



ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΑΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΟ ΣΧΟΛΕΙΟ

Δρ Μιχάλης Καραδημητρίου

Σύλλογος Φυσικών Κρήτης

Η ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΟ ΓΥΡΙΣΜΑ ΤΟΥ ΑΙΩΝΑ

"Όλοι οι θεμελιώδεις νόμοι και δεδομένα της φυσικής επιστήμης έχουν ήδη ανακαλυφθεί και είναι τόσο σταθερά εδραιωμένοι ώστε η πιθανότητα να ανατραπούν κάποτε, σαν αποτέλεσμα νέων ανακαλύψεων, είναι τελείως μακρινή."

A. Michelson, γύρω στο 1900

Η ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΟ ΓΥΡΙΣΜΑ ΤΟΥ ΑΙΩΝΑ

"Η Φυσική έχει πια λύσει τα θεμελιακά προβλήματα. Από τώρα και μπρος δεν θα είναι παρά απλή εφαρμογή των γενικών νόμων.

*Μένουν βέβαια μερικά θεματάκια, που δεν έχουμε κατανοήσει πλήρως:
Η κατανομή του μέλανος σώματος, οι φασματικές γραμμές των αερίων..."*

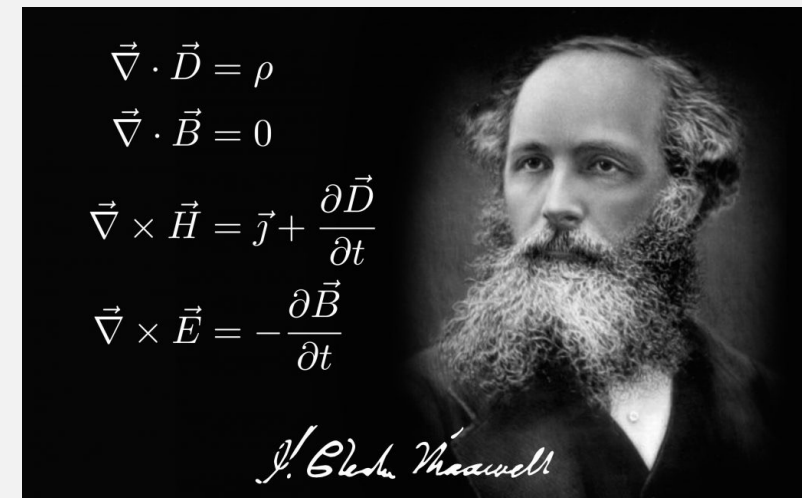
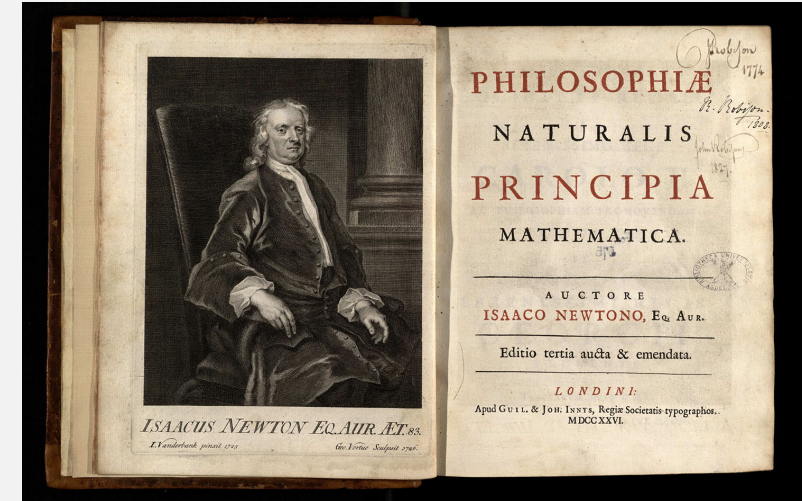
Kelvin, γύρω στο 1900

Η ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΟ ΓΥΡΙΣΜΑ ΤΟΥ ΑΙΩΝΑ

- Μηχανική του **Newton** (περίπου 1750)
- Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία **Maxwell** (περίπου 1800)
- Θερμοδυναμική (περίπου 1800)

Δηλαδή τα ΣΧΟΛΙΚΑ μας βιβλία!!!! (είμαστε στο 2023)

Τι γίνεται με τα μερικά «θεματάκια» ;;



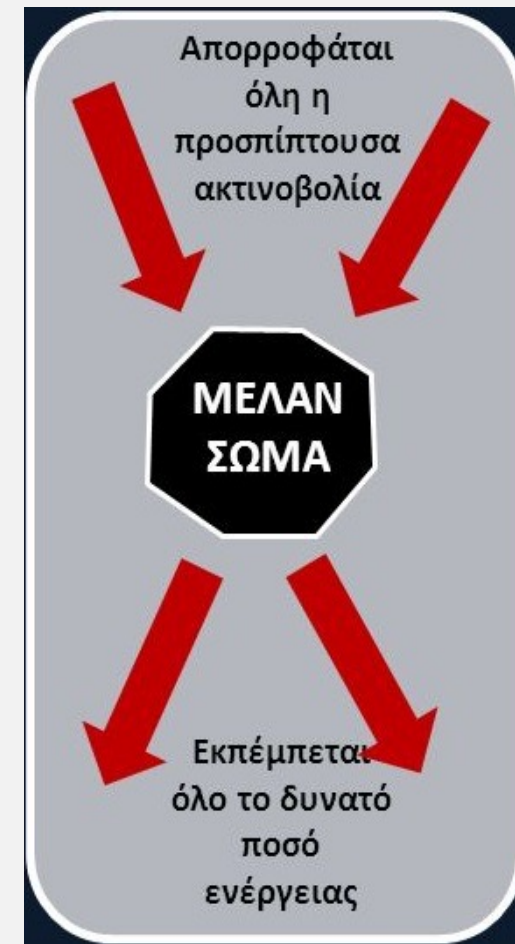
ΤΑ «ΘΕΜΑΤΑΚΙΑ» ΠΟΥ ΑΝΑΖΗΤΟΥΝ ΕΞΗΓΗΣΗ...

Το **Μέλαν Σώμα** ονομάζουμε κάθε υλικό που έχει την ιδιότητα να απορροφά τελείως την Η/Μ ακτινοβολία οποιασδήποτε συχνότητας.

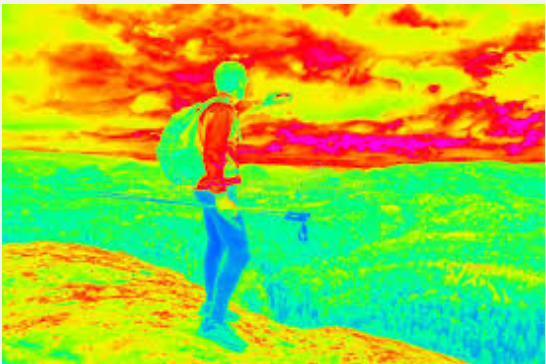
Ακτινοβολία Μέλανος σώματος είναι η ακτινοβολία που εκπέμπουν όλα τα σώματα όταν θερμανθούν.

«Όλα τα πυρακτωμένα αντικείμενα με την ίδια θερμοκρασία, εκπέμπουν την ίδια ακριβώς ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ανεξάρτητα της σύστασης τους!»

Η Κλασσική Φυσική αδυνατεί να ερμηνεύσει τις μετρήσεις!!



ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ



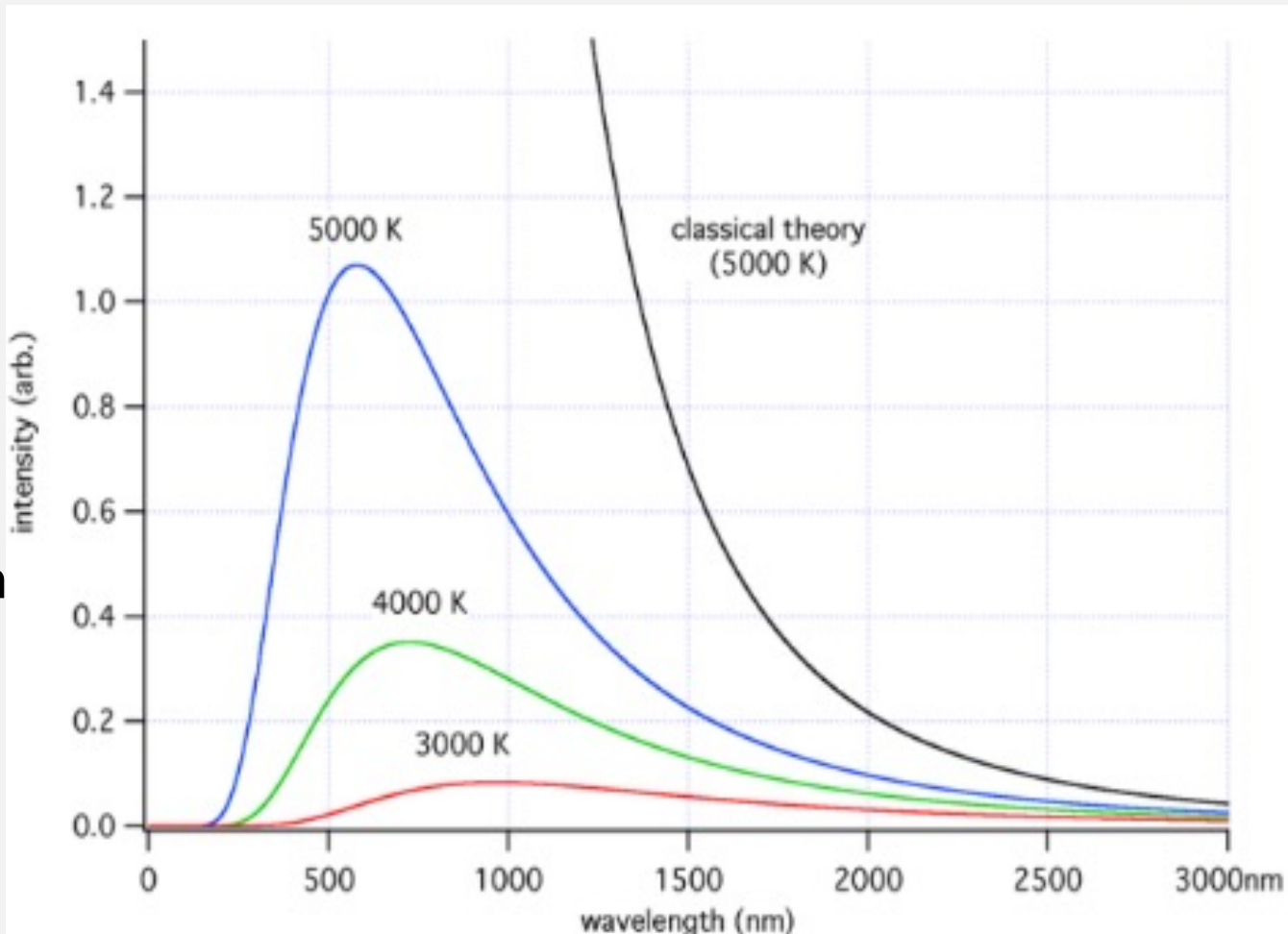
Απεικόνιση με θερμική
κάμερα

Stefan-Boltzmann

$$I = \sigma T^4$$

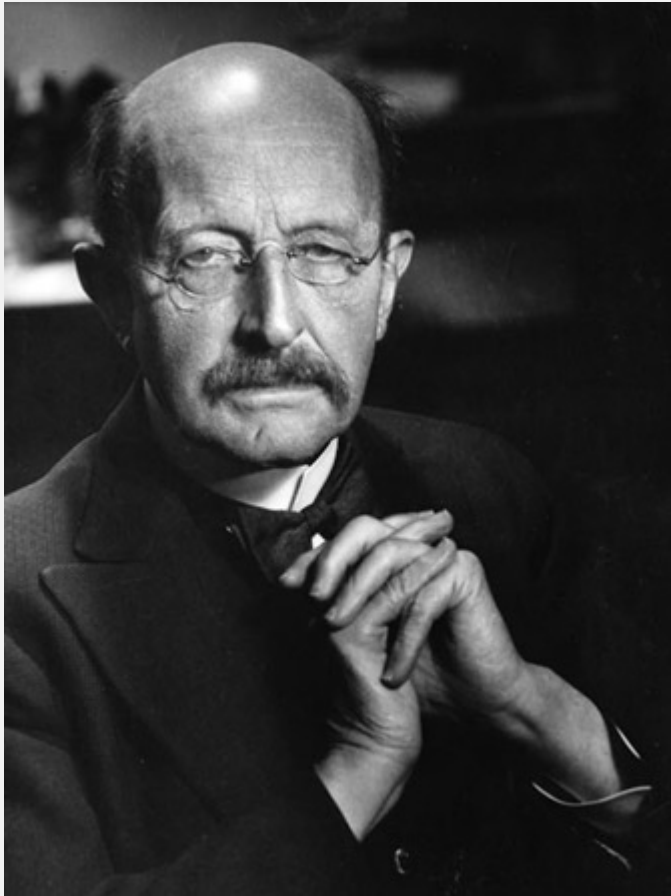
Wien

$$\lambda_{max}(cm) = \frac{0.3}{T(K)}$$



Η θερμοκρασία της λάβας
μπορεί να υπολογιστεί από το
χρώμα της.
Ο υπολογισμός συμφωνεί με
τις πειραματικές μετρήσεις
για λάβα θερμοκρασία από
1000 °C μέχρι 1200 °C.

ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ Η ΥΠΟΘΕΣΗ ΤΟΥ **PLANCK** (1900)



Η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα «μέλαν» σώμα είναι κβαντωμένη.

Ο μόνες επιτρεπόμενες τιμές είναι ακέραια πολλαπλάσια της ποσότητας

$$E = h \cdot f$$

όπου h η σταθερά του Planck και f η συχνότητα της ακτινοβολίας.

*****Η ενέργεια δεν είναι συνεχής ποσότητα!!!***

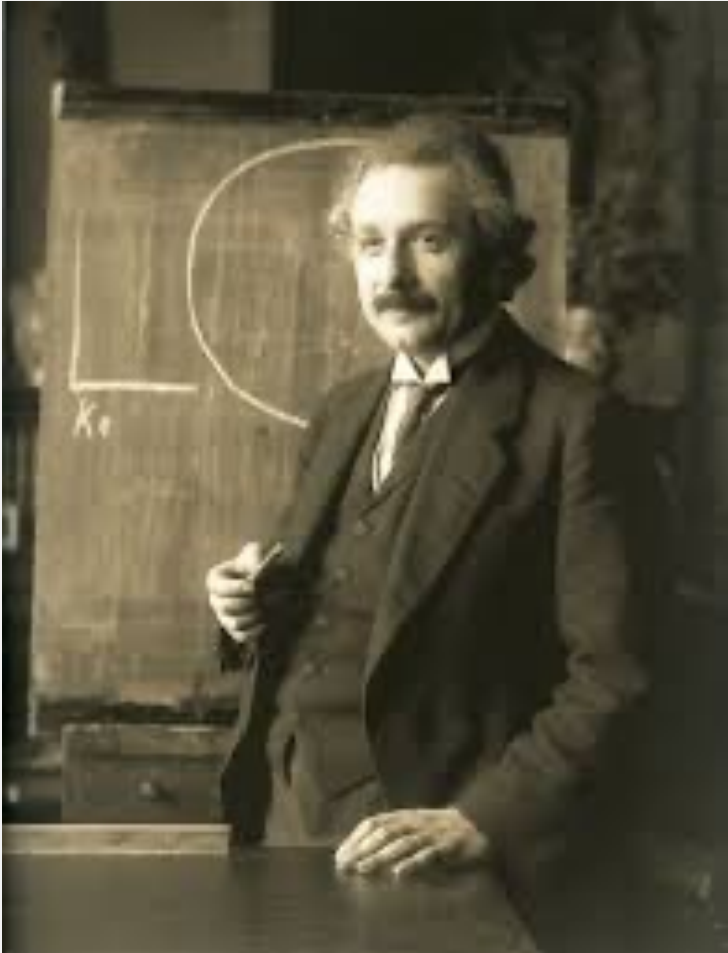
ΤΑ «ΘΕΜΑΤΑΚΙΑ» ΠΟΥ ΑΝΑΖΗΤΟΥΝ ΕΞΗΓΗΣΗ...

Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο είναι η εκπομπή ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο ,που προκαλείται από την πρόσπτωση φωτεινής ή υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια του.

- ❑ Η εκπομπή των ηλεκτρονίων γίνεται μόνο όταν η συχνότητα της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από μια οριακή τιμή.
- ❑ Η ενέργεια των «φωτοηλεκτρονίων» δεν εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας αλλά μόνο από την συχνότητα της.

Η κλασσική Φυσική αδυνατεί να ερμηνεύσει το πείραμα!!!

ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ Η ΥΠΟΘΕΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΝΙΩΝ (1905)



*Η ενέργεια μιας φωτεινής ακτίνας που εκπέμπεται από μια σημειακή πηγή **δεν είναι συνεχώς κατανεμημένη** στον χώρο, αλλά αποτελείται από ένα πεπερασμένο αριθμό ενεργειακών “κβάντων”, που είναι τελείως εντοπισμένα στον χώρο χωρίς να διαιρούνται και τα οποία μπορούν να παραχθούν ή να απορροφούν ως ολόκληρες μονάδες.*

A. Einstein

ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ Η ΥΠΟΘΕΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

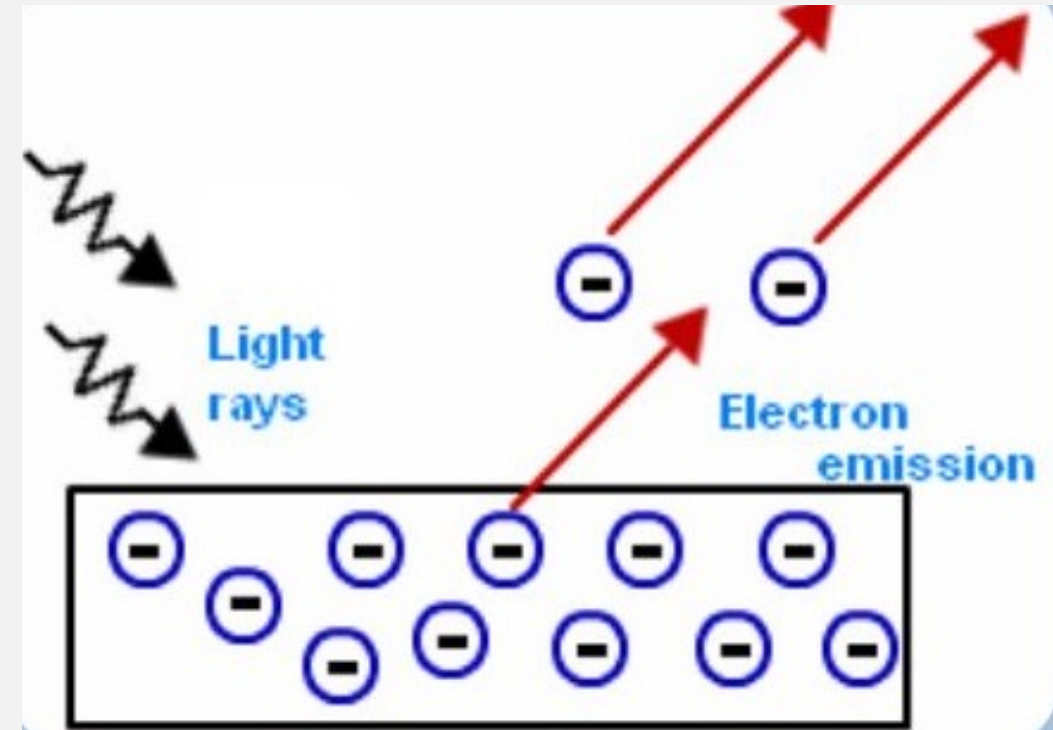
Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα, αποτελείται από φωτόνια ενέργειας $E = h \cdot f$

Η φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein

$$h \cdot f = W + K$$

Όπου W το έργο εξαγωγής του μετάλλου και K η κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων

Για την εξαγωγή πρέπει: $h \cdot f \geq W$



Η ΥΠΟΘΕΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΝΙΩΝ ΚΑΙ Η ΣΚΕΔΑΣΗ COMPTON (1923)

Η πειραματική επιβεβαίωση ύπαρξης των Φωτονίων!

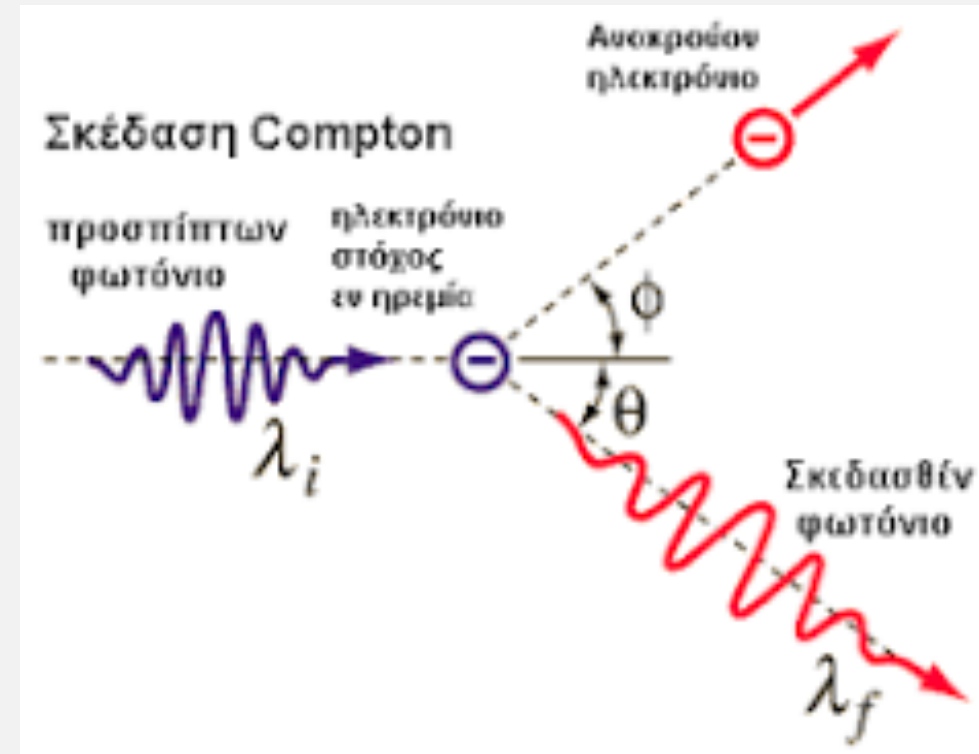
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνιο συχνότητας f) προσπίπτει σε ακίνητο ηλεκτρόνιο και η συχνότητα του αλλάζει (f')

Η παραπάνω μεταβολή εξαρτάται από την μεταβολή της κατεύθυνσης του φωτός!

Η κλασσική Φυσική αδυνατεί να ερμηνεύσει το πείραμα!!!

Το φως αποτελείται από σωματίδια

με ενέργεια $E = h \cdot f$



$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos\theta)$$

ΤΑ «ΘΕΜΑΤΑΚΙΑ» ΠΟΥ ΑΝΑΖΗΤΟΥΝ ΕΞΗΓΗΣΗ...

Το μυστήριο των Ατομικών Φασμάτων

Τα ατομικά φάσματα είναι γραμμικά,

δηλαδή περιέχουν μόνο ορισμένες φασματικές

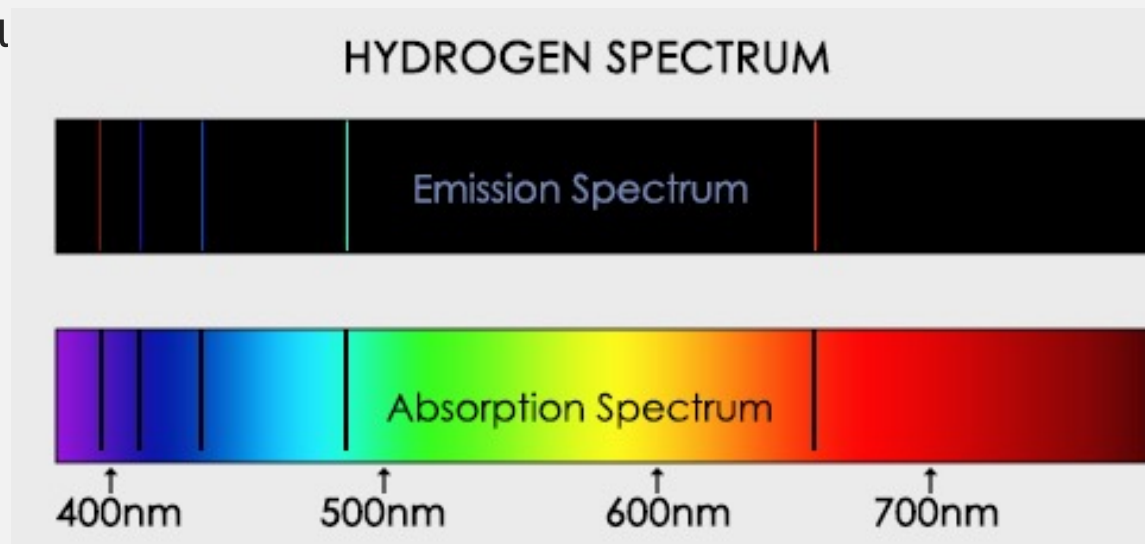
γραμμές που διαφέρουν τρομερά από άτομο σε άτομο

Η κλασσική Φυσική αδυνατεί να καταλάβει!

Θέλουμε ατομικό μοντέλο που να εξηγεί τις

Πειραματικές μετρήσεις!

*Τα άτομα φαίνεται να απορροφούν
και να εκπέμπουν συγκεκριμένης
ενέργειας («χρώματος») φωτόνια
Γιατί όμως;*

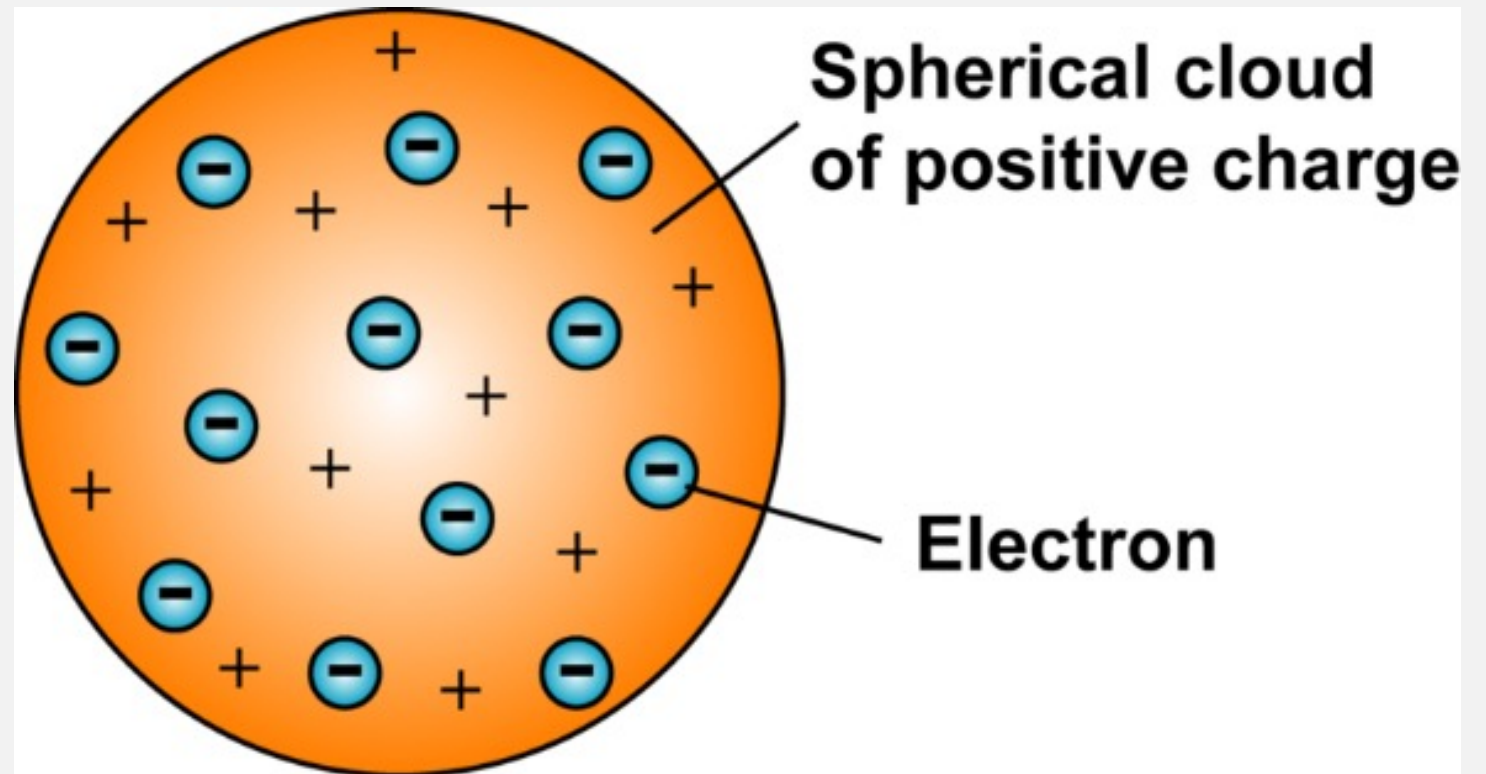


ΑΤΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΤΑ 1900

Το «Σταφιδόψωμο» του
Thomson (1897)

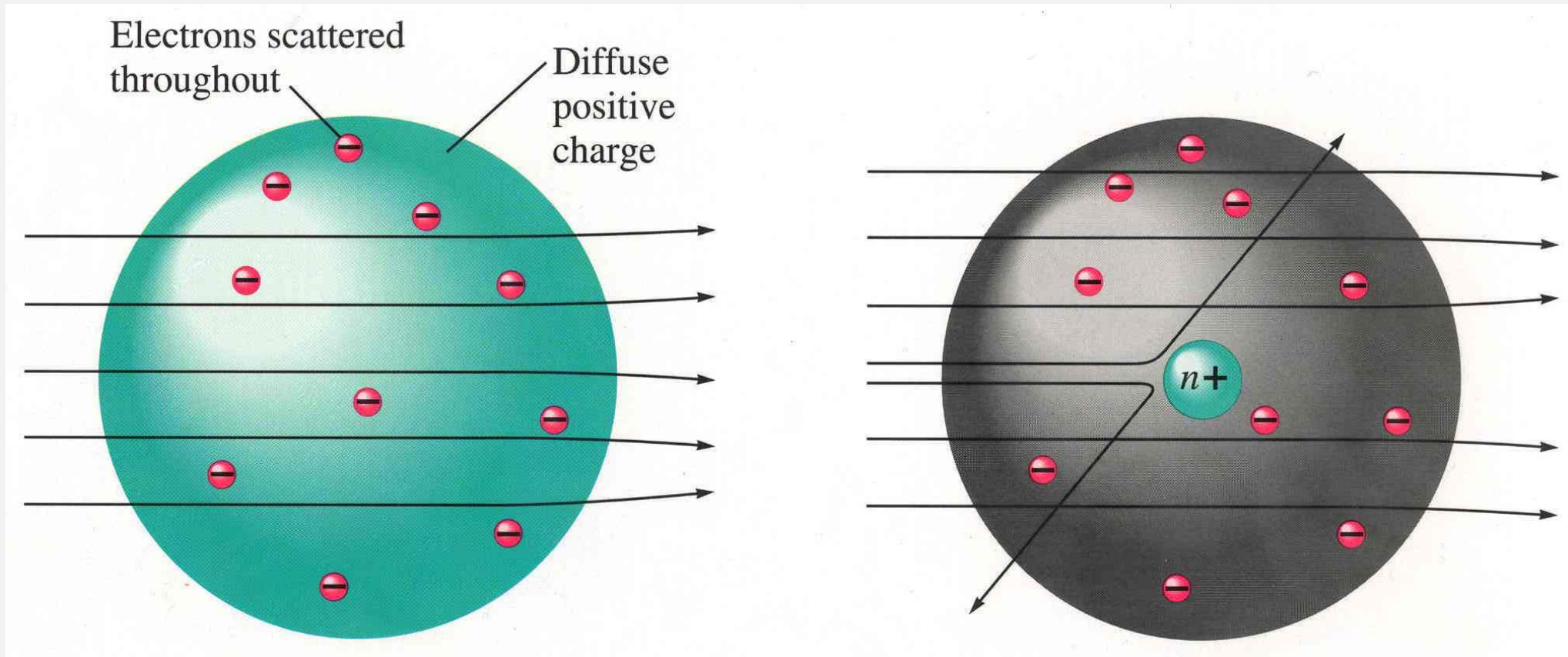
Το ηλεκτρόνιο μόλις που
έχει ανακαλυφθεί (1894)

Πάμε πείραμα...



ΑΤΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΤΑ 1900

Το «Πλανητικό Μοντέλο» του Rutherford (1911)

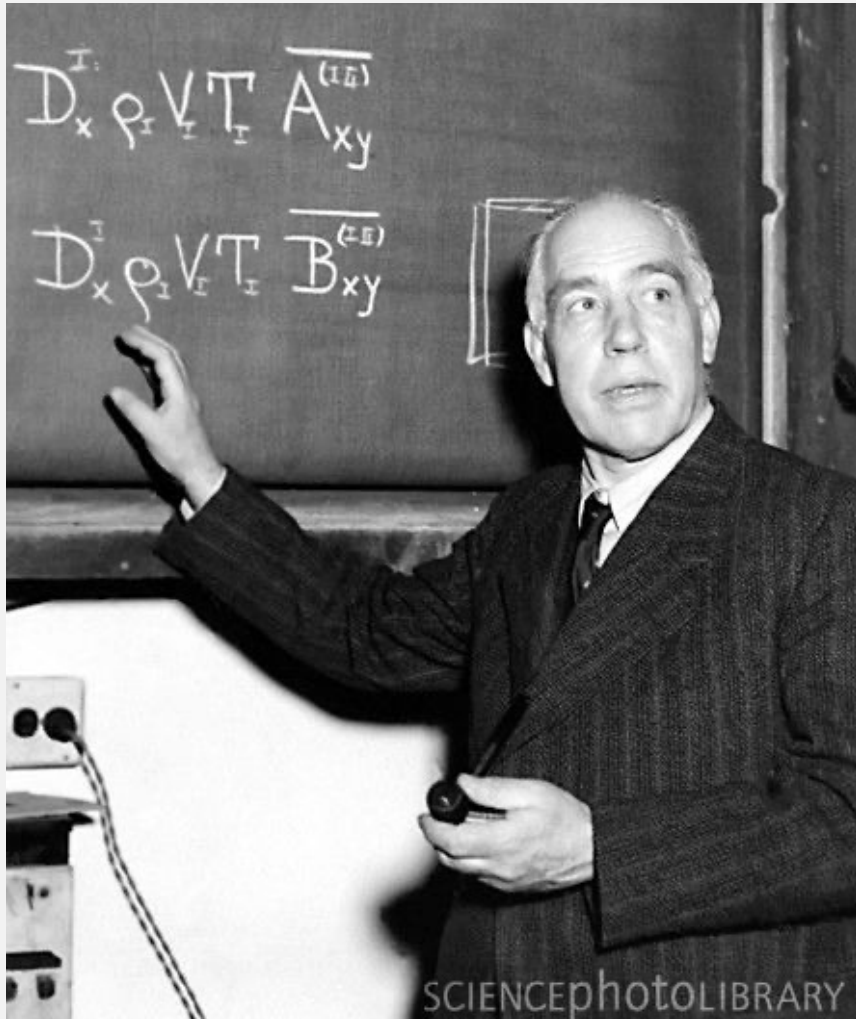


ΟΙ ΑΝΤΙΦΑΣΕΙΣ...

Το «πλανητικό μοντέλο» είναι ασταθές στα πλαίσια της Κλασσικής Φυσικής

- ❑ Τα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω από τον θετικά φορτισμένο πυρήνα σύμφωνα με την κλασσική θεωρία θα ακτινοβολούν, αφού η κυκλική κίνηση είναι επιταχυνόμενη. Άρα θα χάνουν συνεχώς ενέργεια μέχρι την οριστική τους κατάρρευση (εκτιμώμενος χρόνος κατάρρευσης $\sim 10^{-10} \text{ sec}$)
- ❑ Στο ατομικό επίπεδο συμβαίνουν τουλάχιστον ένα δισεκατομμύριο κρούσεις ανά δευτερόλεπτο ανάμεσα στα άτομα, αυτό θα είχε ως συνέπεια τα ηλεκτρόνια να αλλάζουν συνεχώς τροχιές ή να φεύγουν τελείως από το άτομο. Άρα τα άτομα δεν θα είχαν σταθερή χημική συμπεριφορά και τα φάσματα εκπομπής θα άλλαζαν συνεχώς.

Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ BOHR (1913)

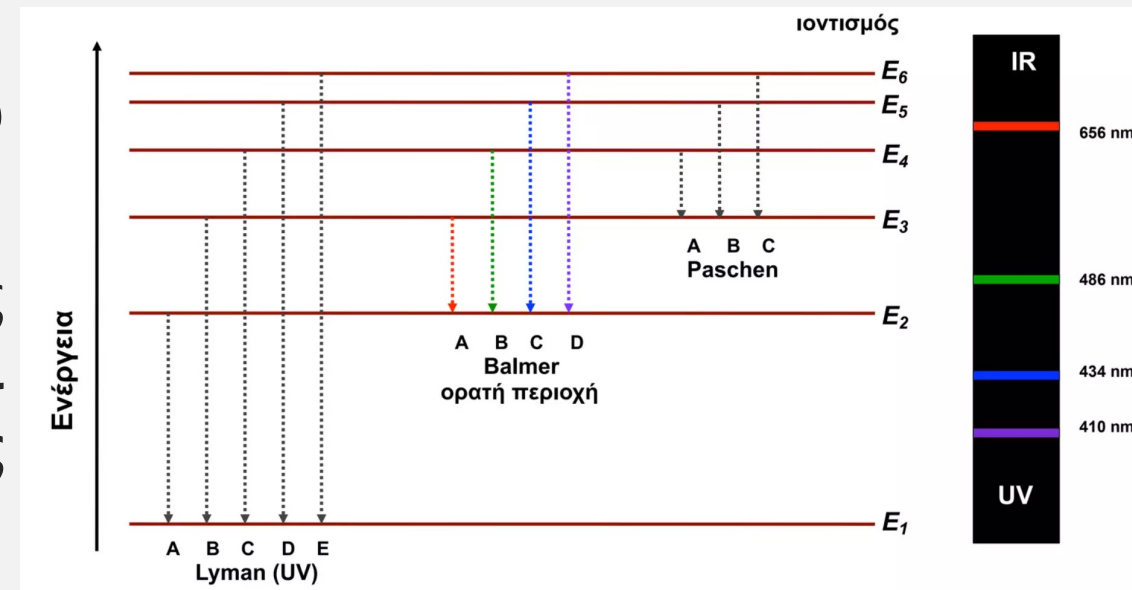
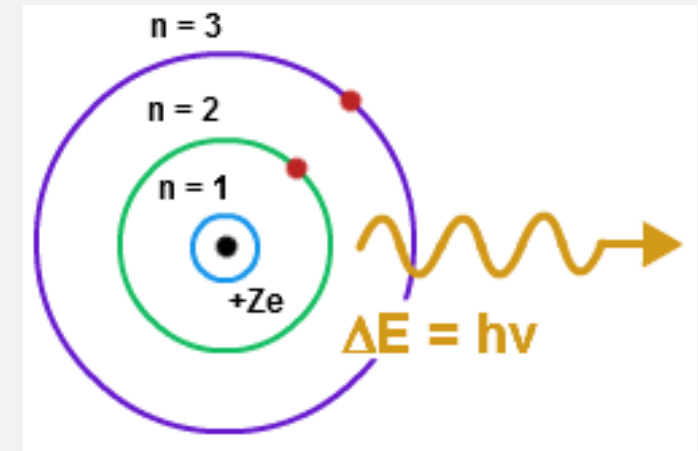


“Αφετηρία μου δεν ήταν καθόλου η ιδέα ότι το άτομα είναι ένα πλανητικό σύστημα σε μικρή κλίμακα και σαν τέτοιο ότι διέπεται από τους νόμους της αστρονομίας. Ποτέ δεν πήρα αυτή την αναλογία κατά γράμμα. Αφετηρία μου ήταν μάλλον η σταθερότητα της ύλης. Ένα καθαρό θαύμα από τη σκοπιά της κλασσικής φυσικής.”

N. Bohr

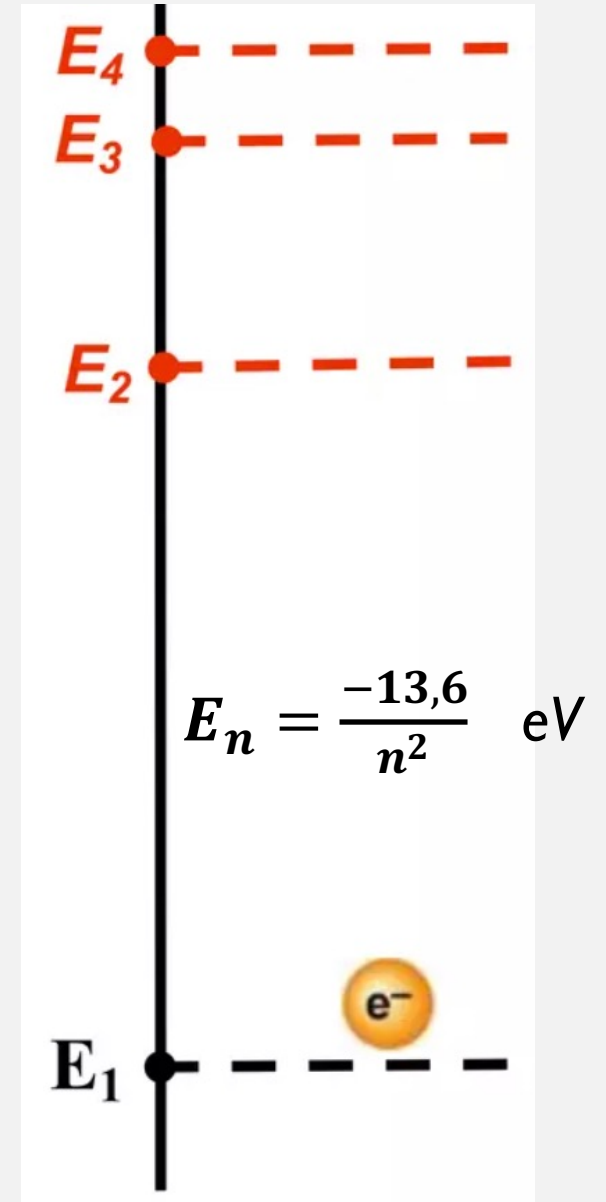
Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΒΟΗΡ ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

- ❑ Οι ενεργειακές καταστάσεις των ατόμων είναι **κβαντωμένες**.
- ❑ Ακτινοβολία εκπέμπεται μόνο κατά την μετάβαση του ατόμου από μια ανώτερη σε μια κατώτερη ενεργειακή στάθμη,
- ❑ Η συχνότητα του εκπεμπόμενου φωτονίου καθορίζεται από την μεταβολή της ενέργειας.
- ❑ Επιτρέπονται μόνο οι κυκλικές τροχιές, για τις οποίες η **στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της σύγχρονης σταθεράς του Planck**.



ΚΒΑΝΤΩΣΗ = ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ

Το άτομο στην «θεμελιώδη» του κατάσταση δεν μπορεί να αλλάξει διότι ούτε πιο κάτω μπορεί να πάει, αφού είναι στην χαμηλότερη επιτρεπτή τροχιά, ούτε όμως και πιο πάνω δεν μπορεί να πάει γιατί η πρώτη «διεγερμένη» κατάσταση είναι ενεργειακά πολύ ψηλότερα.



ΚΒΑΝΤΩΣΗ = ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

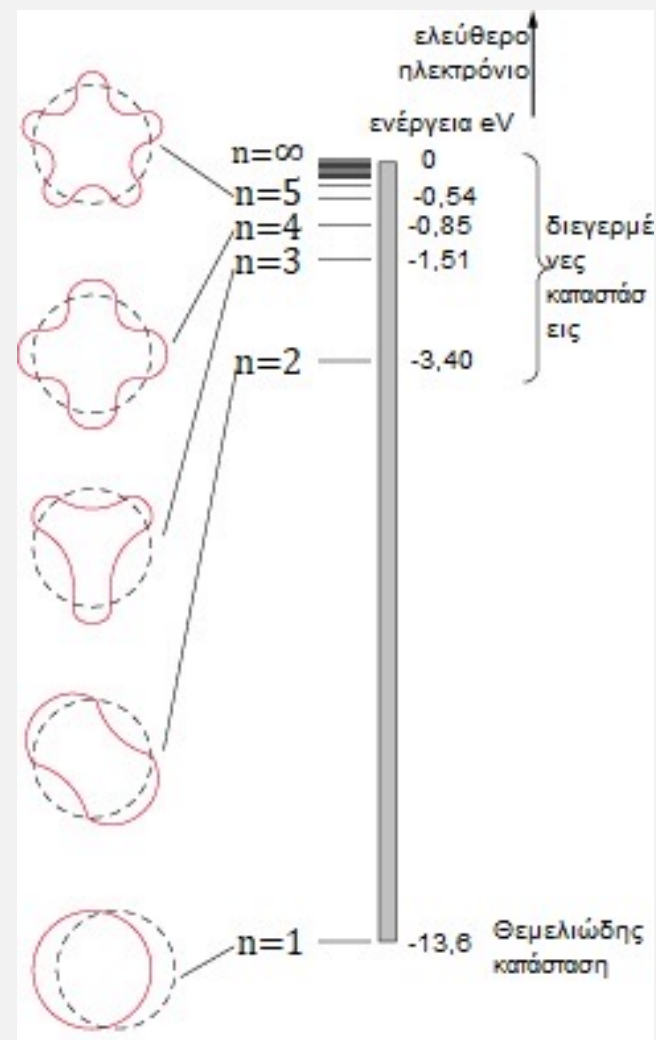
- ❑ Το υπόδειγμά της χορδής: μέσα στο μήκος L της χορδής πρέπει να χωράει ένας ακέραιος αριθμός ημικυμάτων.

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}, \text{ όπου } n = 1, 2, 3, \dots$$

- ❑ Οι επιτρεπόμενες συχνότητες f_n της χορδής είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους f_o .

$$f_n = \frac{v}{2L} \cdot n = f_o \cdot n = f_o, 2f_o, 3f_o, \dots$$

- ❑ Μήπως η κβάντωση των ενεργειακών καταστάσεων στα άτομα είναι αποτέλεσμα κάποιου είδους κυματικής συμπεριφοράς των ηλεκτρονίων;



ΚΥΜΑΤΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΣ ΔΥΪΣΜΟΣ(1929)



Είχα τελείως πεισθεί ότι ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός που ανακαλύφθηκε από τον Einstein στη θεωρία του για τα φωτεινά κβάντα είναι απόλυτα γενικός και εκτείνεται σε όλη την φυσική πραγματικότητα.

*Έτσι μου φαινόταν σίγουρο ότι **η κίνηση ενός σωματιδίου οποιουδήποτε είδους (φωτόνιο, ηλεκτρόνιο, πρωτόνιο κ.λ.π.) συνοδεύεται πάντα και από την διάδοση ενός κύματος.***

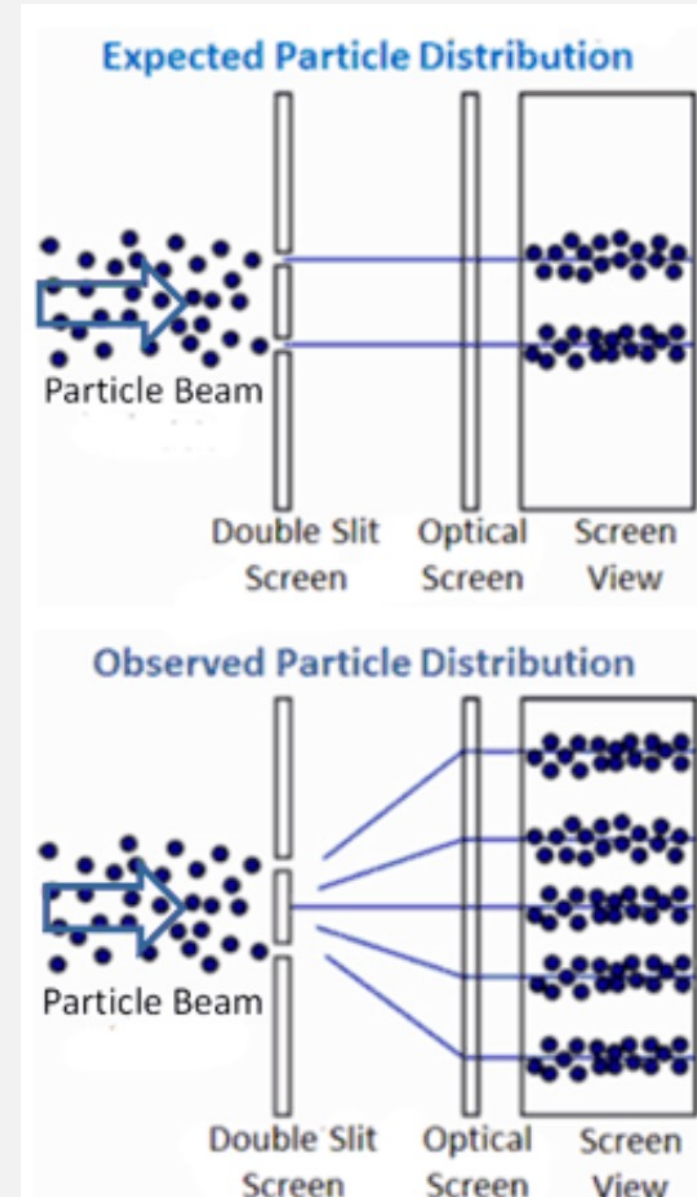
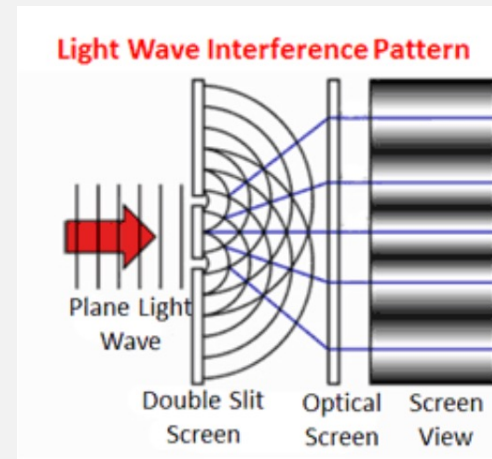
L. De Broglie

ΚΥΜΑΤΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΣ ΔΥΪΣΜΟΣ

Όλα τα φυσικά σωματίδια έχουν και κυματική συμπεριφορά παράλληλα με την σωματιδιακή (Υλικά Κύματα).

Είναι σωματίδια και κύματα ταυτόχρονα.

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



ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ (1927)



«Το αληθινό νόημα της σταθεράς του Planck είναι ότι αποτελεί ένα παγκόσμιο μέτρο της απροσδιοριστίας, που λόγω της αρχής του κυματοσωματιδιακού δυϊσμού, είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό των φυσικών νόμων.»

W. Heisenberg

ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

«Το γινόμενο της αβεβαιότητας στην μέτρηση της θέσης, επί την αβεβαιότητα στην μέτρηση της ταχύτητας είναι περίπου σταθερό.»

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

Είναι αδύνατον να μετρήσεις ταυτόχρονα την θέση και την ορμή ενός σωματιδίου όπως το ηλεκτρόνιο.

Η αβεβαιότητα είναι εγγενές χαρακτηριστικό της ΥΛΗΣ!



Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ

Κινητική Ενέργεια σωματιδίου : $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$

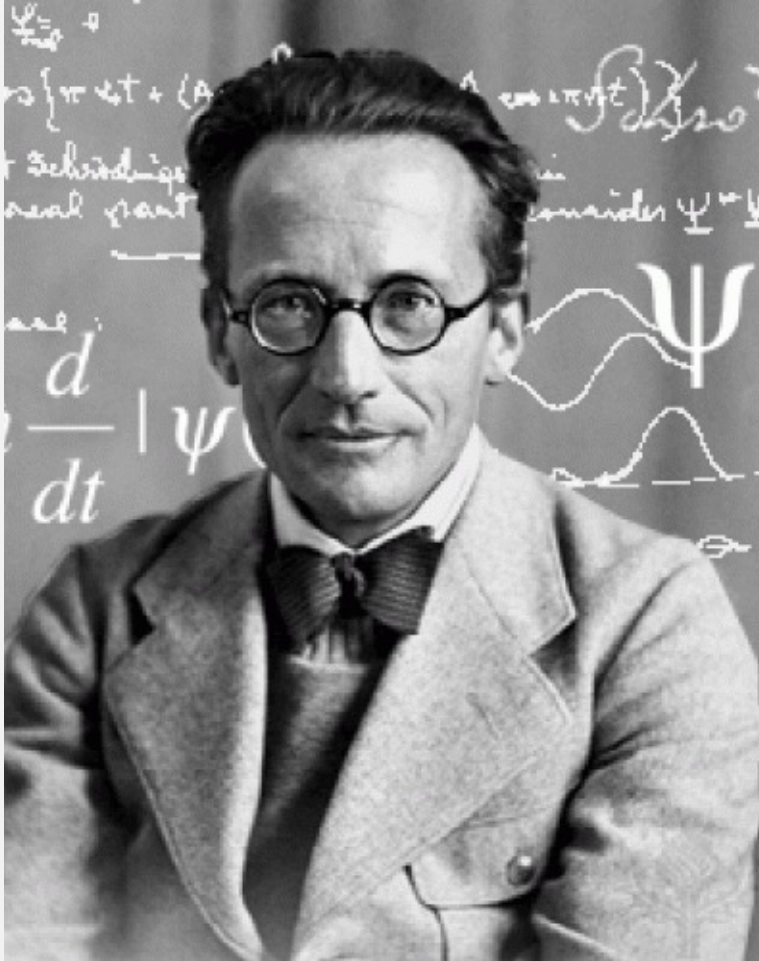
Αρχή Αβεβαιότητας: $\Delta x \cdot \Delta p \approx \hbar \Rightarrow \Delta p \approx \frac{\hbar}{\Delta x}$

$$K \approx \frac{\hbar^2}{2m \Delta x^2}$$

Όσο μικρότερη γίνεται η «φυλακή» ενός κβαντικού σωματιδίου, τόσο «ζωηρότερο» γίνεται το σωματίδιο. Όσο περισσότερο το «στριμόχνουμε» τόσο περισσότερο «αντιδρά» και «αγριεύει».

Ο Πυρήνας του ατόμου είναι 100.000 φορές μικρότερος από το άτομο! Η Πυρηνική Ενέργεια είναι τεράστια σε σχέση με την ατομική (Πυρηνική Βόμβα, Σύντηξη στον Ήλιο!)

ΑΠΟ ΤΟΝ NEWTON ΣΤΟΝ SCHRODINGER (1926)



Η αποδοχή της «κυματικής φύσης» των σωματιδίων απαιτεί και μια **Μαθηματική εξίσωση που θα περιγράψει τα «υλικά κύματα»**, όπως η εξίσωση του Νεύτωνα περιγράφει τις κινήσεις των σωμάτων.

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} + U(x,t)\Psi(x,t) = i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t}$$

Kinetic
energy

+

Potential
energy

=

Total
energy

Η λύση της εξίσωσης είναι η κυματοσυνάρτηση και το $|\Psi|^2$ εκφράζει την **ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ** ανα μονάδα όγκου να βρεθεί το σωματίδιο σε μια θέση.

Η ΓΑΤΑ ΤΟΥ SCHRODINGER

Η κατάσταση ενός συστήματος δεν είναι απόλυτη,
αλλά μπορεί να είναι

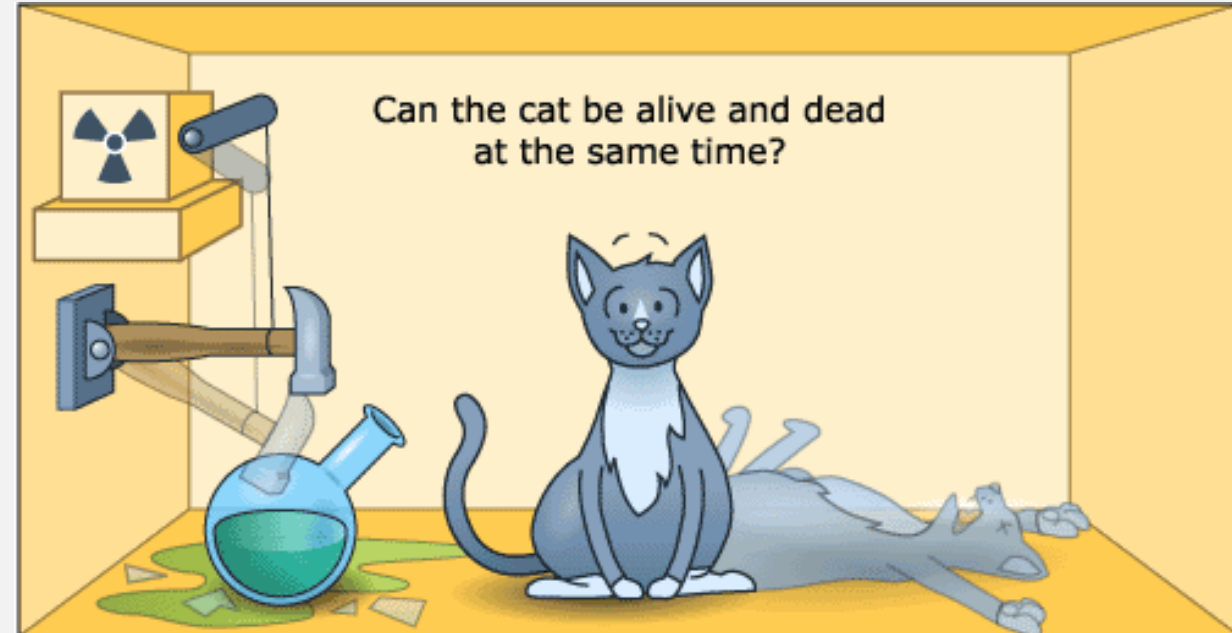
«Υπέρθεση καταστάσεων».

Ένα νοητικό πείραμα...

Οι πιθανές καταστάσεις της γάτας είναι να είναι ζωντανή ή να έχει πεθάνει εξαιτίας του δηλητηρίου.

Άρα κβαντικά η κατάσταση της γάτας περιγράφεται:

$$\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}} \Psi_{alive} + \frac{1}{\sqrt{2}} \Psi_{dead}$$



ΔΙΑΛΟΓΟΙ ΤΗΣ ΕΠΟΧΗΣ

- Η όλη υπόθεση (του Bohr) είναι σαν παραμύθι... Όλα αυτά είναι καθαρή τρέλα. **Pauli**
- Όμως παρ' όλο που είναι τρέλα έχει μια μέθοδο μέσα της. **Heisenberg**
- Αν αυτά τα καταραμένα κβαντικά άλματά πρόκειται στ' αλήθεια να παραμείνουν στην φυσική, τότε εγώ μετανιώνω που ανακατεύτηκα ποτέ μου με την κβαντική θεωρία. **Schrodinger**
- Δεν γίνεται ο θεός να παίζει ζάρια. **Einstein**

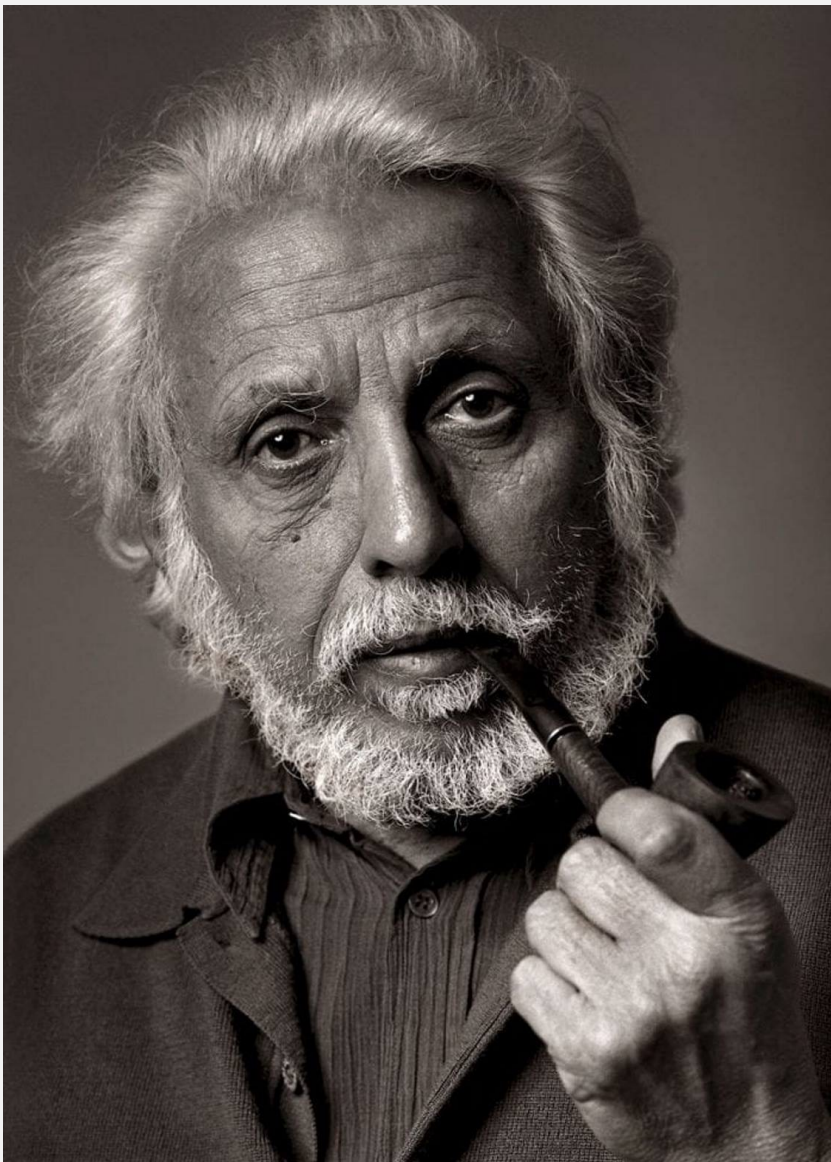


SOLVAY CONFERENCE 1927

colourized by pastincolour.com

A. PICARD	E. HENRIOT	P. EHRENFEST	Ed. HERSEN	Th. DE DONDER	E. SCHRÖDINGER	E. VERSCHAFFELT	W. PAULI	W. HEISENBERG	R.H FOWLER	L. BRILLOUIN
P. DEBYE	M. KNUDSEN	W.L. BRAGG	H.A. KRAMERS	P.A.M. DIRAC	A.H. COMPTON	L. de BROGLIE	M. BORN	N. BOHR		
I. LANGMUIR	M. PLANCK	Mme CURIE	H.A. LORENTZ	A. EINSTEIN	P. LANGEVIN	Ch.E. GUYE	C.T.R. WILSON	O.W. RICHARDSON		

Absents : Sir W.H. BRAGG, H. DESLANDRES et E. VAN AUBEL



Η Κβαντομηχανική αποτελεί το συντακτικό και την γραμματική στην θεατρική μυθιστορία του Σύμπαντος. Τα σκηνικά του έργου, που έχει δραματικό περιεχόμενο, φιλοτέχνησε ο Einstein, την κίνηση των προσώπων ρύθμισε ο Newton και τον φωτισμό ο Maxwell. Όσο για τον σκηνοθέτη – αν υπάρχει- παραμένει πάντα άγνωστος.

Γιώργος Γραμματικάκης
Έφυγε 25 Οκτωβρίου 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ....

**«...Νομίζω πως μπορώ να πω με
σιγουριά ότι κανένας δεν
καταλαβαίνει την κβαντική
μηχανική...»**

Richard Feynman

