηλεμεταφοράς: εάν κάποιος δεν μπορεί να εξαγάγει αρκετές πληροφορίες από ένα αντικείμενο για να κάνει ένα τέλειο αντίγραφο, πως θα έκανε τότε ένα ακριβές αντίγραφο;

Αφού η πράξη της μέτρησης ενός σωματιδίου καταστρέφει πραγματικά μερικές από τις πληροφορίες για την παλιά κατάστασή του, θα φαινόταν σχεδόν αδύνατο να αντιγράψει τέτοια σωματίδια και να τα αναπαραγάγει αλλού.

Αλλά κατά ειρωνικό τρόπο, ένα από τα παράξενα τεχνάσματα του κβαντικού κόσμου στρέφει αυτό το επιχείρημα υπέρ του.

Διότι, μπορείτε να επαναδημιουργήσετε την κβαντική κατάσταση που δεν έχει μετρηθεί, εφ' όσον προετοιμάξετε να θυσιάσετε το αρχικό σωματίδιο.

Το τέχνασμα δηλαδή εκμεταλλεύεται την ίδια την αβεβαιότητα που κάνει τις κβαντικές μετρήσεις να αλλοιώνουν το μετρούμενο αντικείμενο στην αρχική θέση.

#### 3.1 ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΔΙΕΜΠΛΟΚΗ - ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ (ENTANGLEMENT)

Η κβαντική διεμπλοκή ή συσχέτιση ή σύζευξη είναι το φαινόμενο κατά το οποίο, δύο αντικείμενα - σωματίδια που δημιουργούνται μαζί (για παράδειγμα δύο ηλεκτρόνια) μένουν σε κατάσταση διεμπλοκής μεταξύ τους, ασχέτως του χώρου που μεσολαβεί 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, σε κατάσταση διεμπλοκής.

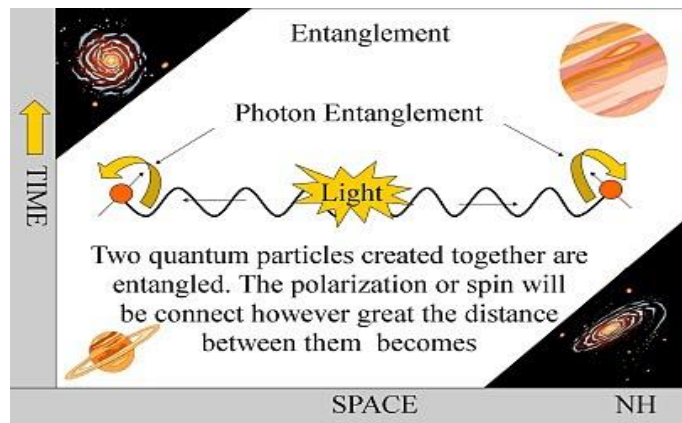
Η κβαντική διεμπλοκή είναι υπαρκτό φαινόμενο και παρατηρείται σε πειράματα, όχι μόνο στο μικρόκοσμο, αλλά και σε μεγαλύτερες κλίμακες.

Ο όρος συσχέτιση εισήχθη από το Γερμανό φυσικό Erwin Schroedinger, την δεκαετία του 1930, και έγινε αντικείμενο φιλοσοφικής διαμάχης για την φύση του κβαντικού κόσμου. Έτσι άρχισε η διάσημη διαμάχη μεταξύ του Einstein και του Bohr.

Ο Einstein ονόμαζε την κβαντική διεμπλοκή “spooky action from a distance”, στοιχειωμένη δράση από απόσταση (εικόνα 11).

Κατά την κβαντική μηχανική ένα ηλεκτρόνιο βρίσκεται σε μια υπέρθεση καταστάσεων, δηλαδή σε πολλές καταστάσεις ταυτόχρονα, μέχρι να πραγματοποιηθεί μια μέτρηση, η οποία αναγκάζει το σωματίδιο να καταλάβει μια συγκεκριμένη κατάσταση.

Σύμφωνα με τη κβαντική θεωρία, μπορούμε να συσχετίσουμε ένα ζευγάρι φωτονίων ή ηλεκτρονίων έτσι ώστε οι ιδιότητές τους να συνδέονται αναπόσπαστα. Αυτό ισχύει ακόμα κι αν τα στέλνουμε στις αντίθετες άκρες της Γης. Μετρούμε το ένα από τα συσχετισμένα φωτόνια (ή ηλεκτρόνια) στο Βόρειο Πόλο και καθορίζουμε αμέσως την κατάσταση του άλλου φωτονίου (ή ηλεκτρονίου) στο Νότιο Πόλο.

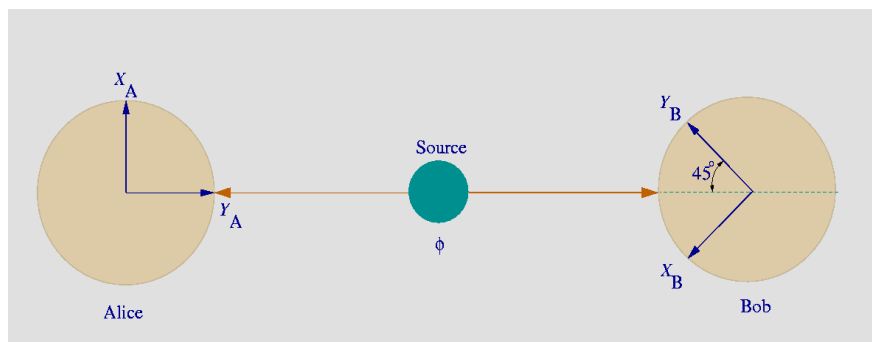


Εικόνα 11: Κβαντική Διεμπλοκή

### 3.2 ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ EPR

Το 1935 ο Einstein, ο Boris Podolsky και ο Nathan Rosen, διεξήγαγαν ένα νοητικό πείραμα, το "Πείραμα EPR" (από τα αρχικά των ονομάτων τους), που σχεδιάστηκε για να δείξει ότι η κβαντική θεωρία δίνει μια ατελή άποψη της πραγματικότητας, δηλαδή να συνδέεται η μέτρηση μιας τιμής ενός μεγέθους κάποιου σωματιδίου, με την τιμή ενός άλλου σωματιδίου, έστω κι αν αυτό είναι πολύ μακριά από το πρώτο.

Στο Πείραμα EPR (εικόνα 12), θεωρούμε ένα σύστημα αποτελούμενο από δύο σωματίδια A και B, μηδενικού ολικού σπιν, τα οποία έχουν αλληλεπιδράσει για ένα μικρό χρονικό διάστημα (εφόσον προέρχονται από την ίδια πηγή  $\phi$ ) και στη συνέχεια



Εικόνα 12 : Το νοητικό πείραμα EPR

χωρίζονται ώστε να διατηρείται το ολικό τους σπιν

σταθερό. Μετά το χωρισμό τους, μετράμε μία από τις συνιστώσες του σπιν του σωματιδίου A. Τότε χωρίς να πραγματοποιήσουμε καμιά μέτρηση στο B μπορούμε να προβλέψουμε με ακρίβεια την τιμή της αντίστοιχης συνιστώσας του ότι θα είναι αντίθετη αυτής του A. Για τον Einstein, η δυνατότητα να προβλέψουμε ένα στοιχείο του B, αποδεικνύει πως η κβαντική θεωρία δεν είναι πλήρης αφού δεν εξηγεί πως το ένα σωματίδιο επηρεάζει το άλλο. Αν δεχθούμε ότι το σπιν αυτού

που μετράμε δεν είναι καθορισμένο αλλά ορίζεται τη στιγμή της μέτρησης, τότε αυτό το σωματίδιο θα πρέπει ακαριαία να καθορίζει την τιμή του σπιν του B όσο μακριά και αν βρίσκεται αυτό.

**Όμως, μια τέτοια αλληλεπίδραση ταχύτερη από το φως έρχεται σε αντίθεση με τη Θεωρία της Σχετικότητας και αυτό ακριβώς αποτελεί το παράδοξο EPR.**

Για τον Bohr αντίθετα, η συσχέτιση αποτελεί μια ιδιότητα του κόσμου στον οποίο ζούμε. Τα συσχετισμένα σωματίδια αποτελούν θεμελιώδη τμήματα του ίδιου κβαντικού συστήματος ανεξάρτητα της μεταξύ τους απόστασης. Η γνώση της κβαντικής κατάστασης, όπως είναι για παράδειγμα η θέση του ενός σωματιδίου, μας αποκαλύπτει την κατάσταση και του άλλου.

Σύμφωνα με την αρχή αβεβαιότητας, όταν ένα μικροσκοπικό αντικείμενο γίνεται στόχος ακριβούς μέτρησης, επηρεάζεται η υπόστασή του, τόσο ώστε η αρχική του εικόνα να αλλοιωθεί, και να μην μπορεί να εξαχθεί ένα ακριβές αντίγραφο του.

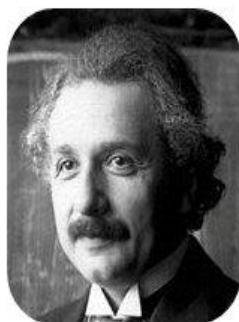
Αφού η πράξη της μέτρησης ενός σωματιδίου καταστρέφει πραγματικά μερικές από τις πληροφορίες για την παλιά κατάστασή του, θα φαινόταν σχεδόν αδύνατο να αντιγράψει τέτοια σωματίδια και να τα αναπαραγάγει αλλού.

Αλλά κατά ειρωνικό τρόπο, ένα από τα παράξενα τεχνάσματα του κβαντικού κόσμου στρέφει αυτό το επιχείρημα υπέρ του. Διότι μπορούμε να επαναδημιουργήσουμε την κβαντική κατάσταση που δεν έχει μετρηθεί, εφ' όσον προετοιμαζόμαστε να θυσιάσουμε το αρχικό σωματίδιο. Το τέχνασμα εκμεταλλεύεται την ίδια την αβεβαιότητα που κάνει τις κβαντικές μετρήσεις να αλλοιώνουν το μετρούμενο αντικείμενο στην αρχική θέση.

Καλό είναι να ξεκαθαρίσουμε τι εννοούμε όταν μιλάμε για τηλεμεταφορά ή για κβαντική τηλεμεταφορά (δεδομένου ότι ο κόσμος που ζούμε είναι κβαντικός). Καταρχήν σημειώνουμε ότι είναι αδύνατον να αντιγράψουμε μια κβαντική κατάσταση χωρίς να την αφήσουμε αμετάβλητη. Η αντιγραφή απαγορεύεται από το λεγόμενο «θεώρημα της μη κλωνοποίησης». Διότι αν μπορούσαμε να αντιγράψουμε π.χ. την κβαντική κατάσταση του σπιν ενός ηλεκτρονίου, τότε επαναλαμβάνοντας πάρα πολλές φορές την διαδικασία της αντιγραφής, θα δημιουργούσαμε ένα σύστημα που θα είχε αρκετή στροφορμή ώστε να μετρηθεί με μακροσκοπικά μεγέθη. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την βασική αρχή της κβαντικής μέτρησης που αποκλείει την απόκτηση πληροφορίας για ένα κβαντικό σύστημα χωρίς την καταστροφή της κατάστασής του.

Μήπως εφόσον απαγορεύεται η κβαντική αντιγραφή, η κβαντική τηλεμεταφορά είναι αδύνατη; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι η εξής: **είναι δυνατό να αντιγράψουμε μια κβαντική κατάσταση μόνο αν είμαστε διατεθειμένοι να την καταστρέψουμε.**

Έτσι, σήμερα οι επιστήμονες έχουν καταφέρει να αντιμετωπίσουν την απαγορευτική αυτή ιδιότητα της κβαντομηχανικής και να σχεδιάσουν πειράματα, που έδειξαν πως η τηλεμεταφορά τουλάχιστον υποατομικών σωματιδίων δεν είναι μακρινό όνειρο αλλά πραγματικότητα.



A. Einstein



B. Podolsky



N. Rosen

## ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

### 4.1 ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ (1993) - Η ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΤΗΛΕΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Άς υποθέσουμε πως έχουμε ένα ζευγάρι, την Alice και τον Bob (έτσι συνήθως αποκαλούν οι ερευνητές τον **πομπό** και τον **δέκτη** αντίστοιχα), που επιθυμούν να αντιγράψουν ένα φωτόνιο.

Η Alice δεν μπορεί να υπολογίσει -μετρήσει- τις ιδιότητες του φωτονίου της και να στείλει τα αποτελέσματα στον Bob, επειδή θα καταστρεφόταν με την μέτρηση μερικές από τις αναγκαίες πληροφορίες που θα χρειαζόταν ο Bob. Ευτυχώς, η κβαντική θεωρία έχει έναν λεπτότερο τρόπο επικοινωνίας.

Ένα πρόσθετο ζευγάρι "πεπλεγμένων" ή "συσχετισμένων" φωτονίων ανοίγει το κανάλι της τηλεμεταφοράς μεταξύ της Alice και του Bob.

Η Alice έχει ένα φωτόνιο, που χωρίς να το μετρήσει (ώστε να μην καταστρέψει τις ιδιότητες του), θέλει να το τηλεμεταφέρει στον Bob. Κατ' αρχάς, δημιουργεί ένα ζευγάρι συνδεδεμένων EPR, δηλαδή δεμπλεκόμενων φωτονίων, κρατώντας το ένα μαζί της, ενώ το άλλο το στέλνει μακριά στον Bob. Κανονίζει έπειτα για το φωτόνιο της που θέλει να τηλεμεταφέρει να αλληλεπιδράσει με το ένα από τα δύο EPR φωτόνια που κράτησε και μετρά το αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης.

Κατόπιν στέλνει το αποτέλεσμα αυτό προς τον Bob με ένα ντεμοντέ τρόπο, με τηλέφωνο, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, fax ή με ένα μεταφορέα.

Ο Bob λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες της Alice εκτελεί κάποιες απαραίτητες ενέργειες στο φωτόνιο του και αυτό (θαύμα!), μετατρέπεται στο αρχικό φωτόνιο της Alice.

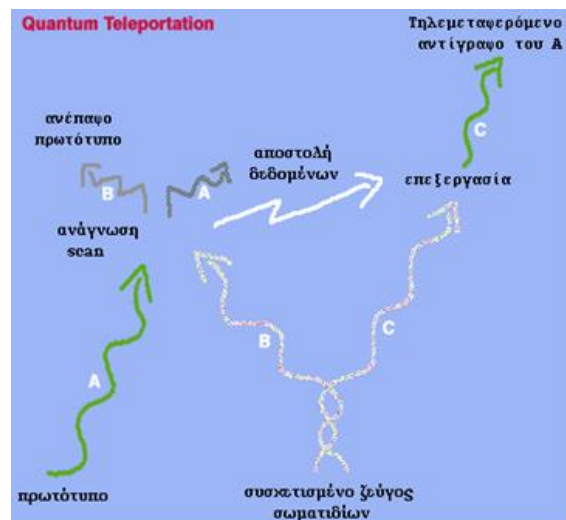
Δηλαδή στην κβαντική τηλεμεταφορά δύο αντικείμενα B και C (εικόνα 13) φέρονται αρχικά σε επαφή (συσχετίζονται) και έπειτα διαχωρίζονται. Το αντικείμενο B λαμβάνεται στο σταθμό αποστολής (Alice), ενώ το αντικείμενο C λαμβάνεται στο σταθμό-παραλήπτη (Bob).

Στον σταθμό αποστολής το αντικείμενο B, ανιχνεύεται-διαβάζεται μαζί με το αρχικό-πρωτότυπο αντικείμενο A, το οποίο επιθυμούμε να τηλεμεταφέρουμε, αποκομίζοντας κάποιες πληροφορίες ενώ καταστρέφεται εντελώς η κβαντική κατάσταση του A και του B. Οι ανιχνευθείσες πληροφορίες αποστέλλονται στο σταθμό λήψης, όπου χρησιμοποιούνται για να επεξεργαστεί κατάλληλα το αντικείμενο C, και με αυτόν τον τρόπο καθιστούμε το C, ένα ακριβές αντίγραφο του πρωτότυπου A, όπως φαίνεται στην σχηματοποίηση της εικόνας 13.

Ο Bob λαμβάνει το μήνυμα της Alice, και ανάλογα με αυτό που λέει το μήνυμα, εκτελεί κάποια προσχεδιασμένη λειτουργία στο EPR φωτόνιο του, που είναι το έτερον ήμισυ του πεπλεγμένου ζευγαριού που η Alice δημιούργησε. Παραδείγματος χάριν, αυτός μπορεί να αλλάξει την πόλωση του φωτονίου του κατά ένα ποσό που εξαρτάται από τις πληροφορίες που η Alice του έστειλε. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας, το φωτόνιο του Bob έχει γίνει ένα ακριβές αντίγραφο του αρχικού 'αμέτρητου' φωτονίου της Alice.

**Η κβαντική κατάσταση εκείνου του φωτονίου και όχι ίδιο το φωτόνιο τηλεμεταφέρθηκε από την Alice στον Bob.**

Το τέχνασμα στη διαβίβαση αυτής της κβαντικής πληροφορίας βρίσκεται στη μυστική, σαν φάντασμα (spooky ήταν η λέξη που έλεγε ειρωνικά ο Einstein) σύνδεση μεταξύ των φωτονίων EPR της Alice και του Bob. Με το να πείσει το άγνωστο φωτόνιο της να αλληλεπιδράσει με το



Εικόνα 13: Η Βασική Αρχή της Τηλεμεταφοράς

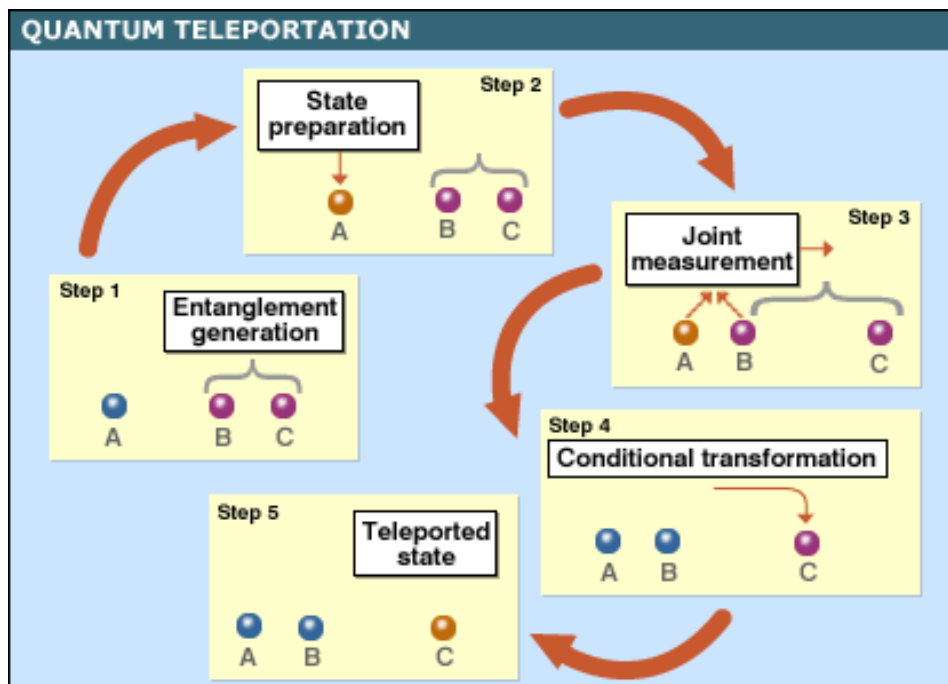
φωτόνιο EPR της , η Alice έκανε το EPR φωτόνιο του Bob, το άλλο μισό του πεπλεγμένου ζευγαριού, να αλληλεπιδράσει με το άγνωστο φωτόνιο επίσης.

Μέσω του φαντάσματος EPR καναλιού, ο Bob επομένως λαμβάνει κάποια παράξενη, κβαντική πληροφορία για την κατάσταση του φωτονίου που η Alice θέλει να τηλεμεταφέρει. Βέβαια τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα καθώς η Alice πρέπει επίσης να μετρήσει κάτι για την αλληλεπίδραση των δύο φωτονίων της, και να στείλει το αποτέλεσμα στον Bob.

Αλλά εάν όλα γίνουν σωστά, ο Bob λαμβάνει έναν συνδυασμό srooky κβαντικών πληροφοριών και σαφών γνωστού τύπου κλασικών πληροφοριών που επιτρέπουν σε αυτόν να αναπαραγάγει το αρχικά άγνωστο φωτόνιο της Alice.

Το πείραμα που στηρίζεται στις παραπάνω αρχές διεξήχθη το 1993, από μια διεθνή ομάδα έξι επιστημόνων από τις ΗΠΑ, Καναδά, Ισραήλ (C.Bennett της IBM, R.Jozsa, W.Wootters, G.Brassard, C.Crepeau, A.Peres), οι οποίοι επιβεβαίωσαν τις διαισθήσεις της πλειοψηφίας των συγγραφέων επιστημονικής φαντασίας καταφέροντας να δείξουν ότι η τέλεια τηλεμεταφορά είναι πράγματι δυνατή σε γενικές γραμμές, αλλά μόνο εάν το αρχικό αντικείμενο καταστρέφεται, και χρησιμοποιώντας, μια παράξενη ιδιότητα της κβαντικής μηχανικής, **την συσχέτιση**.

Οι έξι πίο πάνω επιστήμονες, βρήκαν έναν τρόπο για να πραγματοποιήσουν το πολυσυζητημένο φαινόμενο της τηλεμεταφοράς, με τη βοήθεια της ίδιας της κβαντομηχανικής, χρησιμοποιώντας ένα επίσης διάσημο παράδοξο φαινόμενο της κβαντομηχανικής, γνωστό ως φαινόμενο Einstein - Podolsky - Rosen. Στην εικόνα 14 μπορούμε να παρατηρήσουμε βήμα - βήμα την διαδικασία.



Εικόνα 14: Η Βασική Αρχή της Τηλεμεταφοράς με βήματα.

## 4.2 ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ ΙΝΣΜΠΡΟΥΚ

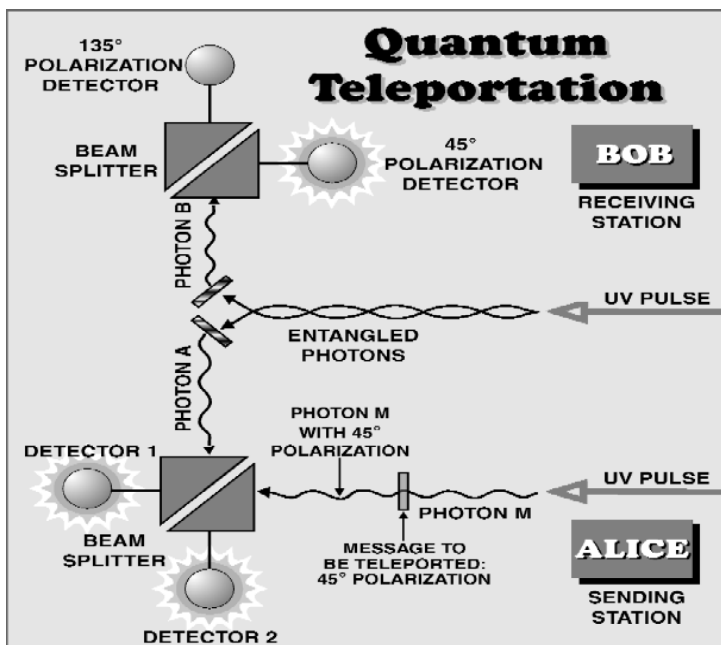
Μια άλλη πειραματική επιβεβαίωση της κβαντικής τηλεμεταφοράς πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο του Ίνσμπρουκ τον Δεκέμβριο του 1997. Αυτό το πρόγραμμα διευθύνθηκε από τον Δρ. Anton Zeilinger του Ίδρυματος για τη πειραματική φυσική στο Πανεπιστήμιο του Ίνσμπρουκ. Οι εργασίες του βρίσκονται στους τομείς της κβαντικής οπτικής και της κβαντικής επικοινωνίας. Οι άλλοι ερευνητές από το Ίδρυμα για τη πειραματική φυσική είναι: ο Dik Bouwmeester, Klaus Mattle, Manfred Eibl και Harald Weinfurter.

Το πείραμα δεν τηλεμεταφέρει το ίδιο το φωτόνιο, μόνο μεταδίδει τις ιδιότητές του σε ένα άλλο μακρινό φωτόνιο.

Ο αποστολέας είναι η Alice, έτσι τον ονομάζουν οι φυσικοί, ( παίρνει το όνομα της από το είδος που μεταφέρεται -light- και τα αρχικά της λέξης entangled-πεπλεγμένα και τη λέξη encoder-κωδικοποιητής).

Ο παραλήπτης είναι ο Bob, αυτός που λαμβάνει το τηλεμεταφερόμενο μήνυμα.

Στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 15) μπορούμε να παρατηρήσουμε τα ακόλουθα:



Εικόνα 15: Η Αρχή του πειράματος του Ίνσμπρουκ

Στον σταθμό αποστολέα της κβαντικής τηλεμεταφοράς, η Alice κωδικοποιεί ένα UV φωτόνιο "αγγελιοφόρο" M, που είναι αυτό που θα μεταφερθεί, με μια συγκεκριμένη κατάσταση: πολωμένο κατά  $45^\circ$ , (στροφή του ηλεκτρικού του πεδίου κατά  $45^\circ$ ), με την βοήθεια ενός πολωτή. Αυτό το φωτόνιο ταξιδεύει προς ένα διαχωριστή ακτίνων (beamsplitter). Το φωτόνιο δημιουργείται με συσκευή Laser. Εν τω μεταξύ, δημιουργούνται δύο πρόσθετα "πεπλεγμένα" ή συσχετισμένα φωτόνια το A και το B, από φωτόνια που πέφτουν πάνω σε ένα μη γραμμικό κρύσταλλο για να δημιουργήσουν το

ζευγάρι των πεπλεγμένων φωτονίων.

Η πόλωση κάθε φωτονίου είναι σε μια

συγκεκριμένη, ακαθόριστη κατάσταση, όμως τα δύο φωτόνια έχουν μια ακριβώς καθορισμένη αλληλεξάρτηση. Συγκεκριμένα, αυτά πρέπει να έχουν συμπληρωματικές πολώσεις. Παραδείγματος χάριν, εάν το φωτόνιο A μετριέται αργότερα να έχει οριζόντια πόλωση (γωνία πόλωσης  $0$  μοίρες), τότε το άλλο φωτόνιο πρέπει να 'καταρρεύσει' στη συμπληρωματική κατάσταση της κάθετης πόλωσης ( $90$  μοίρες).

Το πεπλεγμένο φωτόνιο A φθάνει στον διαχωριστή ακτίνων (beamsplitter) ταυτόχρονα με το φωτόνιο αγγελιοφόρο M. Ο διαχωριστής των ακτίνων αναγκάζει κάθε φωτόνιο είτε να συνεχίσει προς τον ανιχνευτή 1 είτε να αλλάξει κατεύθυνση και να ταξιδεύσει προς τον ανιχνευτή 2. Στο 25% όλων των περιπτώσεων, στις οποίες τα δύο φωτόνια πηγαίνουν μακριά στους διαφορετικούς ανιχνευτές, η Alice δεν ξέρει σε ποιόν ανιχνευτή κατευθύνθηκε το καθένα από τα δύο φωτόνια.

Αυτή η ανικανότητα της Alice, να διακρίνει μεταξύ των δύο φωτονίων, προξενεί όπως λέγεται ένα κβαντικό φράγμα, για να μπορέσει να δει τι συμβαίνει. Ακριβώς από το ίδιο το γεγονός ότι τα δύο φωτόνια είναι τώρα δυσδιάκριτα, αφού είναι όμοια, το φωτόνιο M χάνει την αρχική ταυτότητά του και γίνεται πεπλεγμένο με το A. Η τιμή της γωνίας πόλωσης για κάθε φωτόνιο

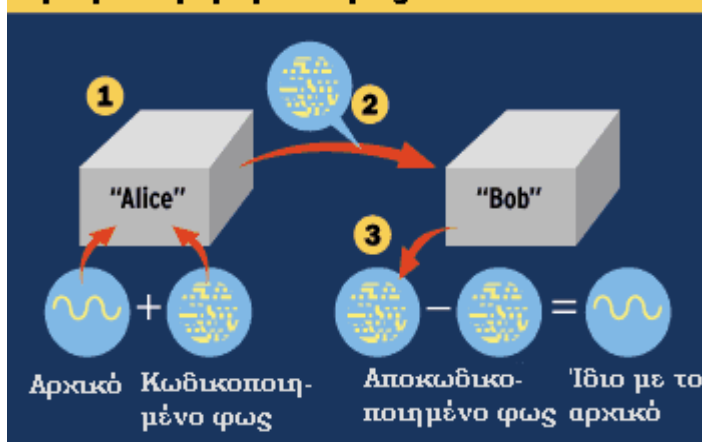
είναι τώρα ακαθόριστη, αλλά δεδομένου ότι ταξιδεύουν προς διαφορετικούς ανιχνευτές η Alice ξέρει ότι τα δύο φωτόνια πρέπει να έχουν συμπληρωματικές πολώσεις.

Δεδομένου ότι το φωτόνιο αγγελιαφόρος M, πρέπει να έχει συμπληρωματική πόλωση του φωτονίου A, τότε το άλλο πεπλεγμένο φωτόνιο B πρέπει τώρα να επιτύχει την ίδια τιμή πόλωσης όπως το M. Επομένως, η τηλεμεταφορά είναι επιτυχής. Πράγματι, ο Bob βλέπει ότι η τιμή πόλωσης του φωτονίου B είναι 45 μοίρες δηλαδή η αρχική τιμή πόλωσης του αγγελιαφόρου M.

### 4.3 ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ CalTech

Το πείραμα Caltech πραγματοποιήθηκε το φθινόπωρο (Οκτώβριος) του 1998. Πήρε το πείραμα του Ίνσμπρουκ και επέτυχε ακόμη ακριβέστερα αποτελέσματα με την προσθήκη ενός τρίτου ανιχνευτή στις συσκευές πειράματος, τον Victor. Ο Victor έχει διπλό ρόλο στο πείραμα, τη δημιουργία και την αποστολή του σωματιδίου για να είναι στην Alice και λήψη και επαλήθευση

#### Τηλεμεταφερόμενο φως



Εικόνα 16: Η αρχή του πειράματος του CalTech

του σωματιδίου από τον Bob. Αυτός ο τρίτος ανιχνευτής επιτρέπει περισσότερη ακρίβεια στην αναπαραγωγή του σωματιδίου εισαγωγής και δίνει ακόμα ισχυρότερη υποστήριξη για την ισχύ της κβαντικής τηλεμεταφοράς.

1. Δίχως να παρατηρεί το σήμα εισόδου, η Alice, δηλ. ο αποστολέας, συνδυάζει την αρχική δέσμη του φωτός με μια ειδική δέσμη πεπλεγμένου-κωδικοποιημένου φωτός. Το αποτέλεσμα είναι κάτι που φαίνεται σαν τέλεια ασυναρτησία.

2. Η Alice στέλνει την ασυνάρτητη πληροφορία στον παραλήπτη, τον Bob. Η

πληροφορία μοιάζει επίσης σαν τέλεια ασυναρτησία και σε αυτόν.  
3. Πάντως ο Bob έχει το δικό του αντίγραφο του ειδικού πεπλεγμένου φωτός. Συνδυάζοντας αυτό, με την ασυνάρτητη πληροφορία που πήρε από την Alice κατορθώνει να αναπαραγάγει την αυθεντική ακτίνα του φωτός!

Ο αποστολέας, που οι φυσικοί επιμένουν πάντα να ονομάζουν Alice, παράγει αυτό που μοιάζει με ασυναρτησίες. Η Alice στέλνει έπειτα τις ασυναρτησίες της στον παραλήπτη Bob που συνδυάζει τις ασυναρτησίες αυτές με τον "πεπλεγμένο" αποκωδικοποιητή του. Κι έτσι δημιουργεί την ίδια κβαντική κατάσταση.

Αυτό που οι φυσικοί στο Caltech, στο Πανεπιστήμιο του Aarhus στη Δανία και στο Πανεπιστήμιο της Ουαλίας έχουν ολοκληρώσει, είναι να ληφθεί μια ακτίνα του φωτός, και να δημιουργήσουν ένα αντίγραφο της, σε κάποια απόσταση μακριά.

"Είναι η πρώτη τηλεμεταφορά", εξήγησε ο καθηγητής της φυσικής στο Caltech Jeff Kimble, ένας από τους ερευνητές. "Πιθανόν να μην οδηγεί στην τεχνολογία του Star Trek, αλλά θα μπορούσε να βοηθήσει στην περίτεχνη κρυπτογραφία και πιθανώς στα "κβαντικά computers."

Στα προηγούμενα πειράματα, εντούτοις, περιορίστηκαν οι πληροφορίες στο εάν ένα φωτόνιο πολώθηκε στην πάνω ή στην κάτω κατάσταση. Η ομάδα του Kimble επέκτεινε τη θεωρία και την τεχνική για να εφαρμόζεται και σε πιά πλατιά πεδία.

#### 4.4 ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΤΑ ΚΑΝΑΡΙΑ ΝΗΣΙΑ

Το καλοκαίρι του 2012 ρεκόρ κβαντικής τηλεμεταφοράς πέτυχαν Φυσικοί από την Αυστρία και τον Καναδά, καλύπτοντας μία απόσταση 143 χιλιομέτρων, γεγονός που αποτελεί ένα μεγάλο άλμα για τη τεχνολογία και ανοίγει το δρόμο για τις δορυφορικές κβαντικές τηλεπικοινωνίες.

Το προηγούμενο ρεκόρ, που κατείχαν Κινέζοι ερευνητές, ήταν 97 χλμ.

Οι επιστήμονες του πανεπιστημίου της Βιέννης, της Αυστριακής Ακαδημίας Επιστημών και του πανεπιστημίου του Γουότερλου, με επικεφαλής τον Άντον Τσάιλινγκερ, κατάφεραν να μεταφέρουν κβαντικές καταστάσεις φωτονίων (εκατοντάδες φορές) ανάμεσα σε δύο Κανάρια νησιά, τη Λα Πάλμα και την Τενερίφη, που απέχουν πάνω από 143 χλμ.

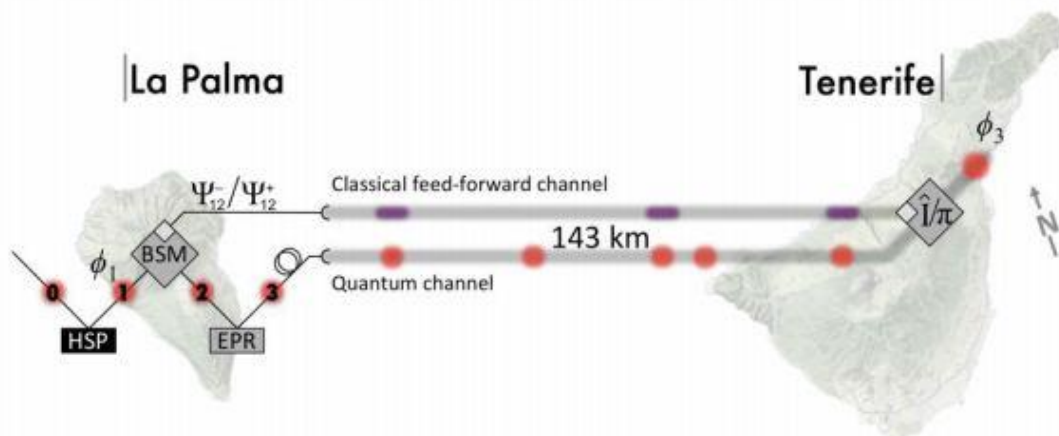
Το ποσοστό επιτυχίας του πειράματος ήταν 40%, ένα ποσοστό επιτυχίας πολύ μεγάλο σε σύγκριση με τα παλαιότερα πειράματα που ήταν γύρω στο 1%.

Στόχος των επιστημόνων, είναι να αξιοποιήσουν την κβαντομηχανική για να μεταφέρουν δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις με ασφάλεια και ταχύτητα, δημιουργώντας έτσι ένα κβαντικό διαδίκτυο που θα μεταδίδει πληροφορίες μεταξύ των κβαντικών υπολογιστών (παρακάτω).

Όπως ανέφερε ο Τσάιλινγκερ, «το πείραμά μας δείχνει πόσο ώριμες είναι πλέον οι κβαντικές τεχνολογίες σήμερα και πόσο χρήσιμες πρακτικές εφαρμογές μπορούν να έχουν. Το επόμενο βήμα είναι η δορυφορική κβαντική τηλεμεταφορά, που θα επιτρέψει τις κβαντικές επικοινωνίες σε παγκόσμια κλίμακα. Έχουμε ήδη κάνει μεγάλη πρόοδο προς αυτή την κατεύθυνση και, σε συνεργασία με την Κινεζική Ακαδημία Επιστημών, θα εγκαινιάσουμε μία κβαντική δορυφορική αποστολή».

Σε επόμενα πειράματα οι επιστήμονες ευελπιστούν να πετύχουν κβαντική τηλεμεταφορά και μεταξύ δορυφόρων.

Αυτό που γνωρίσαμε στα παραπάνω πειράματα ήταν τηλεμεταφορά φωτονίων ή ακριβέστερα η τηλεμεταφορά ιδιοτήτων του φωτονίου (επίπεδο πόλωσης ή άλλες ιδιότητες).



Εικόνα 17: Το πείραμα στα Κανάρια νησιά



#### 4.5 ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ DELFT - ΤΗΛΕΜΕΤΑΦΟΡΑ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ Η ΓΕΝΝΗΣΗ ΤΩΝ ΚΒΑΝΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Οι ερευνητές του Πανεπιστημίου Τεχνολογίας της πόλης Delft στην Ολλανδία ανακοίνωσαν στο περιοδικό Science ότι κατάφεραν να τηλεμεταφέρουν δεδομένα (συγκεκριμένα την κατάσταση του σπιν ενός ηλεκτρονίου) ανάμεσα σε δύο μικροσκοπικά διαμάντια που απέειχαν τρία μέτρα (3m) μεταξύ τους.

Στόχος τους είναι τώρα να αυξήσουν την απόσταση στο ένα χιλιόμετρο, μια βελτίωση που ίσως φέρει πιο κοντά τις κύριες πρακτικές εφαρμογές της κβαντικής τηλεμεταφοράς: τους κβαντικούς υπολογιστές και τα ασφαλή κβαντικά δίκτυα υπολογιστών.

Θεωρητικά, η ίδια περίπου μέθοδος θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και για την τηλεμεταφορά ανθρώπων, αν και οι ερευνητές θεωρούν ότι κάτι τέτοιο είναι «εξαιρετικά απίθανο».



*Εικόνα 18: Μέρος της διάταξης του πειράματος στην Delft*

Οι ερευνητές δημιούργησαν ζευγάρια ηλεκτρονίων μέσα σε δύο διαφορετικούς κρυστάλλους διαμαντιού έτσι ώστε το ηλεκτρόνιο στον έναν κρύσταλλο να βρίσκεται σε διεμπλοκή με το δεύτερο.

Τα δεδομένα που μεταφέρθηκαν από τον έναν κρύσταλλο στον άλλο, χωρίς να υπάρχει φυσική επαφή μεταξύ τους, ήταν η κατάσταση του σπιν των ηλεκτρονίων: η αλλαγή του spin στον έναν κρύσταλλο οδηγεί ακαριαία στην αλλαγή του spin στον δεύτερο κρύσταλλο.

**Δηλαδή αυτό που μεταφέρεται είναι η πληροφορία για το spin του ηλεκτρονίου και όχι το ίδιο το ηλεκτρόνιο.**

Με το πείραμα αυτό ξεκινά η **γέννηση των κβαντικών υπολογιστών**, όπου ο αποθηκευτικός χώρος θα είναι τα άτομα και η μεταφορά θα γίνεται με φωτόνια Laser σε οπτικές ίνες.

Η μέθοδος κβαντικής τηλεμεταφοράς που παρουσίασε η ερευνητική ομάδα στο Πανεπιστήμιο Τεχνολογίας της Ντελφτ δεν είναι η πρώτη (παρόμοιο πείραμα με άτομα ρουβιδίου πραγματοποιήθηκε στην πόλη Hefei στην Κίνα), φέρεται όμως να είναι η ακριβέστερη με απόδοση 100%.

### 5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΤΗΛΕΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Σύμφωνα με τα παραπάνω κατανοούμε ότι προς το παρόν η κβαντική τηλεμεταφορά θα μπορούσε να έχει εφαρμογές μόνο στον μικρόκοσμο.

Οι επιστήμονες μας λένε ότι η πρώτη εφαρμογή θα είναι στους κβαντικούς υπολογιστές.

Κβαντικός υπολογιστής ονομάζεται μία υπολογιστική συσκευή που εκμεταλλεύεται χαρακτηριστικές ιδιότητες της κβαντομηχανικής, όπως την αρχή της κβαντικής διεμπλοκής. Σε έναν συμβατικό ψηφιακό υπολογιστή (κατά κανόνα ηλεκτρονικό), στοιχειώδης μονάδα πληροφορίας είναι το bit, ενώ σε έναν κβαντικό υπολογιστή το qubit. Ένας υπολογιστής με αριθμό qubits είναι θεμελιωδώς διαφορετικός από έναν κλασικό υπολογιστή με τον ίδιο αριθμό bits. Τα qubits μπορούν να αποθηκεύσουν εκθετικά περισσότερη πληροφορία από τα κλασικά bits. Στην περίπτωση των κβαντικών δεδομένων τα πράγματα είναι πολύ πιο περίπλοκα απ' ότι σε έναν απλό υπολογιστή, επειδή τα κβαντικά δεδομένα δεν κωδικοποιούνται μόνο ως μια εναλλαγή των ψηφίων <1> και <0>, αφού στην κβαντική κατάσταση της ύλης μπορεί να υπάρχει και μία <υπέρθυση> των δύο παραπάνω τιμών, δηλαδή ποικίλοι συνδυασμοί τους. Επιπλέον,

κάθε qubit μπορεί να πάρει διαφορετική τιμή, καθώς οι μετρήσεις στον κβαντικό κόσμο βασίζονται όχι σε προκαθορισμένες τιμές, αλλά σε πιθανότητες, λόγω της <αρχής της αβεβαιότητας>. Σε αυτούς τους υπολογιστές λοιπόν δεν θα βελτιωθεί μόνο η ταχύτητα αλλά θα αλλάξει και το hardware του υπολογιστή, δηλαδή τα διάφορα μηχανήματα που αποτελούν τους υπολογιστές (κεντρικός επεξεργαστής, motherboard, τρόπος μεταφοράς δεδομένων).

Επιπροσθέτως με την δημιουργία των κβαντικών υπολογιστών θα έχουμε τέλεια κρυπτογραφημένα πρωτόκολλα επικοινωνιών επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερη ασφάλεια στις επικοινωνίες.

## 6. ΤΗΛΕΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΝΘΡΩΠΩΝ

Θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η διεμπλοκή για την τηλεμεταφορά αντικειμένων και ανθρώπων;

«Αν πιστέψει κανείς ότι δεν είμαστε τίποτα περισσότερο από μια συλλογή ατόμων που συνδέονται μεταξύ τους με έναν συγκεκριμένο τρόπο, τότε θεωρητικά θα ήταν δυνατό να τηλεμεταφερθούμε από ένα μέρος σε ένα άλλο» σχολίασε στην εφημερίδα Independent ο καθηγητής Ρόναλντ Χάνσον, μέλος της ερευνητικής ομάδας της Ντελφτ.

«Πρακτικά είναι εξαιρετικά απίθανο να συμβεί κάτι τέτοιο [...] Δεν μπορώ όμως να το αποκλείσω αφού δεν υπάρχει θεμελιώδης νόμος της φυσικής που να το εμποδίζει» είπε.



Εικόνα 19: Το μέλλον...

## ΠΗΓΕΣ:

1. Τηλεμεταφορά Κανάρια, ηλεκτρ. διεύθ.: [www.energia.gr/article](http://www.energia.gr/article)
2. Τηλεμεταφορά Delft, ηλεκτρ. διεύθ.: [www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=601289](http://www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=601289)
3. Το πείραμα Ινσμπρουκ, ηλεκτρ. διεύθ.: [www.physics4u.gr/articles/teleport3.html](http://www.physics4u.gr/articles/teleport3.html)
4. Τηλεμεταφορά, ηλεκτρ. διεύθ.: [www.el.wikipedia.org/wiki](http://www.el.wikipedia.org/wiki)
5. Κβαντική τηλεμεταφορά, ηλ. διεύθ.: [www.physicsgg.me/2012](http://www.physicsgg.me/2012)
6. Το πείραμα EPR, ηλεκτρ. διεύθ.: [www.el.wikipedia.org/wiki/%CE](http://www.el.wikipedia.org/wiki/%CE)
7. Max Planck, ηλεκτρ. διεύθ.: [www.nobelprize.org/physics](http://www.nobelprize.org/physics)
8. Laser, ηλεκτρ. διεύθ.: [www.el.wikipedia/lazer](http://www.el.wikipedia/lazer)
9. Δημάκης Στέργιος, Στάθης Γεώργιος-Ανέστης, Τηλεμεταφορά, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλ. Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
10. Γεωργακάκος, Π., Σκαλωμένος, Α., Σφάρνας, Ν. και Χριστακόπουλος, Ι. (2005) Φυσική Γενικής Παιδείας Γ' Τάξης Ενιαίου Λυκείου. Αθήνα: ΟΕΔΒ.
11. Teleportation, ηλεκτρ. διεύθ.: [www.physlink.com/](http://www.physlink.com/)
12. Σκονδριάνος Ιωάννης, Κβαντική Τηλεμεταφορά, ppt, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλ. Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
13. Θεοχαρίδης Θεοχάρης, Στεργίδης Μιχάλης, Σούκα Ιωάννα, Τηλεμεταφορά, ppt, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλ. Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
14. Ιωάννης Καραφυλλίδης, 2005, Κβαντικοί Υπολογιστές, εκδόσεις Κλειδάριθμος Αθήνα.
15. Gilmore Robert, Γιώργος Κατσιλιέρης, 2013, Η Αλίκη στην χώρα των κβάντων, Κάτοπτρο, Αθήνα
16. Τραχανάς Στέφανος. Λ, 2012, Στοιχειώδης κβαντική Φυσική, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης - Ηράκλειο Κρήτης