

# Ιστορία των Θετικών Επιστημών

Ενότητα 15: Κβαντική Φυσική

Ευθύμιος Ντάλλας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τμήμα: Ιστορίας, Αρχαιολογίας, Κοινωνικής  
Ανθρωπολογίας

# Σκοποί Ενότητας

Η κατανόηση πώς η μελέτη των ατομικών φαινομένων και η προσπάθεια μαθηματικοποίησης αυτών οδήγησαν στην κβαντική φυσική. Η κατανόηση της αλλαγής που έφερε η κβαντική φυσική στην εικόνα μας για το σύμπαν.

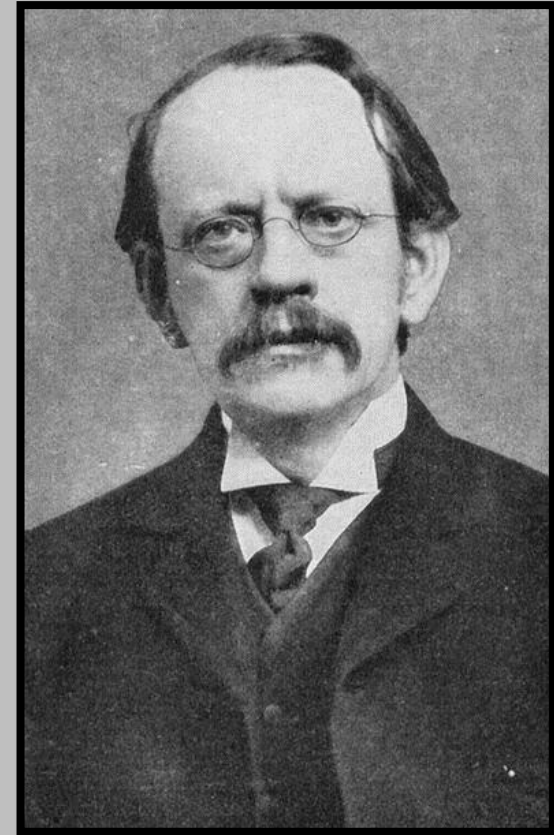
# Περιεχόμενα Ενότητας

1. Καθοδικές ακτίνες
2. Ακτινοβολία μέλανος σώματος
3. Νόμος του Πλανκ – 1
4. Νόμος του Πλανκ – 2
5. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο
6. Ατομική φυσική
7. Διϊσμός σωματιδίου-κύματος
8. Η εξίσωση του Σρέντιγκερ
9. Αρχή της απροσδιοριστίας
10. Η σχολή της Κοπεγχάγης
11. Η γάτα του Σρέντιγκερ
12. Κβαντικά παράδοξα
13. Ισχυρή πυρηνική δύναμη
14. Ασθενής πυρηνική δύναμη
15. Το πρότυπο μοντέλο
16. Η ροή του χρόνου
17. Θερμοδυναμική
18. Εντροπία
19. Προς μια θεωρία των πάντων;

# Κβαντική Φυσική

# Καθοδικές ακτίνες

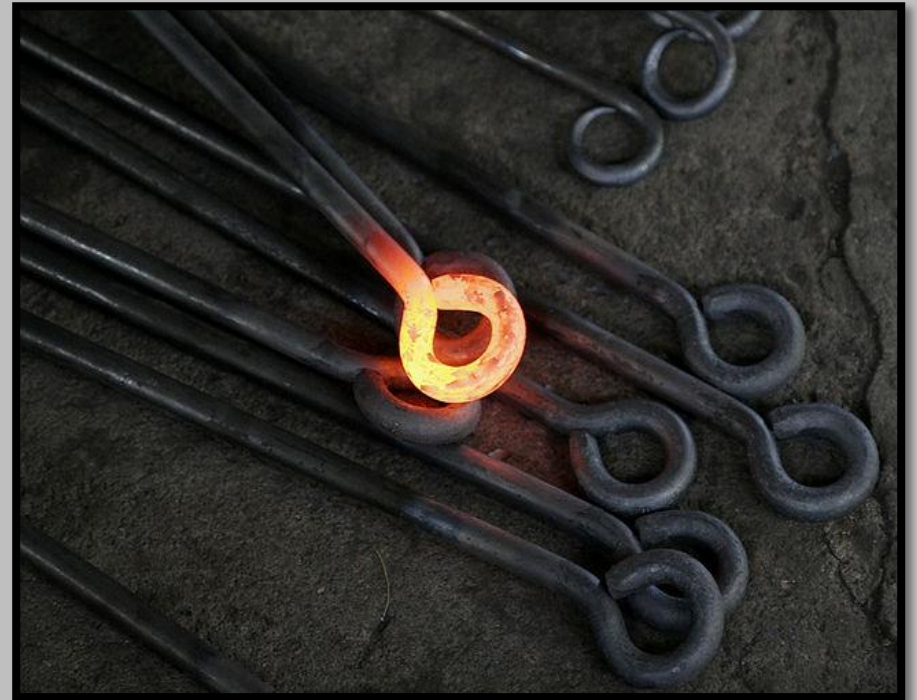
- ▶ Δέσμες ηλεκτρονίων ελευθερώνονται από τα μέταλλα όταν αυτά βρίσκονται σε κενό και διέρχεται από μέσα τους ηλεκτρικό ρεύμα
- ▶ Εφαρμογές:
  - Ακτινογραφία
  - Τηλεόραση
  - Ηλεκτρονικές λυχνίες
  - Λαμπτήρες φθορισμού



Ο Ρέντγκεν (Wilhelm Roentgen, 1845-1923)

# Ακτινοβολία μέλανος σώματος

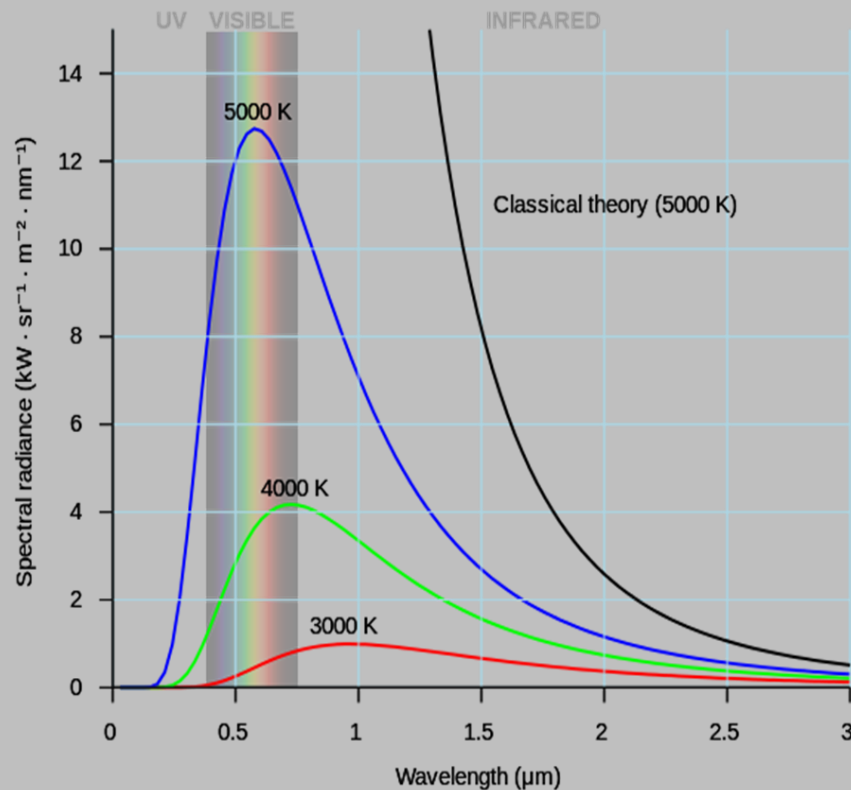
- ▶ Ένα σώμα όταν θερμαίνεται παράγει και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- ▶ Η ιδανική περίπτωση εκπομπού ονομάζεται «μέλαν σώμα»
- ▶ Νόμος Στέφαν-Μπόλτζμαν:
  - Η θερμική ακτινοβολία αυξάνεται με την τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας



Το πυρακτωμένο σίδηρο εκπέμπει φως, η πιο χαρακτηριστική περίπτωση θερμικής ακτινοβολίας

# Νόμος του Πλανκ - 1

- ▶ Το φάσμα εκπομπής ενός μέλανος σώματος εξαρτάται αποκλειστικά από τη θερμοκρασία



Το φάσμα της ακτινοβολίας μέλανος σώματος σε διαφορετικές θερμοκρασίες

(3)

- ▶ Για να ερμηνευθεί το φαινόμενο πρέπει να δεχτούμε ότι η ενέργεια εκπέμπεται ή απορροφάται σε διακριτά «πακέτα», τα κβάντα

# Νόμος του Πλανκ - 2

- ▶ Τα κβάντα έχουν ενέργεια ανάλογη της συχνότητας
- ▶ Ο Πλανκ πίστευε ότι αυτό σχετίζεται με τον μηχανισμό εκπομπής και απορρόφησης κι όχι με την ίδια τη φύση της ακτινοβολίας

Ο νόμος του Πλανκ

$$I'(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

$$E = h\nu = \hbar\omega$$

Η σταθερά του Πλανκ στην σχέση ενέργειας-συχνότητας

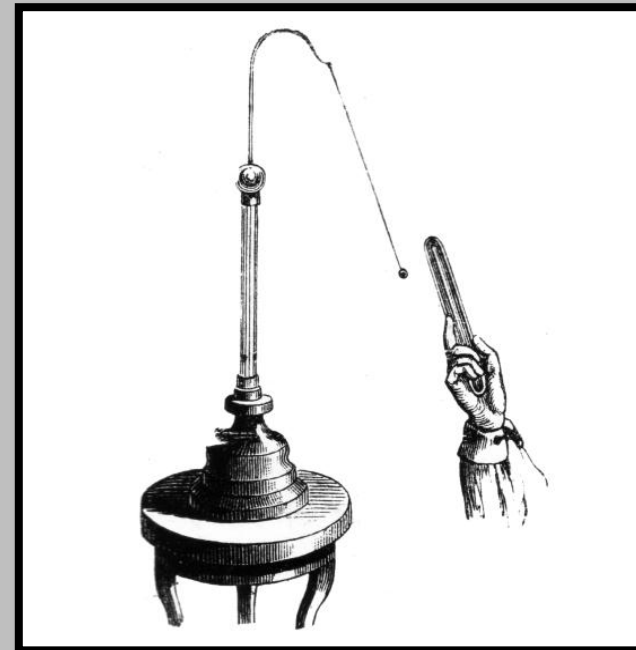


Ο Πλανκ (Karl Ernst Ludwig Marx Planck, 1858-1947)



# Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

- ▶ Διάφορα υλικά εκπέμπουν καθοδικές ακτίνες όταν βομβαρδίζονται με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- ▶ Ο Αϊνστάιν ερμήνευσε το φαινόμενο και τιμήθηκε με Νόμπελ
- ▶ Βασική παραδοχή: Το φως αποτελείται από κβάντα
- ▶ Αυτά αργότερα ονομάστηκαν φωτόνια

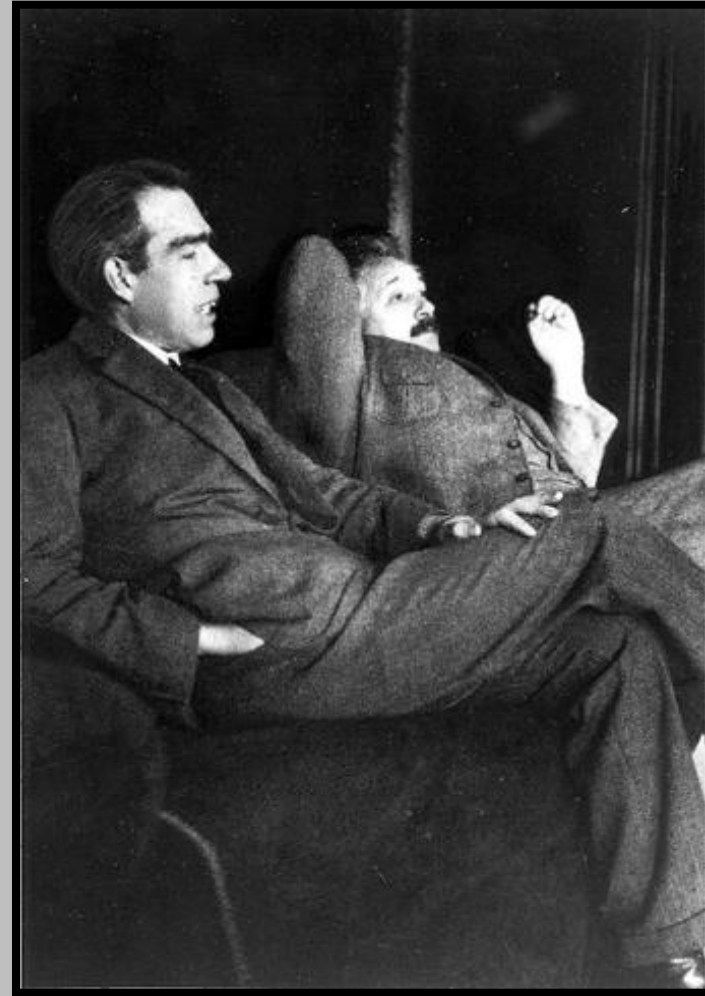


Κρατώντας τη λάμπα υπεριωδών μπροστά στο φύλλο ψευδαργύρου το ηλεκτροσκόπιο δείχνει την παρουσία φορτίων.

(5)

# Ατομική φυσική

- ▶ Μια σειρά από πειράματα έδωσαν εξαιρετικές πληροφορίες για τη άτομα και τη δομή τους, τα στοιχειώδη σωμάτια και τη ραδιενέργεια
- ▶ Η κβαντική φυσική βρήκε γρήγορα εφαρμογή στην ερμηνεία της δομής της ύλης



Ο Μπορ (Niels Henrik David Bohr, 1885-1962) συζητά με τον Αϊνστάϊν θέματα κβαντικής φυσικής στο σπίτι του μαθηματικού Έρενφεςτ (Paul Ehrenfest, 1880-1933) το 1925

# Διϊσμός σωματιδίου-κύματος

- ▶ Το φως έχει άλλοτε κυματική και άλλοτε σωματιδιακή συμπεριφορά
- ▶ Είναι ταυτόχρονα και κύμα και σωματίδιο
- ▶ Κάθε σωματίδιο (όχι μόνο το φως) μπορεί να περιγραφεί ως κύμα

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Η εξίσωση (1924) του  
ΝτεΜπρολί

# Η εξίσωση του Σρέντιγκερ

- ▶ Θεώρησε το ηλεκτρόνιο ως κύμα
- ▶ Παρουσίασε ένα μοντέλο του ατόμου βασισμένο στις ιδέες του ΝτεΜπρολί
- ▶ Εισήγαγε την έννοια του σπιν
- ▶ Μελέτησε θέματα μηχανικής από τη σκοπιά της κβαντικής φυσικής



Ο Σρέντιγκερ (Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger,  
1887-1961) (7)

# Αρχή της απροσδιοριστίας

- ▶ Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε επακριβώς όλες τις παραμέτρους ενός συστήματος
- Αν γνωρίζουμε επακριβώς τη θέση δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την ορμή και το αντίστροφο

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

- ▶ Ο παρατηρητής επιδρά στο παρατηρούμενο



Ο Χάιζενμπεργκ (Werner Heisenberg, 1901-1976)

# Η σχολή της Κοπεγχάγης

- ▶ Οι αρχές (Μπορ – Μπόρν – Χάιζενμπεργκ):
  - Ένα οποιοδήποτε σύστημα περιγράφεται από μια κυματοσυνάρτηση  $\Psi$ , η οποία εμπεριέχει όλες τις γνώσεις ενός παρατηρητή για το σύστημα.
  - Η περιγραφή της φύσης είναι στατιστική. Η πιθανότητα ενός συμβάντος είναι ανάλογη με το τετράγωνο του πλάτους της κυματοσυνάρτησης.
  - Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε επακριβώς όλες τις παραμέτρους ενός συστήματος. Οι ποσότητες που δεν γνωρίζουμε επακριβώς πρέπει να περιγράφονται με πιθανότητες.
  - Η ύλη εμφανίζει τον δυϊσμό κύματος-σωματιδίου. Ένα πείραμα μπορεί να αποκαλύπτει τη κυματική ή τη σωματιδιακή φύση, αλλά όχι και τα δύο ταυτόχρονα.
  - Τα όργανα μετρήσεων μπορούν να μετρήσουν μόνο κλασικά μεγέθη όπως η θέση κι η ορμή, γιατί δεν είναι κβαντικές συσκευές.
  - Η κβαντομηχανική περιγραφή μεγάλων συστημάτων πρέπει να καταλήγει σε αποτελέσματα συμβατά με τη κλασική μηχανική.

# Η γάτα του Σρέντιγκερ

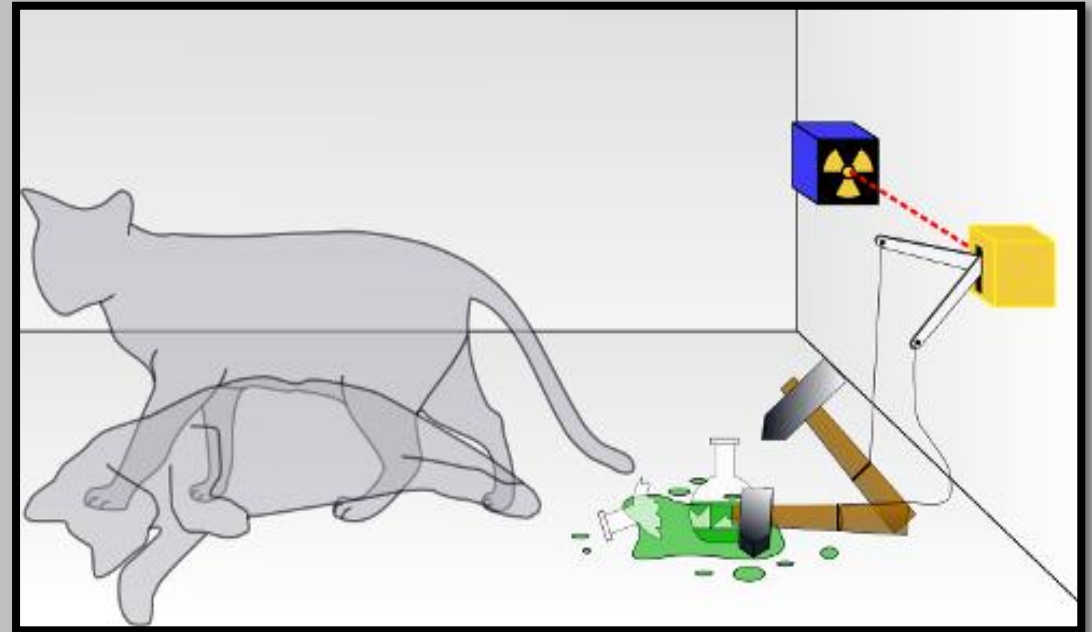
## ► Υποκειμενική θεώρηση:

- Η κυματοσυνάρτηση είναι απλά μαθηματική σύμβαση

## ► Αντικειμενική θεώρηση:

- Η κυματοσυνάρτηση έχει πραγματική υπόσταση

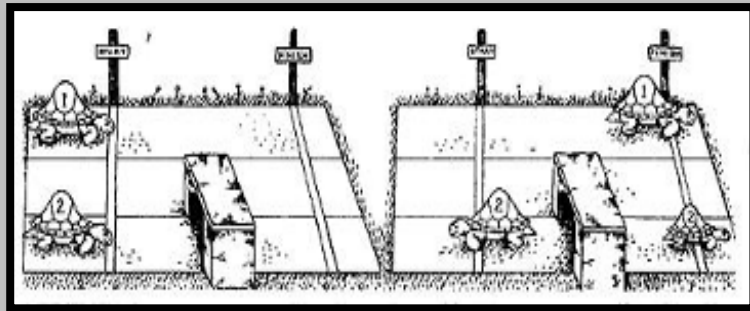
- Στην δεύτερη περίπτωση, η γάτα του πειράματος είναι ταυτόχρονα και ζωντανή και νεκρή!



Η γάτα του Σρέντιγκερ

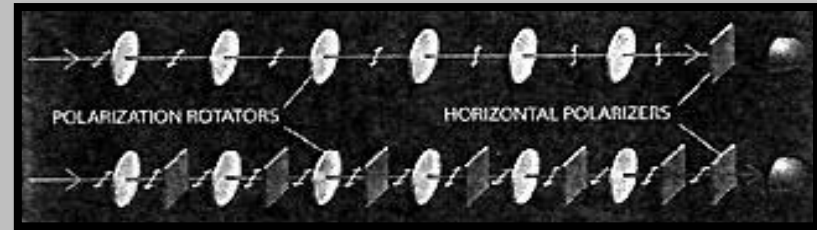
# Κβαντικά παράδοξα

- ▶ Το φαινόμενο της κβαντικής σήραγγας



(10)

- ▶ Το κβαντικό παράδοξο του Ζήνωνα

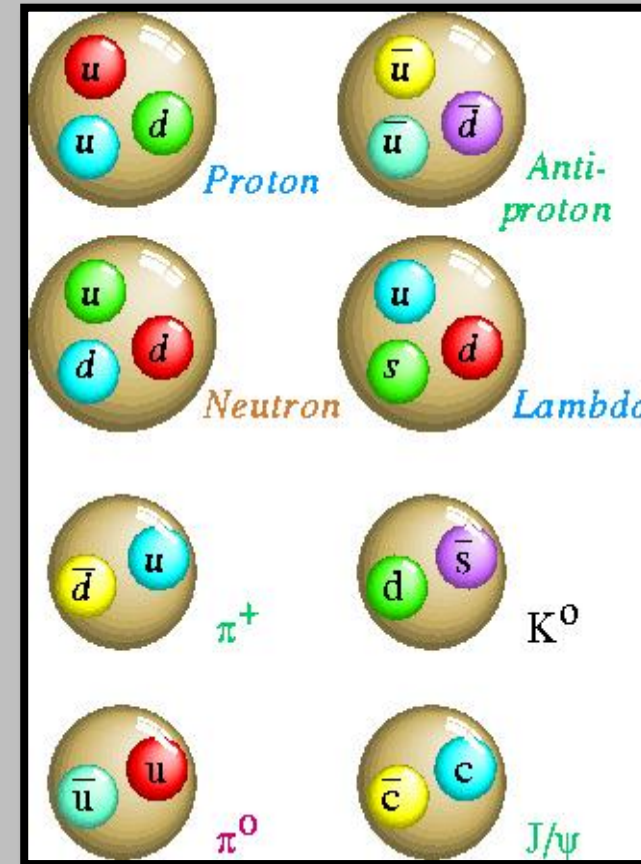


(11)



# Ισχυρή πυρηνική δύναμη

- ▶ Μόρια → Άτομα → Αδρόνια → Κουάρκ
- ▶ Τα κουάρκ έχουν «γεύσεις» και «χρώματα»
- ▶ Η ισχυρή πυρηνική δύναμη συγκρατεί τα κουάρκ μεταξύ τους για να δημιουργηθούν τα πρωτόνια και τα νετρόνια
- ▶ Η ισχυρή πυρηνική δύναμη μεταφέρεται με σωματίδια που ονομάζονται «γλουόνια»

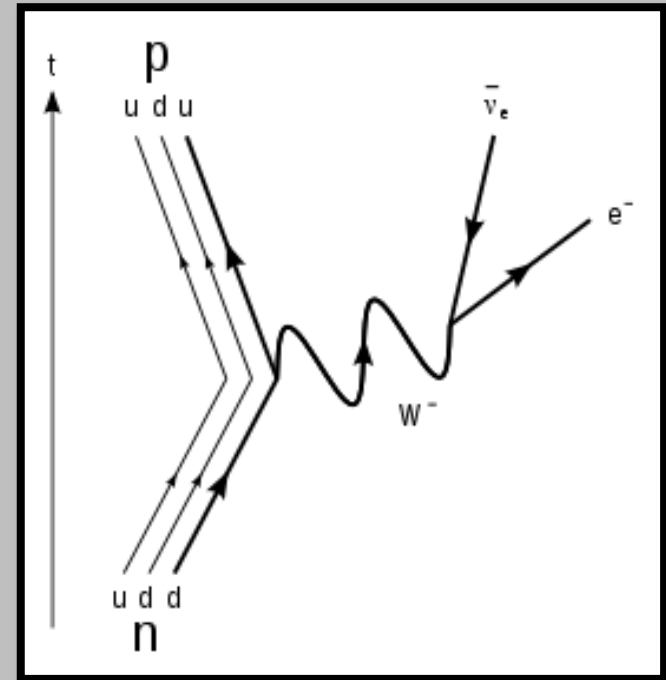


Δεν είναι τυχαίο ότι οι 6 γεύσεις των κουάρκ (πάνω, κάτω, παράξενο, γοητευτικό, βάση κορυφή) και τα 3 χρώματά τους (κόκκινο, πράσινο, μπλε) χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά την εποχή της ψυχεδέλιας.

Η θεωρία προτάθηκε από τον Γκελ-Μαν (Murray Gell-Mann, 1929-) το 1964 με το όνομα κβαντική χρωμοδυναμική, και για αυτή του απονεμήθηκε το νόμπελ το 1969

# Ασθενής πυρηνική δύναμη

- ▶ Σε αυτή οφείλονται κάποια είδη ραδιενέργειας
- ▶ Το πιο γνωστό είναι η εκπομπή ηλεκτρονίων από τα νετρόνια του πυρήνα των ατόμων
- ▶ Η ασθενής πυρηνική δύναμη και ο ηλεκτρομαγνητισμός ενοποιήθηκαν σε μία και μόνη δύναμη που ονομάστηκε ηλεκτρασθενής



Η βήτα διάσπαση, όπου ένα νετρόνιο μετασχηματίζεται σε πρωτόνιο με ταυτόχρονη παραγωγή ενός ηλεκτρονίου και ενός ηλεκτρονιακού νετρίνιου μέσω ενός βαρέως μποζονίου  $W^-$

# Το πρότυπο μοντέλο

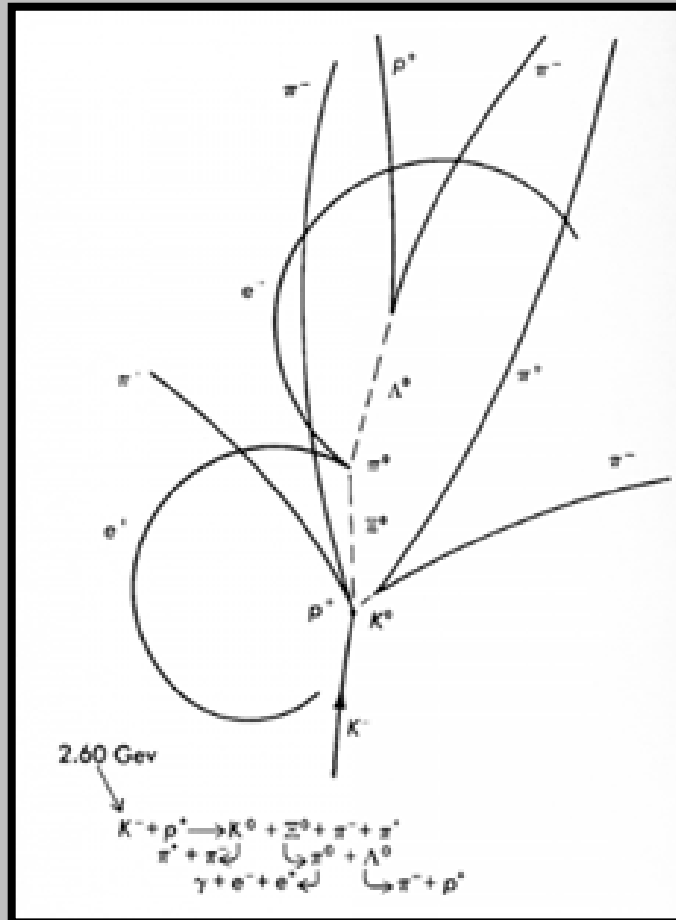
- Η ενοποίηση της ισχυρής πυρηνικής και της ηλεκτρασθενούς δύναμης έγινε μέσα από μια πολύπλοκη μαθηματικά θεωρία

|         | I  | II   | III   |  |
|---------|--|--|---|--|
| mass→   | 2.4 MeV  | 1.27 GeV   | 171.2 GeV   | 0  |
| charge→ | $\frac{2}{3}$  | $\frac{2}{3}$  | $\frac{2}{3}$   | 0  |
| spin→   | $\frac{1}{2}$  | $\frac{1}{2}$  | $\frac{1}{2}$   | 1  |
| name→   | <b>u</b><br>up   | <b>c</b><br>charm  | <b>t</b><br>top   | <b>γ</b><br>photon   |
| Quarks  | 4.8 MeV<br>$-\frac{1}{3}$<br>$\frac{1}{2}$<br><b>d</b><br>down             | 104 MeV<br>$-\frac{1}{3}$<br>$\frac{1}{2}$<br><b>s</b><br>strange        | 4.2 GeV<br>$-\frac{1}{3}$<br>$\frac{1}{2}$<br><b>b</b><br>bottom        | 0<br>0<br>1<br><b>g</b><br>gluon                               |
|         | <2.2 eV<br>0<br>$\frac{1}{2}$<br><b>ν<sub>e</sub></b><br>electron neutrino | <0.17 MeV<br>0<br>$\frac{1}{2}$<br><b>ν<sub>μ</sub></b><br>muon neutrino | <15.5 MeV<br>0<br>$\frac{1}{2}$<br><b>ν<sub>τ</sub></b><br>tau neutrino | 91.2 GeV<br>0<br>1<br><b>Z</b><br>weak force                   |
|         | 0.511 MeV<br>-1<br>$\frac{1}{2}$<br><b>e</b><br>electron                   | 105.7 MeV<br>-1<br>$\frac{1}{2}$<br><b>μ</b><br>muon                     | 1.777 GeV<br>-1<br>$\frac{1}{2}$<br><b>τ</b><br>tau                     | 80.4 GeV<br>$\pm 1$<br>1<br><b>W<sup>±</sup></b><br>weak force |
| Leptons |  |  |   | Bosons (Forces)  |

Τα στοιχειώδη σωματίδια του πρότυπου μοντέλου  
(14)

# Η ροή του χρόνου

- ▶ Ο χρόνος φαίνεται να είναι παντού μονοδιάστατος
- ▶ Στα ατομικά φαινόμενα ο χρόνος μπορεί να αντιστραφεί
- ▶ Στον μακρόκοσμο όμως ο χρόνος έχει συγκεκριμένη φορά



Η ανακάλυψη του ποζιτρονίου από τις σημειώσεις του Άντερσον (Carl David Anderson, 1905-1991)

# Θερμοδυναμική

- ▶ Ξεκίνησε από τη μελέτη της θερμότητας
  - Αν δύο συστήματα βρίσκονται σε θερμοδυναμική ισορροπία με ένα τρίτο, τότε βρίσκονται και σε ισορροπία μεταξύ τους
  - Η αλλαγή της εσωτερική ενέργειας ενός κλειστού συστήματος ισούται με το άθροισμα της αύξησης της θερμότητας συν το έργο που εκτελείται
  - Η συνολική εντροπία ενός κλειστού συστήματος αυξάνει με τον χρόνο
  - Η εντροπία ενός συστήματος είναι 0 όταν η θερμοκρασία του πέσει στο απόλυτο μηδέν



Ο Καρνό (Nicolas Léonard Sadi Carnot, 1796-1832)  
ήταν ο πατέρας της θερμοδυναμικής (16)

# Εντροπία

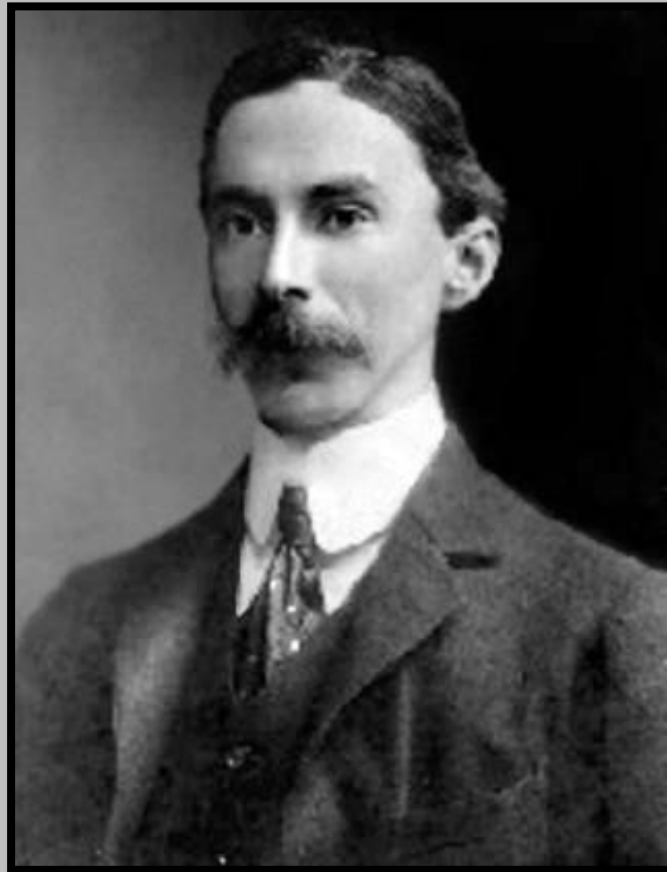
- ▶ Υπάρχει μια τάση τα γεγονότα να συμβαίνουν με τέτοιο τρόπο ώστε η τάξη να μειώνεται
- ▶ Αυτό ίσως να συνδέεται με τη φορά του χρόνου
- ▶ Πρόκειται για το παλαιότερο ερώτημα της φυσικής που έχει μείνει αναπάντητο

# Προς μια θεωρία των πάντων;

- ▶ Αυτή τη στιγμή οι προσπάθειες ενοποίησης της βαρύτητας με την υπόλοιπη φυσική δεν έχουν αποδώσει
- ▶ Ενδεχομένως να μην υπάρχει καν μια τελική θεωρία της φυσικής
- ▶ Μπορεί να καταλήξουμε σε μια ατέρμονα αλυσίδα ολοένα θεμελιωδέστερων αρχών

# ΣΤΟ ΕΠΌΜΕΝΟ...

- ▶ Η μαθηματική λογική



(17)



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Παρόμοια Διανομή 4.0 [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».



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

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

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

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων 1

- Εικόνα 1: <" J.J Thomson"><Δημιουργός: Not Mentioned.><PD> < [http://en.wikipedia.org/wiki/File:J.J\\_Thomson.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:J.J_Thomson.jpg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 2: <" Hot metalwork"><Δημιουργός: Fir0002/Flagstaffotos.><CCBYNC> < [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hot\\_metalwork.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hot_metalwork.jpg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 3: <" Black body"><Δημιουργός: DARTH Kule.><PD> < [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Black\\_body.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Black_body.svg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 4: <" Max Planck (Nobel 1918)"><Δημιουργός: AB Lagrelus & Westphal. The American Institute of Physics also credits the photo [1] to AB Lagrelus & Westphal, which is the Swedish company used by the Nobel Foundation for most photos of its book series Les Prix Nobel..><PD> < [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Max\\_Planck\\_%28Nobel\\_1918%29.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Max_Planck_%28Nobel_1918%29.jpg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 5: <" Drawing of a pith ball electroscope, invented 1754 by John Canton. The ball is shown attracted to an electrically charged object held in the hand."><Δημιουργός: Morten Bisgaard.><PD> < [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opfindelsernes\\_bog3\\_fig282.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opfindelsernes_bog3_fig282.png)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 6: <" Niels Bohr Albert Einstein by Ehrenfest"><Δημιουργός: Paul Ehrenfest.><PD> < [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Niels\\_Bohr\\_Albert\\_Einstein\\_by\\_Ehrenfest.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Niels_Bohr_Albert_Einstein_by_Ehrenfest.jpg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 7: <" Erwin Schrödinger"><Δημιουργός: uploaded as Bild:Erwin\_Schrödinger.jpg on 10. Mär 2005 18:13 by Dilerius with following description.><PD> < [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Erwin\\_Schr%C3%B6dinger.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Erwin_Schr%C3%B6dinger.jpg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 8: <" Werner Heisenberg"><Δημιουργός: Bundesarchiv, Bild183-R57262 / CC-BY-SA.> < [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bundesarchiv\\_Bild183-R57262,\\_Werner\\_Heisenberg.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_Bild183-R57262,_Werner_Heisenberg.jpg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 9: <" Schrodingers cat"><Δημιουργός: Dhatfield.><CCBYSA> < [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Schrodingers\\_cat.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Schrodingers_cat.svg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 10: <" RACING TORTOISES"><Δημιουργός: Raymond Chiao, Paul Kwait, Aephraim Steinberg.><Fair Use> < <http://www.dhushara.com/book/quantcos/qnonloc/qnonloc.htm>>
- Εικόνα 11: <" The Quantum Zeno Effect"><Δημιουργός: Raymond Chiao, Paul Kwait, Aephraim Steinberg.><Fair Use> < <http://www.dhushara.com/book/quantcos/qnonloc/qnonloc.htm>>

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων 2

- Εικόνα 12: <" Οι Γεύσεις και τα χρώματα των quark"><Πηγή: Άγνωστη: Fair Use>
- Εικόνα 13: <" Beta Negative Decay"><Δημιουργός: Joel Holdsworth><PD> < [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Beta\\_Negative\\_Decay.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Beta_Negative_Decay.svg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 14: <"Standard Model of Elementary Particles"><Δημιουργός: MissMJ> <CCBY>< [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard\\_Model\\_of\\_Elementary\\_Particles.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 15: <" The antimatter electron or positron"><Δημιουργός: Harvey E. White, Modern College Physics 6th ed. (Van Nostrand Reinhold, 1972), pg 1011 and 1014> <Fair Use>< <http://www.upscale.utoronto.ca/PVB/Harrison/AntiMatter/AntiMatter.html>>
- Εικόνα 16: <" Sadi Carnot"><Δημιουργός: Louis-Léopold Boilly> <PD>< [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sadi\\_Carnot.jpeg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sadi_Carnot.jpeg)><Wikimedia Commons>
- Εικόνα 17: <" Russell1907-2"><Δημιουργός: Άγνωστος><PD> < <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Russell1907-2.jpg>><Wikimedia Commons>