



ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Ενότητα # 4: Τρέχουσες Επιστημονικές Θεωρίες

Περικλής Ακρίβος
Τμήμα Χημείας



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Τρέχουσες Επιστημονικές Θεωρίες

Μακρόκοσμος και Μικρόκοσμος



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Κλασσική Μηχανική
2. Κβαντική θεωρία



Σκοποί ενότητας

- Τρέχουσες Επιστημονικές Θεωρίες
- Πειράματα που συνέβαλαν στην απόδειξη των θεωριών





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Η θεωρία της σχετικότητας και η κβαντική θεωρία

Οι τρέχουσες επιστημονικές θεωρίες για τον κόσμο

ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ

Υπάρχουν θεωρίες για τον μακρόκοσμο και τον μικρόκοσμο. Αποδείχθηκε κατά τον 20ο αιώνα ότι δεν μπορεί να είναι μία και μοναδική θεωρία. Οι τρέχουσες θεωρίες είναι για μεν τον μακρόκοσμο η θεωρία της σχετικότητας, για τον μικρόκοσμο η κβαντική θεωρία. Αυτές αντικατέστησαν τις παλιότερες, κλασικές θεωρίες, που ήταν αντίστοιχα η μηχανική του Newton και η θεωρία του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του Maxwell.



PHILOSOPHIAE NATURALIS PRICIPIA MATHEMATICA (1687)

Κλασική μηχανική - *Philosophiae Naturalis Pricipia Mathematica* (1687).

- **Πρώτος νόμος.** Υπάρχει ένα σύνολο από αδρανειακά συστήματα αναφοράς, ως προς τα οποία όλα τα σώματα (θεωρούμενα ως υλικά σημεία) στα οποία δεν ενεργεί καμία καθαρή δύναμη, θα κινούνται χωρίς μεταβολή στην ταχύτητά τους.
- **Δεύτερος νόμος.** Παρατηρούμενο από ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς ένα σώμα μεταβάλλει τη γραμμική ορμή του ως προς τον χρόνο ανάλογα προς τη δύναμη που δρα επάνω του.
- **Τρίτος νόμος.** Η επίδραση μιας δύναμης από ένα σώμα A σε ένα άλλο B, συνεπάγεται την ταυτόχρονη επίδραση μιας δύναμης από το B προς το A, ίσης σε μέγεθος και εφαρμοζόμενης στην αντίθετη ακριβώς κατεύθυνση.



ΚΟΣΜΟΣ ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΟΣ

Κόσμος ντετερμινιστικός, χώρος Ευκλείδειος, χρόνος άπειρος.

- Με γνωστή την κατάσταση του συστήματος για συγκεκριμένη χρονική στιγμή, προβολή στο μέλλον και στο παρελθόν της θέσης και της τιμής που περιγράφουν την κατάσταση στην χρονική εκείνη στιγμή.



ΘΕΩΡΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

- Ε και Β το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, J η πυκνότητα φορτίου και αγωγή, D= εE και H= B/μ.
- **Πεδίο** = θεμελιώδης ιδιότητα του χώρου, μεταφέρει μηνύματα για την κίνηση των σημειακών φορτίων σ' αυτόν.
- Απέδειξε την ηλεκτρομαγνητική φύση του φωτός πριν από την πειραματική απόδειξη του Hertz (1887). Στα πλαίσια της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας η ενοποίηση ηλεκτρισμού και μαγνητισμού αποδείχθηκε ότι προκύπτει από την ενοποίηση του χρόνου και του χώρου.

$\mathbf{J}_{tot} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	νόμος ολικού ρεύματος
$\mu \mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{A}$	ορισμός μαγνητικού δυναμικού
$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}_{tot}$	νόμος κυκλώματος Ampère
$\mathbf{E} = \mu \mathbf{v} \times \mathbf{H} - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \nabla \phi$	Δύναμη Lorentz
$\mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon} \mathbf{D}$	εξίσωση ηλεκτρικής ελαστικότητας
$\mathbf{E} = \frac{1}{\sigma} \mathbf{J}$	νόμος του Ohm
$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$	νόμος του Gauss
$\nabla \cdot \mathbf{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$	εξίσωση συνέχειας του φορτίου



ΘΕΩΡΙΑ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ειδική θεωρία σχετικότητας- δομή του χωροχρόνου.

- **On the Electrodynamics of Moving Bodies (1905)**
- Ταχύτητα του φωτός αμετάβλητη ως προς οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς. Χρήση του μετασχηματισμού Lorentz για τη μεταβολή μήκους και χρόνου όταν η ταχύτητα κίνησης προσεγγίζει την ταχύτητα του φωτός.

Γενική θεωρία σχετικότητας – αντικατάσταση της βαρυτικής θεωρίας του Newton.

- **Relativity: The Special and General Theory (1916)**
- καμπύλωση χωροχρόνου.



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Πειραματική επιβεβαίωση κατά την έκλειψη του 1919. Οι θέσεις των άστρων που κάλυπτε το φως του ήλιου εμφανίστηκαν στις διαφοροποιημένες θέσεις από τις γνωστές, όπως προέβλεπε η θεωρία της σχετικότητας.

**Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944),
νήσοι Principe.**





ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΓΙΑ «ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ» ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

Κβαντική θεωρία

Η ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

- Με την βασική της θεώρηση περί **πιθανοκρατίας** κατά τις μετρήσεις στα υποατομικά σωματίδια, καθώς και με την διατύπωση της αρχής της **απροσδιοριστίας**, η κβαντική θεωρία, παρόλο που μαθηματικώς λύνει τα προβλήματα της παρατήρησης και καταγραφής του μικρόκοσμου, έρχεται σε αντίθεση με την κοινή και την κλασική φυσική λογική, όπου η ενέργεια είναι μέγεθος συνεχές και όχι κβαντισμένο ενώ η κίνηση των σωμάτων περιγράφεται από συγκεκριμένη τροχιά, σε κάθε σημείο της οποίας είναι γνωστά όλα τα μεγέθη που σχετίζονται με την συγκεκριμένη κίνηση, δηλαδή τόσο η ακριβής θέση στον χώρο, όσο και η ταχύτητα κίνησης του σώματος. Κύριος αντίπαλος της «ορθόδοξης κβαντομηχανικής» ήταν ο Einstein επειδή δεν πίστευε στην τυχαιότητα στην φύση. Κατά την άποψή του, η κβαντική θεωρία είναι ατελής και υπάρχουν κάποιες «κρυφές» μεταβλητές, που δεν έχουν προσδιοριστεί ακόμη, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την φαινομενική τυχαιότητα των μετρήσεων.



Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ «ΚΡΥΦΩΝ» ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

- Και άλλοι συντάχθηκαν με την θέση του Einstein και κυρίως ο Planck παρόλο που η δική του δουλειά έδωσε τις βάσεις της κβαντικής διατύπωσης. Ένας άλλος σημαντικός εκπρόσωπος της αντίθετης προς την «Κοπεγχάγη» αντίληψης ήταν ο Louis Victor de Broglie παρόλο που αυτός διατύπωσε σε τελική μορφή την αρχή της διττής φύσης του ηλεκτρονίου (υλοκυματική εξίσωση).
- Οι αντίθετοι προς την **σχολή της Κοπεγχάγης** διατύπωσαν κατά καιρούς κάποια «νοητικά πειράματα» με σκοπό να καταδείξουν την αδυναμία της θεωρίας και κατά συνέπεια την ύπαρξη της ιδανικής θεωρίας την οποία μπορούμε σταδιακά να προσεγγίσουμε, μέσω της ανακάλυψης των κρυφών μεταβλητών.



ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

- Το 1935, οι Einstein, Podolsky and Rosen σε ένα άρθρο τους προσπαθούν να παρουσιάσουν ένα υποθετικό πείραμα και ισχυρίζονται ότι εφόσον το αποτέλεσμα της μέτρησης που θα πραγματοποιηθεί είναι γνωστό εκ των προτέρων, πρέπει να υπάρχει κάτι στον πραγματικό κόσμο, ένα **«στοιχείο πραγματικότητας»** που προσδιορίζει το αποτέλεσμα της μέτρησης. Αξιώνουν επίσης τα στοιχεία αυτά να είναι **τοπικά** (local) με την έννοια ότι σχετίζονται με ορισμένο σημείο του χωροχρονικού συνεχούς και επηρεάζονται μόνο από γεγονότα που βρίσκονται εντός του **«κώνου φωτός»** αυτού του σημείου του χωροχρόνου.



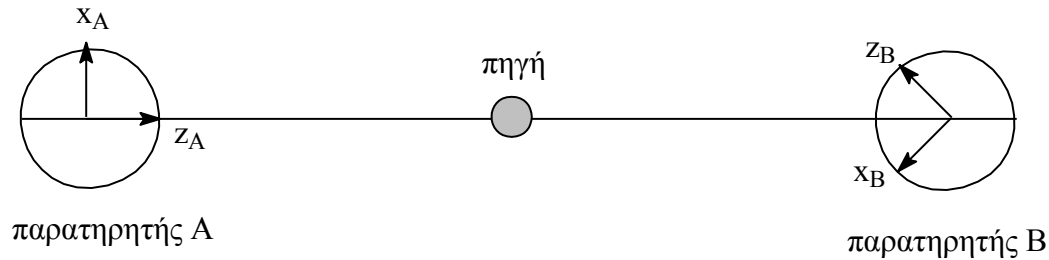
ΤΟ «ΠΕΙΡΑΜΑ EPR» (PHYS. REV., 47, 777, 1935)

- Το **πείραμα EPR** αποτελεί ένα **κβαντικό παράδοξο**, επειδή βασίζεται στην πρόβλεψη από την κβαντομηχανική των μετρήσεων που πραγματοποιούνται σε δύο απομακρυσμένα τμήματα ενός κβαντικού συστήματος, τα οποία όμως εμφανίζονται να έχουν άμεση επικοινωνία μεταξύ τους. Μια απλοποιημένη εκδοχή του πειράματος αυτού είναι η ακόλουθη:

Υπάρχει μια πηγή που εκπέμπει ζεύγη ηλεκτρονίων προς διαμετρικά αντίθετες κατευθύνσεις σε δύο σημεία καταγραφής A και B (στο κείμενο, οι στόχοι ονομάζονται με τυπικά ανθρώπινα ονόματα ως Alice και Bob αντίστοιχα). Μπορούμε να ρυθμίσουμε την συσκευή μας ώστε κάθε ζεύγος ηλεκτρονίων να περιγράφεται από μια κατάσταση με πολλαπλότητα σπιν ίση με ένα, δηλαδή η κατάσταση του συστήματός μας να είναι απλή. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως η επαλληλία δύο επιμέρους καταστάσεων, της I (με το ηλεκτρόνιο που κατευθύνεται στο A να έχει σπιν $+1/2$ ως προς τον άξονα z ενώ το άλλο θα έχει σπιν $-1/2$ ως προς τον ίδιο άξονα) και της II με τα αντίθετα σπιν στα δύο ηλεκτρόνια. Προφανώς δεν είναι δυνατόν να σχετισθεί το ένα ηλεκτρόνιο με μια καθορισμένη κατάσταση σπιν και τα ηλεκτρόνια λέγεται ότι είναι «**μπερδεμένα**» ή «**εμπλεκόμενα**» (entagled).



ΠΕΙΡΑΜΑ EPR



Οι δύο παρατηρητές μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις του σπιν των ηλεκτρονίων που δέχονται.

Έστω λοιπόν ότι τώρα στο A η μέτρηση δείχνει σπιν $+1/2$. Αυτό σημαίνει ότι η κυματική συνάρτηση του κβαντικού συστήματος καταρρέει και καταλήγει να γίνει η I . Αν την ίδια στιγμή γίνει καταγραφή και στο σημείο B, τότε εκεί προφανώς το αποτέλεσμα της μέτρησης, με πιθανότητα 100%, είναι $-1/2$.

Εννοείται ότι η μέτρηση αυτή θα μπορούσε να γίνει ως προς οποιονδήποτε άλλο άξονα (x , y) με την ίδια λογική.



ΠΕΙΡΑΜΑ EPR(συνέχεια)

- Προφανώς στην κβαντομηχανική, τα σπιν κατά την κατεύθυνση x και z είναι παρατηρήσιμα μεγέθη ασυμβίβαστα και κατά συνέπεια εφαρμόζεται σ' αυτά η αρχή της απροσδιοριστίας. Αν λοιπόν στο A η μέτρηση γίνει ως προς τον άξονα z και το αποτέλεσμα είναι $+1/2$ ενώ ταυτόχρονα στο B η μέτρηση γίνεται ως προς τον άξονα x , η πιθανότητα να έχουμε κι εκεί τιμή $+1/2$ είναι μόνο 50% και επιπλέον δεν είναι γνωστό το αποτέλεσμα της μέτρησης πριν αυτή πραγματοποιηθεί
- Το πρόβλημα λοιπόν που τίθεται είναι πως μπορεί να «γνωρίζει» το ηλεκτρόνιο που κατευθύνεται στο B, τι να «δείξει» στην μέτρηση από την στιγμή που το είδος της μέτρησης που θα πραγματοποιηθεί στο A δεν είναι γνωστό; Αυτό προϋποθέτει ότι το ηλεκτρόνιο «γνωρίζει» πράγματα που δεν θα πρεπε για ένα τέτοιου είδους κβαντικό σύστημα.



Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΟΤΗΤΑΣ

- Η αρχή της τοπικότητας αποτελεί μια απόρροια της εφαρμογής της θεωρίας της ειδικής σχετικότητας σύμφωνα με την οποία καμιά πληροφορία δεν μπορεί να μεταδοθεί με ταχύτητα μεγαλύτερη εκείνης του φωτός, και προφανώς έχει κεντρικό ρόλο στην διατύπωση του «πειράματος EPR». Οι συγγραφείς, χωρίς να παραγνωρίζουν την ευρεία επιτυχημένη εφαρμογή της κβαντικής θεωρίας δέχονται ότι αυτή αποτελεί μια μη πλήρη θεωρία και απλώς αυτή την περίοδο είναι η στατιστική προσέγγιση με την μεγαλύτερη επιτυχία για την περιγραφή του φυσικού κόσμου. Η διατύπωση του παραδόξου αυτού βοήθησε στην καλύτερη κατανόηση της κβαντικής θεωρίας, βοηθώντας να διευκρινιστεί το βασικό μη κλασικό περιεχόμενο της μέτρησης σε ένα κβαντικό σύστημα.



ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΟΤΗΤΑΣ

- Πριν από αυτό, η μέτρηση θεωρούνταν απλώς μια διατάραξη του συστήματος μέσω της μέτρησης. Για παράδειγμα, η μέτρηση της θέσης ενός ηλεκτρονίου σημαίνει την ακτινοβόλησή του για να γίνει ορατό, κατά συνέπεια το ηλεκτρόνιο-σύστημα διαταράσσεται και για τον λόγο αυτό θεωρείτο ότι προκύπτει μια κβαντομηχανική αβεβαιότητα ως προς την θέση του.
- Σήμερα αυτή η άποψη δεν έχει θέση στην επιστήμη αφού το πείραμα EPR έδειξε ότι μια «μέτρηση» μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα σωματίδιο χωρίς άμεση διατάραξή του, πραγματοποιώντας μια μέτρηση σε ένα απομακρυσμένο αλλά εμπλεκόμενο μ' αυτό σωματίδιο.



ΟΙ ΑΝΙΣΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ BELL (*Phys.*, 1, 195, 1964)

- Στα 1964 ο Bell έγραψε πώς θα μπορούσε να διερευνηθεί αν η κβαντική θεωρία ή αυτή των κρυφών μεταβλητών περιγράφουν με τον ορθό τρόπο φαινόμενα όπως το παράδοξο του EPR. Μετά από μια εκτεταμένη σειρά συλλογισμών πάντοτε θεωρώντας την αρχή της πλήρους τυχαιότητας, ότι δηλαδή ανεξαρτήτως του άξονα της μέτρησης πάντοτε και στο A και στο B υπάρχει πιθανότητα 50% για καταγραφή του θετικού σπιν προς οποιαδήποτε κατεύθυνση κι αν μετρηθεί, κατέληξε στην ακόλουθη γενική διατύπωση. Έστω ότι πραγματοποιήθηκε ένας σημαντικός αριθμός μετρήσεων στην πορεία ενός πειράματος EPR. Τότε μπορεί να γραφεί η έκφραση $N(+x,-y)$ που παριστάνει τον αριθμό των σωματιδίων για τα οποία το σπιν στην κατεύθυνση x είναι θετικό ενώ στην κατεύθυνση y είναι αρνητικό. Προφανώς, για τον Bell και για όλους μας ισχύει ότι

$$N(+x,-y) = N(+x,-y,+z) + N(+x,-y,-z)$$



ΤΙ ΑΠΕΔΕΙΞΕ Ο BELL;

- Ο Bell απέδειξε ότι, αν ονομάσουμε $n[+x,+y]$ το σύνολο των σωματιδίων για τα οποία προηγήθηκε η μέτρηση στο σημείο A του σπιν ως προς τον άξονα x και έδωσε θετικό πρόσημο και κατόπιν στο σημείο B ως προς τον άξονα y και έδωσε επίσης θετικό πρόσημο, τότε ισχύει η ανισότητα που είναι γνωστή ως ανισότητα του Bell και η οποία έχει την μορφή

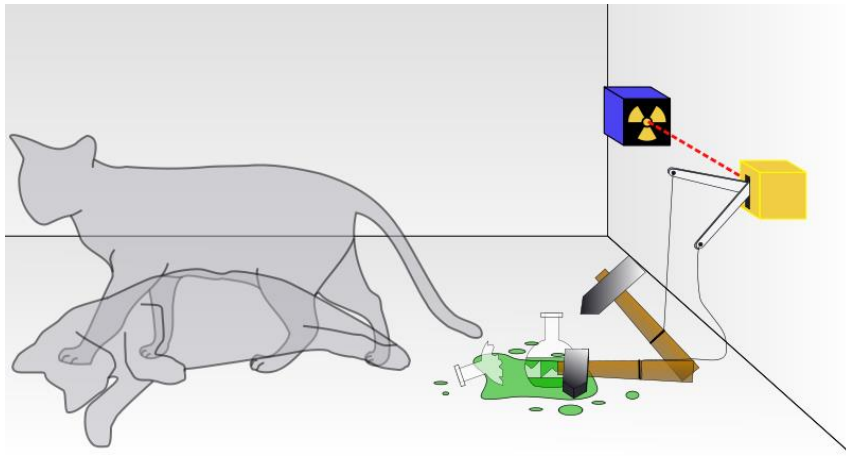
$$n[+x,+y] \leq n[+x,+z] + n[-y,-z]$$

- Επειδή σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί για το ίδιο σωματίδιο μέτρηση σε δύο άξονες, αν αληθεύει η πρώτη εξίσωση, αποδείχθηκε ότι αληθεύει η δεύτερη ανισότητα, στην περίπτωση που ισχύει η θεωρία των κρυφών μεταβλητών.
- Έκτοτε έχουν πραγματοποιηθεί αρκετά πειράματα, ορισμένα μάλιστα με εξεζητημένες διατάξεις, προκειμένου να φανεί αν στις πραγματικές συνθήκες μέτρησης ενός κβαντικού συστήματος με εμπλεκόμενα σωματίδια ισχύουν ή όχι οι **ανισότητες του Bell**. Μέχρι σήμερα σε κανένα από τα πειράματα αυτά οι μετρήσεις δεν διέψευσαν τις προβλέψεις της κβαντικής θεωρίας.



ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΗΣ ΓΑΤΑΣ ΤΟΥ SCHRÖDINGER

- Η μέτρηση πρόκειται να πραγματοποιηθεί παρουσία ενός ζωντανού οργανισμού και ως τέτοιος επελέγη μια γάτα η οποία και θεωρείται ότι τοποθετείται σε ένα κλειστό δοχείο. Στον ίδιο χώρο τοποθετείται ένας μηχανισμός όπου ένας πυρήνας ραδιενεργού στοιχείου έχει πιθανότητα 50% να διασπαστεί στην επόμενη ώρα. Φυσικά, στο τέλος της ώρας η απάντηση της κβαντικής θεωρίας για την κατάσταση της γάτας στο κλειστό δοχείο είναι πως αυτή έχει 50% πιθανότητα να είναι ζωντανή και 50% να είναι νεκρή



Εικόνα 1) Γάτα του SCHRÖDINGER



ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ SCHRÖDINGER

- Ο Schrödinger ακολουθώντας την κβαντική αντιμετώπιση των φαινομένων, μπορεί να περιγράψει την κατάσταση του κβαντικού του συστήματος περιλαμβανόμενης της γάτας, ως τον γραμμικό συνδυασμό δύο διακριτών καταστάσεων, της ζωντανής και της νεκρής γάτας αντίστοιχα και μάλιστα, σύμφωνα με την απαίτηση του πειράματος με συντελεστές ίσους μεταξύ τους. Το ερώτημα που ήθελε να θέσει ο Schrödinger ήταν ακριβώς το πότε ένα κβαντικό σύστημα παύει να αποτελεί μίγμα πιθανών καταστάσεων και μεταπίπτει στην μία ή την άλλη κατάσταση.



ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

- Βεβαίως, αν η γάτα είναι ζωντανή, δεν πρόκειται να «θυμάται» να πέρασε μια περίοδος κατά την οποία ήταν και νεκρή και ζωντανή ταυτόχρονα. Η γάτα ήταν, στην περίπτωση αυτή, ένας ιδιότυπος παρατηρητής ενός πειράματος στον μικρόκοσμο και η κβαντική περιγραφή της την δέχεται να υπάρχει σε ένα μείγμα καταστάσεων, πράγμα απαράδεκτο για έναν παρατηρητή του μικρόκοσμου. Ωστόσο η διευκρίνηση της κατάστασης της γάτας προϋποθέτει την ύπαρξη ενός εξωτερικού παρατηρητή, αυτού δηλαδή που θα ανοίξει το παράθυρο και θα κοιτάξει μέσα στο δοχείο στο τέλος του ωριαίου πειράματος.
- Η εξήγηση της Κοπεγχάγης βασίζεται στην γενική αρχή ότι ένα σύστημα παύει να είναι μια επαλληλία των πιθανών καταστάσεων και μεταπίπτει σε μία από αυτές όταν πραγματοποιείται μια παρατήρηση. Στο εν λόγω πείραμα η φύση της παρατήρησης δεν είναι πλήρως διευκρινισμένη, επειδή μερικοί θεωρούν ότι η κυματική συνάρτηση του συστήματος **πυρήνας-γάτα** μεταπίπτει σε μια από τις δύο δυνατές καταστάσεις μόνο κατά την στιγμή κατά την οποία ανοίγει το παράθυρο του δοχείου, ενώ άλλοι ότι η μέτρηση γίνεται ή πρέπει να θεωρείται ότι γίνεται κατά την στιγμή που ένα σωματίδιο από τον πυρήνα που διασπάται περνά από τον ανιχνευτή.



ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

- Πάντως η ουσιαστική συμβολή της συζήτησης γύρω από το πείραμα αυτό βοήθησε την εξέλιξη των αντιλήψεων σχετικά με την κβαντική θεωρία ως προς το ότι έθεσε το πρόβλημα του παρατηρητή-επιστήμονα.
- Ο επιστήμονας καθώς και η πειραματική διάταξη εξετάζονται με βάση την κλασική φυσική ενώ οι ίδιοι καλούνται να εξετάσουν το κβαντικό σύστημα που μελετάται με όρους της κβαντικής φυσικής. Φάνηκε λοιπόν ότι αυτή η αρχική σκέψη είχε αυτό το θεμελιώδες σφάλμα, το γεγονός δηλαδή ότι το πείραμα και ο παρατηρητής του δεν θεωρούνταν ότι έπρεπε να υπακούουν στους ίδιους νόμους και συγκεκριμένα στους νόμους της κβαντικής θεωρίας και κατά συνέπεια η κυματοσυνάρτηση του συστήματος πρέπει να περιλαμβάνει και την κυματοσυνάρτηση του παρατηρητή.



ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟ ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ Η ΣΤΟ ΤΟΚΙΟ; ΠΕΙΡΑΜΑ DE BROGLIE 1959

- Έστω ένα ηλεκτρόνιο περιορισμένο σ' ένα κιβώτιο με αδιαπέραστα τοιχώματα. Αυτό σημαίνει πως η κυματοσυνάρτηση του Ψ κατανέμεται σε όλο το κιβώτιο, αλλά δεν μπορεί να βγει απ' αυτό. Υποθέτουμε ότι με κάποιο τρόπο, χωρίζουμε το κιβώτιο σε δυο απομονωμένα τμήματα Π και Τ και μεταφέρουμε τα δυο κιβώτια. το ένα στο Παρίσι και το δεύτερο στο Τόκιο. Το σωματίο, που δεν έχει «υλοποιηθεί» ακόμη, έχει ίση πιθανότητα να βρίσκεται και στα δυο επιμέρους τμήματα του αρχικού κιβωτίου. Η κυματοσυνάρτηση Ψ που αναφέρεται στην ετοιμασία του συστήματος πριν από την παρατήρηση χωρίζεται κι αυτή σε δυο μέρη τα Ψ_{Π} και Ψ_{T} . Συνεπώς η κυματική συνάρτηση του σωματιδίου βρίσκεται σε κατάσταση επαλληλίας και έχει την μορφή $\Psi = C_{\Pi}\Psi_{\Pi} + C_{\text{T}}\Psi_{\text{T}}$, ενώ επιπλέον ισχύει $C_{\Pi}^2 + C_{\text{T}}^2 = 1$



ΠΕΙΡΑΜΑ DE BROGLIE 1959, ΜΕΡΟΣ Β

- Εάν τώρα πραγματοποιήσουμε την μέτρηση, δηλαδή ανοίξουμε το κιβώτιο στο Παρίσι, είναι προφανές ότι θα βρούμε ή δεν θα βρούμε το σωματίδιο στον συγκεκριμένο χώρο και μάλιστα, σύμφωνα με την κβαντική θεωρία η πιθανότητα να συμβεί το καθένα από τα δύο αυτά ενδεχόμενα είναι 50%. Εφόσον με το άνοιγμα του κιβωτίου παρατηρήσουμε την ύπαρξη του σωματιδίου, αυθορμήτως γνωρίζουμε το είδος της μέτρησης που θα πραγματοποιήσει κάποιος άλλος ανεξάρτητος ερευνητής στο Τόκιο, εκείνο που έχει συμβεί στην αντίληψη του de Broglie είναι ένα «**κβαντικό άλμα**» με την έννοια ότι την στιγμή της μέτρησης όπως αυτή περιγράφηκε πως έγινε, αυτομάτως οι τιμές των C_H και C_T έπαψαν να είναι ίσες και μετατράπηκαν σε 1 και 0 αντίστοιχα καθώς το σωματίδιο «**πήδηξε**» στο τμήμα του δοχείου που βρισκόταν στο Παρίσι



ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ ASPECT (1981-82)

- Το πείραμα σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε έτσι ώστε να μπορέσει να εξαχθεί ένα γενικό συμπέρασμα υπέρ ή κατά της θεωρίας των κρυφών μεταβλητών και αντίστοιχα κατά ή υπέρ της κβαντικής θεωρίας και αποτελεί στην ουσία την προσπάθεια πειραματικής εκτέλεσης του νοητικού πειράματος EPR.
- Η πηγή αποτελείται από άτομα ασβεστίου στην $4p^2$ διαμόρφωση και την 1S_0 διεγερμένη κατάσταση. Η κατάσταση αυτή δεν φέρει γωνιακή ορμή δηλαδή περιγράφεται με $L=0$. Καθώς τα άτομα αποδιεγείρονται, αρχικά περιέρχεται στην επίσης διεγερμένη κατάσταση $4s^14p^1$ που περιγράφεται ως 1P_1 και εκπέμπει ένα «πράσινο» φωτόνιο με μήκος κύματος 551,3 nm. Από την κατάσταση αυτή το άτομο επανέρχεται στην βασική του κατάσταση $4s^2$ που παριστάνεται ως 1S_0 εκπέμποντας ένα «κυανό» φωτόνιο με μήκος κύματος 422,7 nm.



ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ASPECT

- Επειδή και η βασική κατάσταση δεν έχει γωνιακή ορμή συνεπάγεται ότι τα δύο φωτόνια που εκπέμπονται πρέπει να έχουν αντίθετες γωνιακές ορμές και κατά συνέπεια να είναι κυκλικά πολωμένα σε αντίθετες κατευθύνσεις. Τα φίλτρα που παρεμβάλλονται στην διάταξη επιτρέπουν μόνο την μετάδοση φωτονίων του ενός χρώματος, έτσι ώστε τα πράσινα φωτόνια ακολουθούν τον δρόμο A και τα κυανά τον δρόμο B. Στην πορεία και των δύο δεσμών παρεμβάλλονται φίλτρα πόλωσης. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε φίλτρο, το οποίο έχει καθορισμένη κατεύθυνση πόλωσης, το φως με την ίδια πόλωση θα διέρχεται ενώ εκείνο με την κάθετη κατεύθυνση θα ανακλάται. Κατά συνέπεια κάθε φωτόνιο που διέρχεται από ένα φίλτρο οδηγείται σε έναν από δύο διαφορετικούς δρόμους, όπου διέρχεται από έναν φωτοπολλαπλασιαστή.



ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ASPECT

- Εφόσον ένα φωτόνιο καταγραφεί σε έναν από τους τέσσερις συνολικά φωτοπολλαπλασιαστές, αυτό σημαίνει ότι είχε περάσει από το αντίστοιχο φίλτρο και στον πίνακα καταγραφής στέλνεται το μήνυμα +1 εάν είχε πόλωση παράλληλη προς το φίλτρο και -1 αν αυτή ήταν κάθετη προς την πόλωση του φίλτρου. Αφού υπολογίστηκε ο χρόνος μετάδοσης φωτεινού σήματος μεταξύ των καταγραφέων σε 40 ns λήφθηκε πρόνοια ώστε σήματα που καταχωρούνταν και που είχαν διαφορά στον χρόνο καταγραφής τους μεγαλύτερη από 20 ns να απορρίπτονται επειδή θα ενείχαν το στοιχείο της αλληλεπίδρασης. Επιπλέον, στον τελικό καταγραφέα τα αποτελέσματα της καταγραφής από τις θέσεις A και B (δηλαδή τα +1 ή -1) πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους, στην περίπτωση που είναι αποδεκτά μετά τον παραπάνω περιορισμό και αποτελούν την μέτρηση.



ΘΕΩΡΙΑ ΚΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ ASPECT

- Η μέση τιμή του πειράματος είναι προφανώς ο μέσος όρος των επιμέρους μετρήσεων, ή ακόμη καλύτερα το άθροισμα όλων των πιθανών τιμών που μπορεί να ληφθούν επί την πιθανότητα να ληφθούν κατά την μέτρηση. Εάν ορισθεί ως t η γωνία μεταξύ των δύο φίλτρων πόλωσης τότε η αναμενόμενη τιμή για το πείραμα είναι, κατά την κβαντική θεωρία, ίση με

$$0,5 (\cos^2(t) - \sin^2(t) - \sin^2(t) + \cos^2(t)) = \cos^2(t) - \sin^2(t) = \cos(2t)$$

- Η θεωρία των κρυφών μεταβλητών προβλέπει για το μέγεθος αυτό μια τιμή οπωσδήποτε μικρότερη από 2 ενώ η κβαντική θεωρία μια τιμή ίση με 2,828.



ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

- Οι τιμές αυτές έχουν σημαντική διαφορά μεταξύ τους έτσι ώστε το παραπάνω πείραμα είναι σε θέση να διευκρινίσει αν υπό τις συνθήκες που εκτελέστηκε, υποστηρίζει την μία θεωρία και απορρίπτει την άλλη. Αργότερα προτάθηκε ότι έπρεπε να ληφθούν υπόψιν διάφορες διορθώσεις ως προς την διαπερατότητα του μέσου που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των φίλτρων και των λοιπών εξαρτημάτων και όταν αυτές πραγματοποιήθηκαν, η προβλεπόμενη από την κβαντική θεωρία τιμή μειώθηκε στα **2,70**.
- **Η τιμή που προέκυψε από την εκτέλεση του πειράματος είναι $2,697 \pm 0,015$** , κάτι το οποίο αναμφίβολα απορρίπτει την θεωρία των κρυφών μεταβλητών και επιβεβαιώνει την ορθότητα της κβαντικής θεωρίας και μάλιστα με πολύ καλή προσέγγιση στην τιμή που αυτή προβλέπει.



ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΓΙΑ «ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ» ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

- Πείραμα Aspect
- Freedman και Clauser, το 1972
- Tittel και η ομάδα της Geneva, το 1998.
- Weihs στο Innsbruck το 1998.
- Το πείραμα του Pan όπου περιλαμβάνεται μια τριάδα σωματιδίων και πραγματοποιήθηκε το 2000.
- Gröblacher το 2007 αποδεικνύει ότι η κβαντική μηχανική επιτρέπει την τοπικότητα αλλά είναι «μη πραγματική».
- Salart το 2008 ένα γιγάντιο πείραμα τύπου EPR με μια απόσταση περίπου 18 χιλιομέτρων μεταξύ των ανιχνευτών.



Εικόνα 2. Alain Aspect (15-6-1947 -)

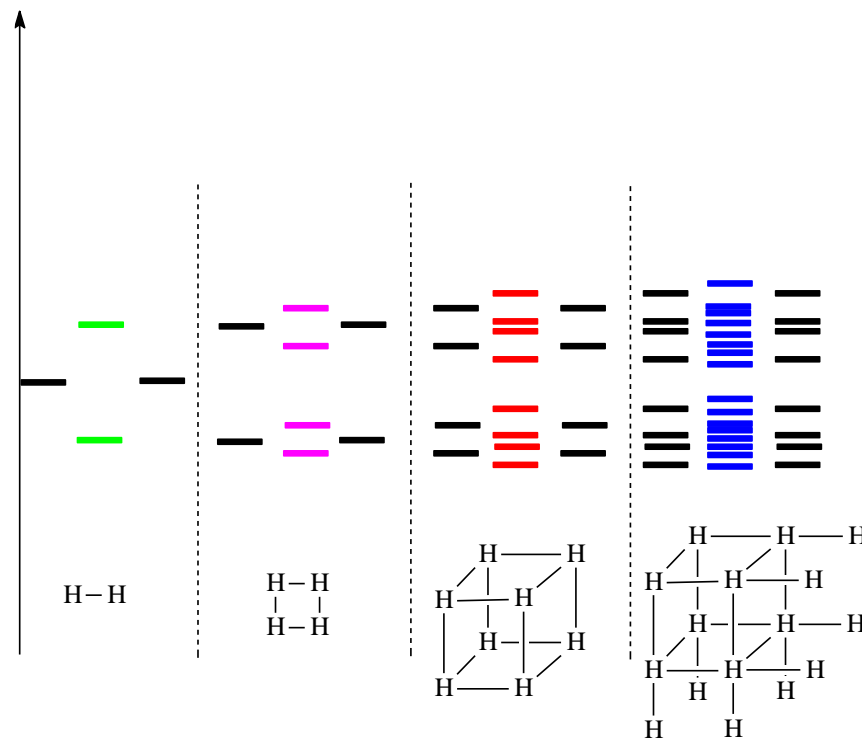


ΚΥΡΙΟΙ ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

- Albert Einstein (14-3-1879 – 18-4-1955)
- Max Karl Ernst Ludwig Planck (23-4-1858 – 4-10-1947)
- Erwin Rudolf Schrödinger (12-8-1887 – 4-1-1961)
- Louis Victor Pierre Raymond duc de Broglie (15-8-1892 – 19-3-1987)
- Niels Henrik David Bohr (7-10-1885 – 18-11-1962)
- Werner Karl Heisenberg (5-12-1901 – 1-2-1976)
- Paul Adrien Maurice Dirac (8-8-1902 – 20-10-1984)
- Max Born (11-12-1882 – 5-1-1970)



ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΟΡΙΩΝ



Μικρά μόρια → Μεσαίου μεγέθους μόρια → Μακρομόρια
 Διακριτές ενεργειακές καταστάσεις → Ομάδες τροχιακών → Ενεργειακές ζώνες
 Κβαντική περιγραφή → Οριακή κατάσταση → Μακροσκοπική περιγραφή



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
- Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες
- Εικόνα 1: Γάτα του SCHRÖDINGER
- >< [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schrodingers_cat.svg) >
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schrodingers_cat.svg>
- Εικόνα 2: < Alain Aspect (15-6-1947 -)
- >< [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:0012-alain-asp_preview_ecran.jpg) > <
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:0012-alain-asp_preview_ecran.jpg >
- Εικόνα 3: <αναφορά><άδεια με την οποία διατίθεται> <σύνδεσμος><πηγή><κ.τ.λ>
- Εικόνα 4: <αναφορά><άδεια με την οποία διατίθεται> <σύνδεσμος><πηγή><κ.τ.λ>
- Εικόνα 5: <αναφορά><άδεια με την οποία διατίθεται> <σύνδεσμος><πηγή><κ.τ.λ>
- Εικόνα 6: <αναφορά><άδεια με την οποία διατίθεται> <σύνδεσμος><πηγή><κ.τ.λ>
- Εικόνα 7: <αναφορά><άδεια με την οποία διατίθεται> <σύνδεσμος>< πηγή><κ.τ.λ>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Όνομα μέλους ή μελών ΔΕΠ. «Τίτλος Μαθήματος. Τίτλος ενότητας». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: <Άννα Μάντη>
Θεσσαλονίκη, <Δεκέμβριος 2014>



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **X.YZ**.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση **X1.Y1Z1** διαθέσιμη εδώ. (Συνδέστε στο «εδώ» τον υπερσύνδεσμο).
- Έκδοση **X2.Y2Z2** διαθέσιμη εδώ. (Συνδέστε στο «εδώ» τον υπερσύνδεσμο).
- Έκδοση **X3.Y3Z3** διαθέσιμη εδώ. (Συνδέστε στο «εδώ» τον υπερσύνδεσμο).



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

