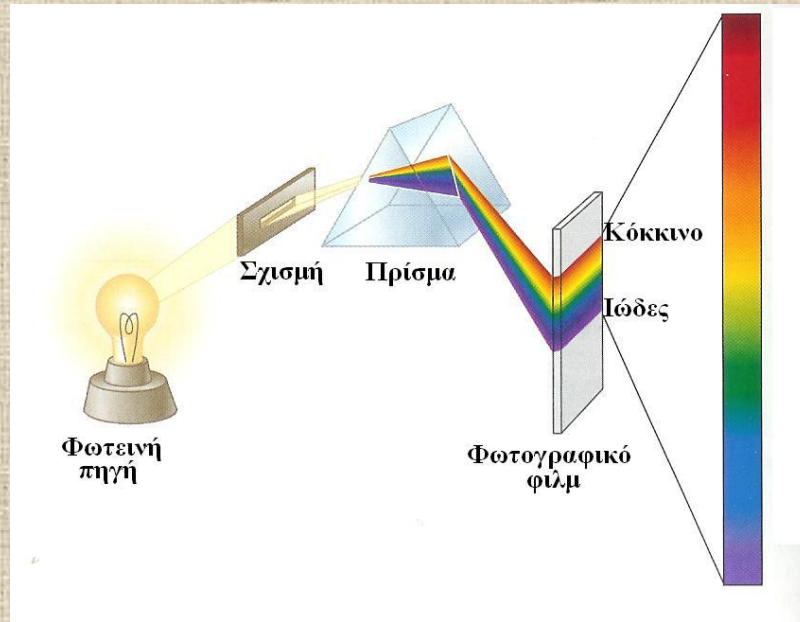
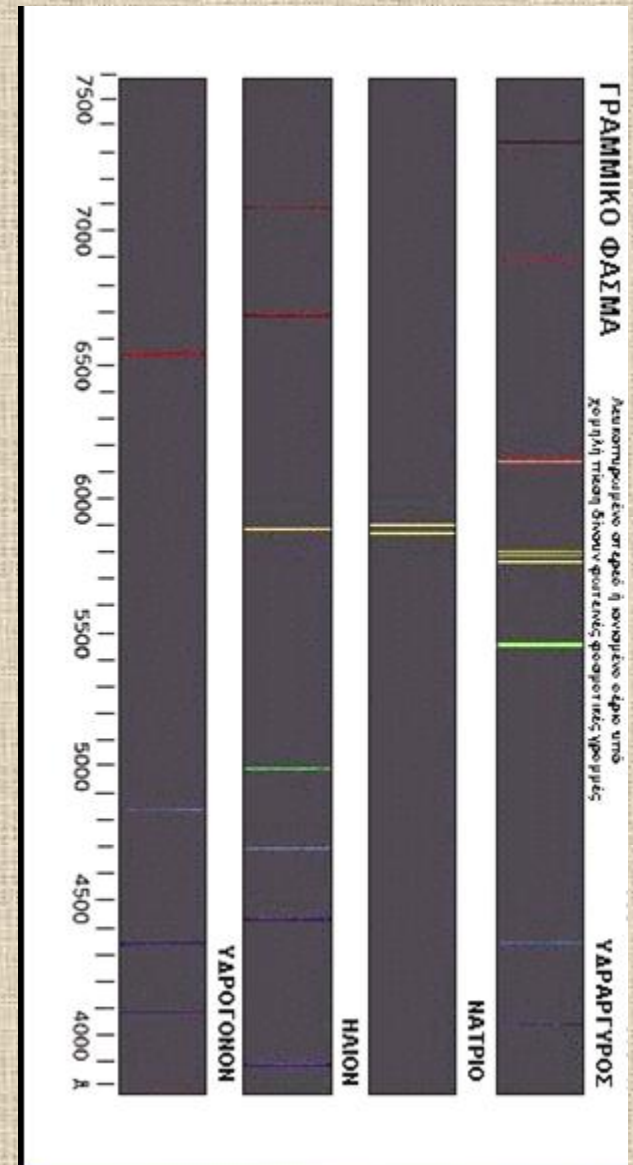
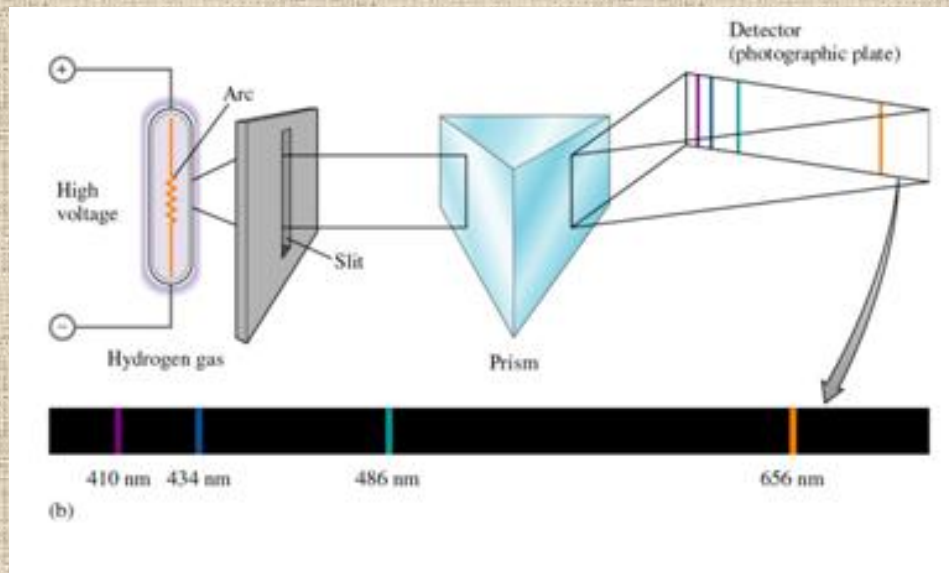


# Ανάλυση φάσματος ορατού φωτός



## Φάσμα εκπομπής $H_2$



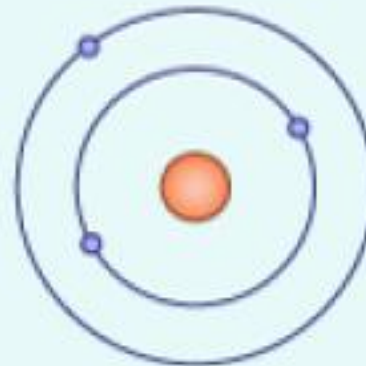
# Σταθερό πλανητικό μοντέλο Bohr (1913)



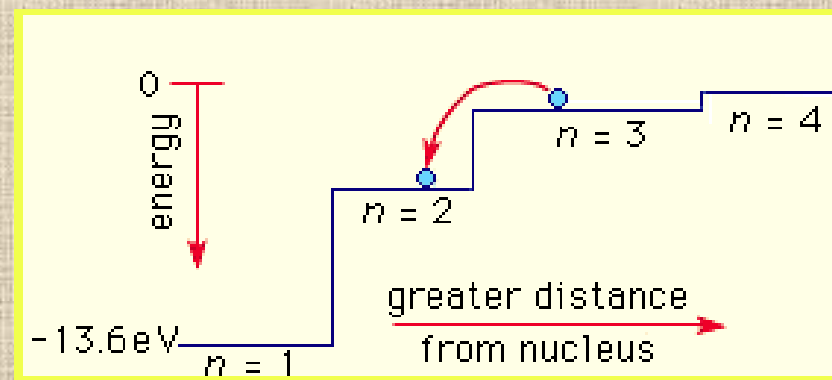
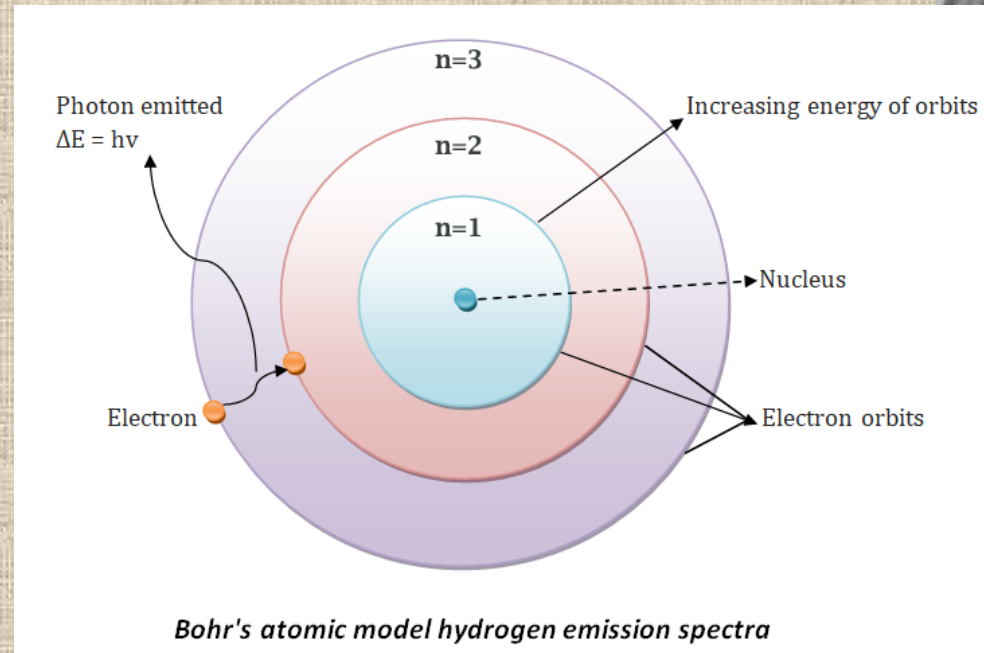
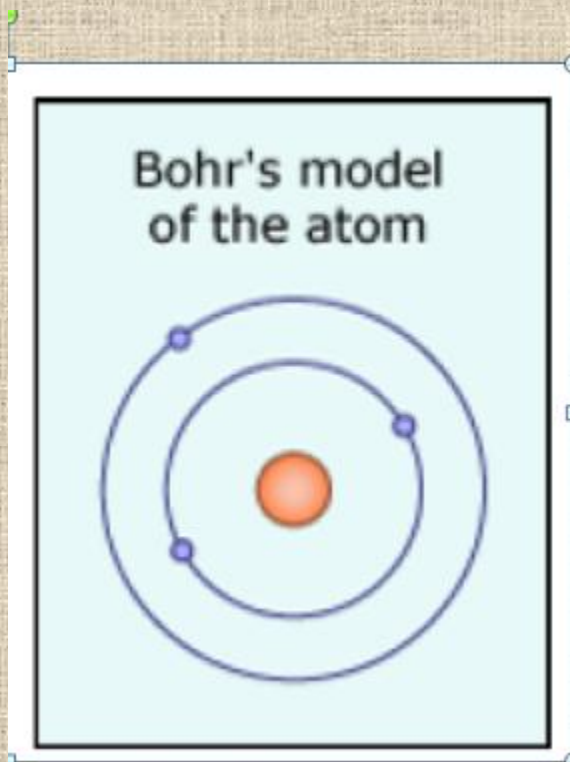
Rutherford's model  
of the atom



Bohr's model  
of the atom



# Σταθερό πλανητικό μοντέλο Bohr (1913)



# 1. Μηχανική συνθήκη Bohr

- ❖ Τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται σε καθορισμένες κυκλικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα.
- ❖ Οι τροχιές πρέπει να ικανοποιούν την σχέση:

στροφορμή  $e$

$$m \cdot u \cdot r = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

κβάντωση

Όσο απομακρύνεται το  $e$ , τόσο αυξάνεται η ενέργειά του

$$E_n = \frac{-2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_n = \frac{-13.6}{n^2} \text{ eV}$$

## 2. Οπτική συνθήκη Bohr

*Τα ηλεκτρόνια εκπέμπουν ή απορροφούν ενέργεια (με την μορφή ακτινοβολίας) μόνο όταν αλλάζουν ενεργειακή στάθμη*

$$E = h \nu$$

$$\Delta E = |E_f - E_i| = h \nu$$

$$\Delta E = \left| 2,18 \cdot 10^{-18} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \right|$$

$$r = a_o \cdot n^2$$

$$\nu = \left| \frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{h} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \right|$$

$$n_f > n_i \longrightarrow ?$$

$$n_f < n_i \longrightarrow ?$$

Μηχανική συνθήκη Bohr

$$m \cdot u \cdot r = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

Ενέργεια e στην n στιβάδα

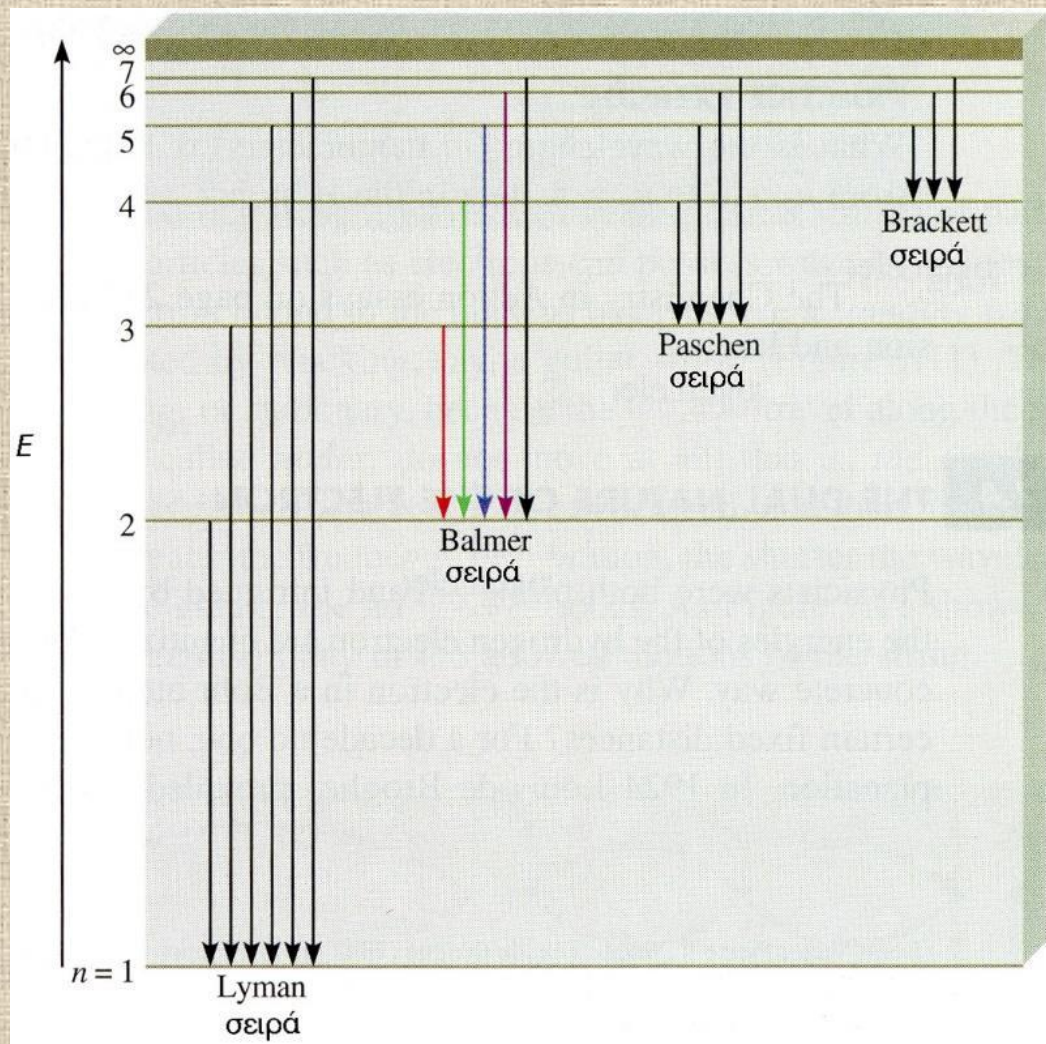
$$E_n = \frac{-2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ J}$$

Ενέργεια που εκπέμπεται ή  
απορροφάται κατά την  
μετακίνηση ηλεκτρονίου  
από την  $n_i$  στην  $n_f$  τροχιά  
(άτομο H)

$$\Delta E = \left| 2,18 \cdot 10^{-18} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \right|$$

Ακτίνα τροχιάς e στην  
στιβάδα n

$$r = a_o \cdot n^2$$
$$a_o = 0.0529 \text{ nm}$$



## Τύπος *Balmer*

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Σταθερά *Rydberg*

$$R_H = 1.09678 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

**1. Κατά τη διέγερση ενός ατόμου υδρογόνου, ηλεκτρόνιο μεταπηδά από την ενεργειακή στάθμη με  $n=1$  στην ενεργειακή στάθμη με  $n=4$ .**

**Ποια από τα παρακάτω δεδομένα είναι εσφαλμένο;**

**A. Η ενεργειακή στάθμη με  $n=4$  αποτελεί την πρώτη διεγερμένη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου.**

**B. Χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να ιονιστεί ένα διεγερμένο άτομο υδρογόνου από ότι όταν το άτομο είναι στη θεμελιώδη του κατάσταση.**

**Γ. Το ηλεκτρόνιο όταν βρίσκεται σε κατάσταση διέγερσης είναι κατά μέσο όρο πιο μακριά από τον πυρήνα.**

**Δ. Η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά την μετάπτωση ηλεκτρονίου από  $n=4$  σε  $n=3$  είναι μικρότερη αυτής που προκύπτει κατά την μετάπτωση ηλεκτρονίου από  $n=3$  σε  $n=2$ .**

2. Να υπολογιστεί η ενέργεια ιοντισμού 1 mol του υδρογόνου με βάση τη θεωρία του Bohr.
3. Να υπολογισθεί το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα άτομο H όταν το ηλεκτρόνιο μεταπίπτει από την ενεργειακή στάθμη  $n=5$  στην  $n=4$ . (Δίνεται η σταθερά Rydberg  $R_H=1.09678 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ )
4. Ποια ηλεκτρονική μετάπτωση στο άτομο H, που καταλήγει στην τροχιά  $n = 5$ , θα δώσει φωτόνιο μήκους κύματος 3740 nm;
5. Στο ατομικό πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου ποια από τις παρακάτω μεταπτώσεις οδηγεί στην εκπομπή φωτονίου με την μεγαλύτερη ενέργεια;
- A:  $n = 1 \rightarrow n = 6$ ,                      B:  $n = 2 \rightarrow n = 1$                       Γ:  $n = 6 \rightarrow n = 3$   
Δ:  $n = 3 \rightarrow n = 6$                       E:  $n = 5 \rightarrow n = 3$
6. Κατά τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου του υδρογόνου από μια διεγερμένη κατάσταση στη θεμελιώδη εκπέμπεται φως μήκους κύματος 121 nm. Ποιόν κύριο κβαντικό αριθμό έχει η διεγερμένη κατάσταση. Ποια είναι η ενεργειακή διαφορά των δύο καταστάσεων
- $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$      $c = 2,997925 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}$

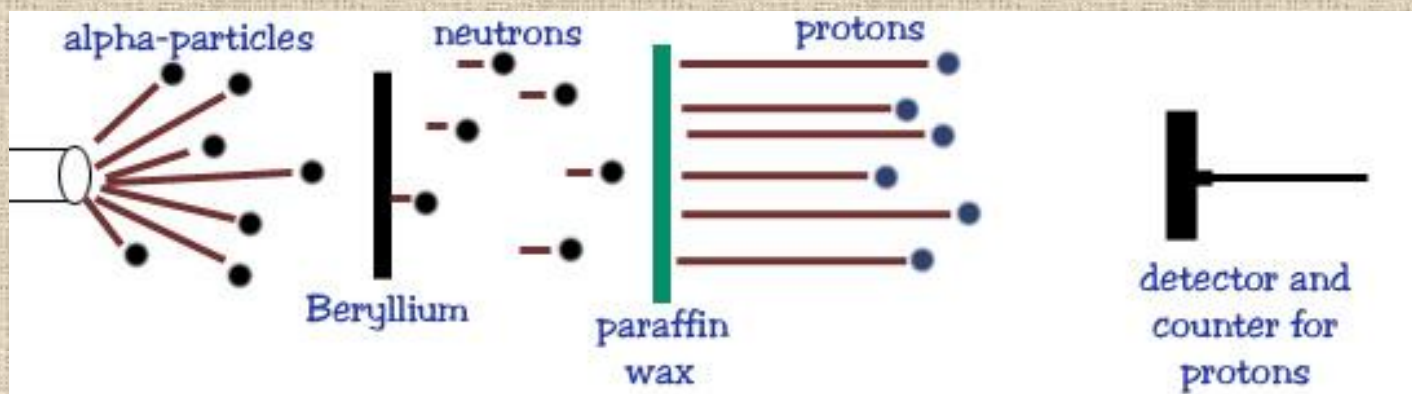
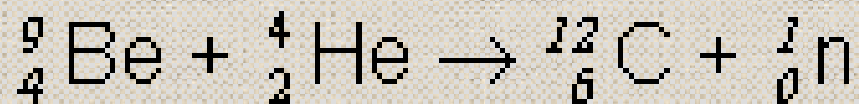
7. Θεωρούμε 2 άτομα υδρογόνου. Στο πρώτο το ηλεκτρόνιο βρίσκεται στην τροχιά Bohr με  $n=4$ , ενώ στο δεύτερο στη θεμελιώδη κατάσταση. Ποιο από τα 2 ηλεκτρόνια περιστρέφεται με τη μεγαλύτερη ταχύτητα.

$$m \cdot u \cdot r = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

$$r = a_0 \cdot n^2$$

# Πείραμα Chadwick

## ανακάλυψη νετρονίων (1932)



**φορτίο νετρονίων = 0 C**

**μάζα νετρονίου = 1.0067 x μάζα πρωτονίου**

# Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ

## Πρωτόνιο

θετικά φορτισμένο σωματίδιο

$$m = 1,67252 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$q = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ C}$$

## Νετρόνιο

ηλεκτρικά ουδέτερο σωματίδιο

$$m = 1,6749 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$q = 0 \text{ C}$$

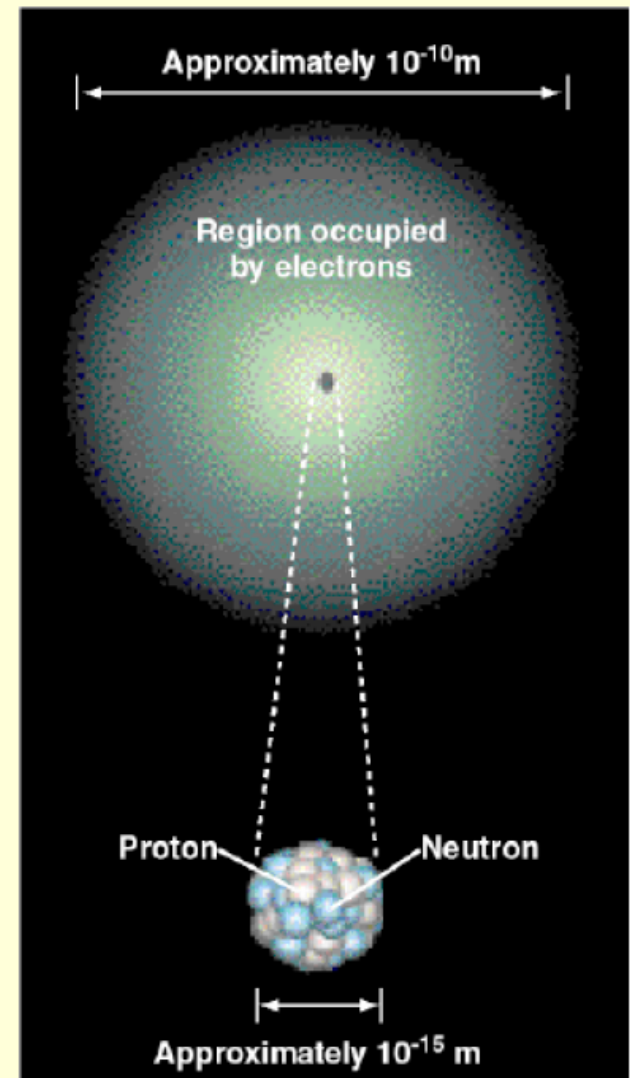
## Ηλεκτρόνιο

αρνητικά φορτισμένο σωματίδιο

$$m = 9,1093897 \times 10^{-28} \text{ g}$$

$$q = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Πυρήνας



# Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ

**Ατομικός αριθμός (Z)**

αριθμός πρωτονίων του πυρήνα

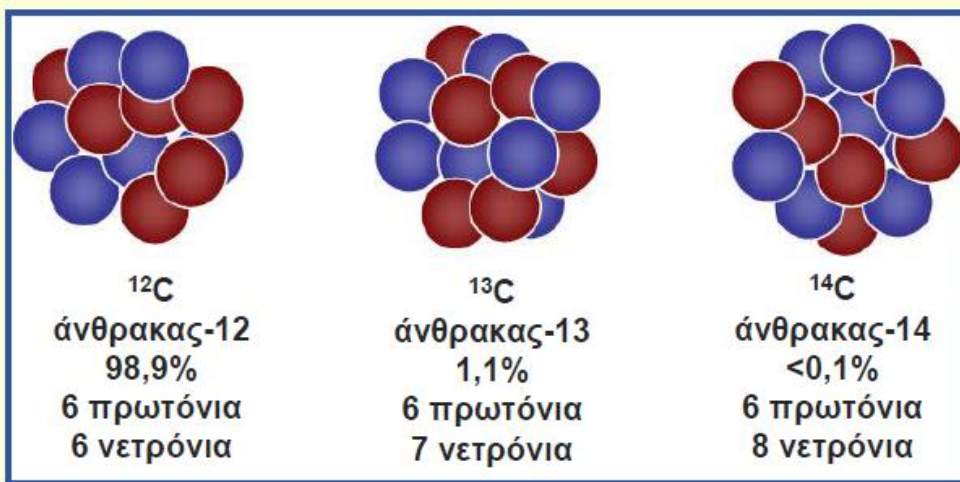
**Μαζικός αριθμός (A)**

αριθμός πρωτονίων και νετρονίων του πυρήνα



**Ισότοπα**

Άτομα των οποίων οι πυρήνες έχουν τον ίδιο ατομικό, αλλά διαφορετικό μαζικό αριθμό



Ποιο άτομο είναι ισότοπο του Α;

Ποιο άτομο έχει τον ίδιο μαζικό αριθμό με το Α;

|          | πρωτόνια  | νετρόνια  |
|----------|-----------|-----------|
| <b>A</b> | <b>18</b> | <b>19</b> |
| <b>B</b> | <b>16</b> | <b>19</b> |
| <b>C</b> | <b>18</b> | <b>18</b> |
| <b>D</b> | <b>17</b> | <b>20</b> |

| Στοιχείο        | Ατομ. αριθ. | Μαζ. αριθ. | Πρωτόνια | Νετρόνια | Ηλεκτρόνια |
|-----------------|-------------|------------|----------|----------|------------|
| Co              | 27          | 59         |          |          |            |
| Cu <sup>+</sup> |             |            |          | 34       | 28         |
| Br              |             | 81         |          | 46       |            |
| Nb              |             | 93         | 41       |          |            |
|                 | 11          | 23         |          |          |            |
| S <sup>2-</sup> |             | 32         |          |          | 18         |
|                 | 17          |            |          | 18       | 18         |
| Si              | 14          |            |          | 15       |            |

# Κλασική Φυσική

ύλη (σωματίδια)

ακτινοβολία (κύμα)

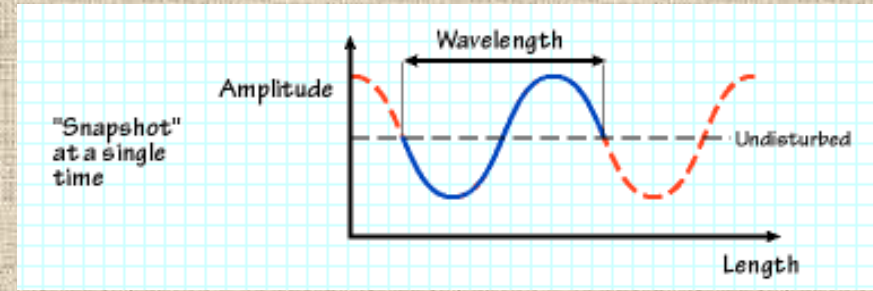
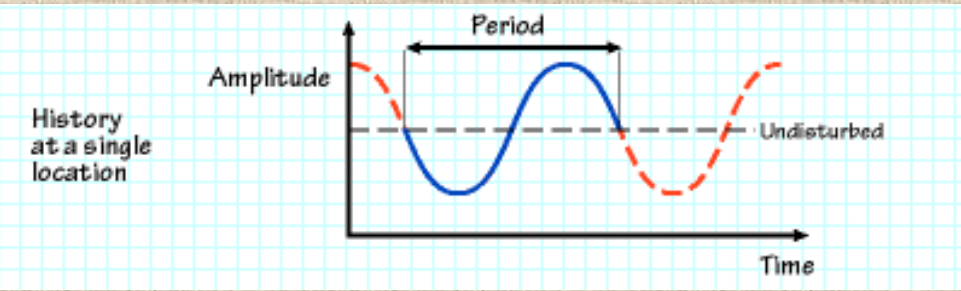
*“η φύση δεν κάνει άλματα”*

δομή ατόμων – μορίων

αλληλεπίδραση ύλης – ακτινοβολίας

??

# Η ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ



**Περίοδος** (T): το χρονικό διάστημα στο οποίο η κυματική εικόνα επαναλαμβάνεται

**Μήκος κύματος** ( $\lambda$ ): η απόσταση που διανύει το κύμα σε χρόνο T

**Συχνότητα** ( $\nu$ ): ο αριθμός των εναλλαγών της ταλάντωσης ανά s,  
μονάδες:  $s^{-1}$  ή Hz

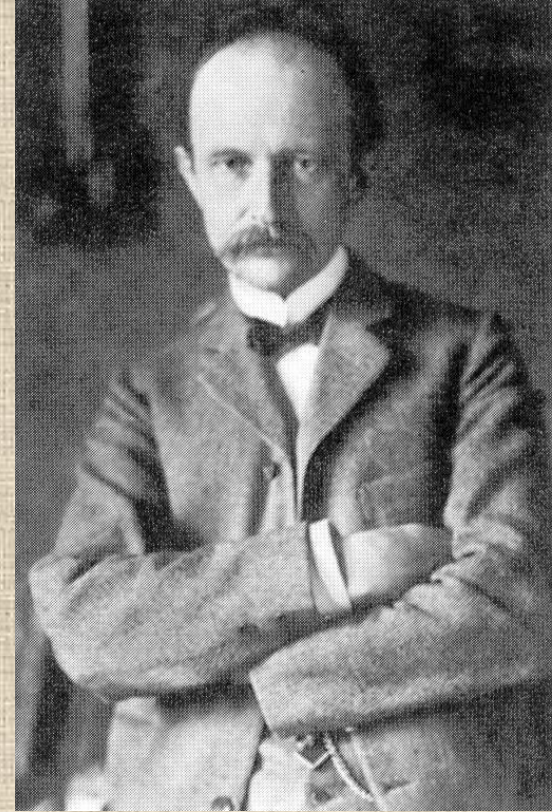
$$c = \lambda \cdot \nu$$

$$c = 2,997925 \times 10^{10} \text{ cm/s}$$

**Max Planck (1858-1947)**

$$E = h \nu$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$



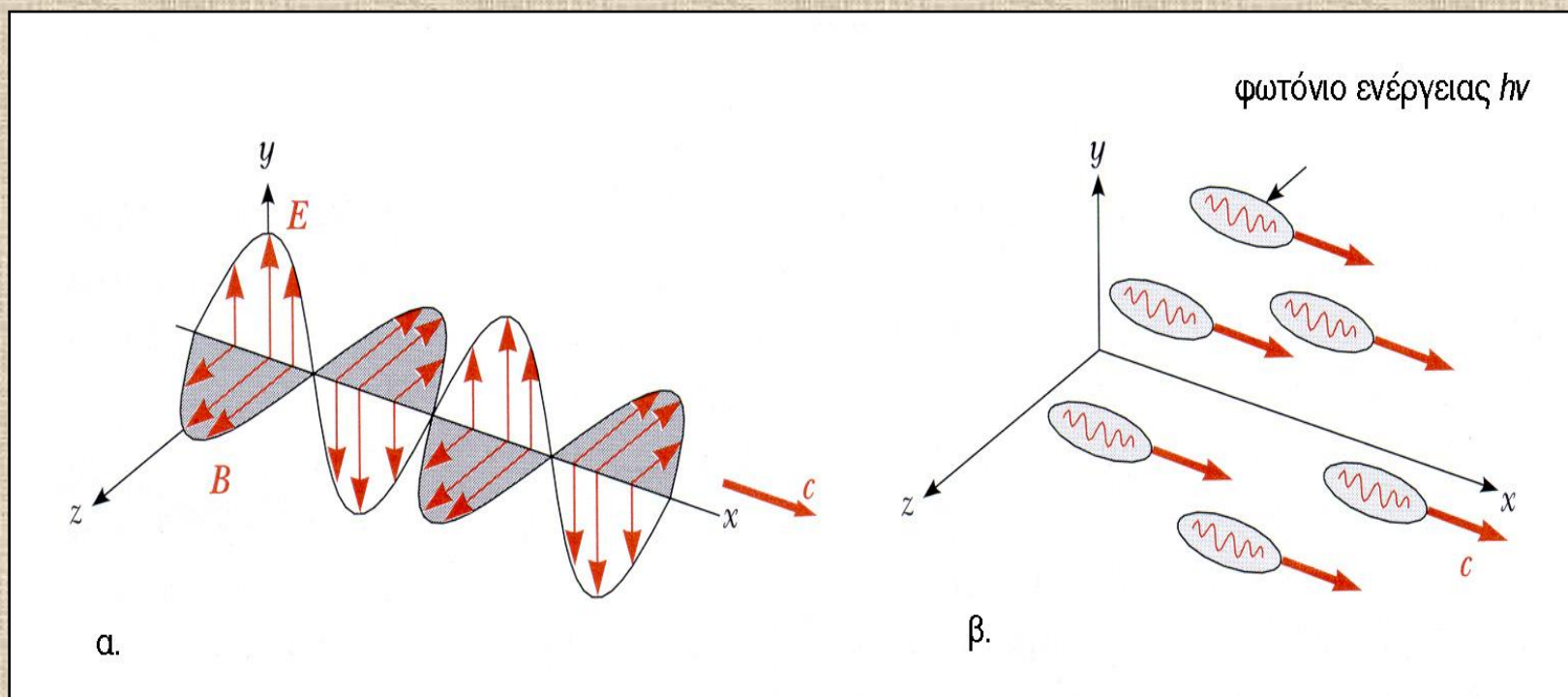
*Γιατί η σταθερά  $h$  έχει τόσο μικρή τιμή?*

*ενέργεια που εκπέμπεται ή απορροφάται από ένα σώμα:*

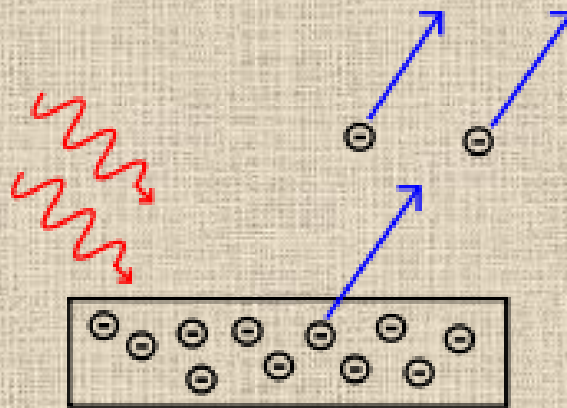
*$1h\nu$ ,  $2h\nu$ ,  $3h\nu$  κοκ*

φωτόνιο

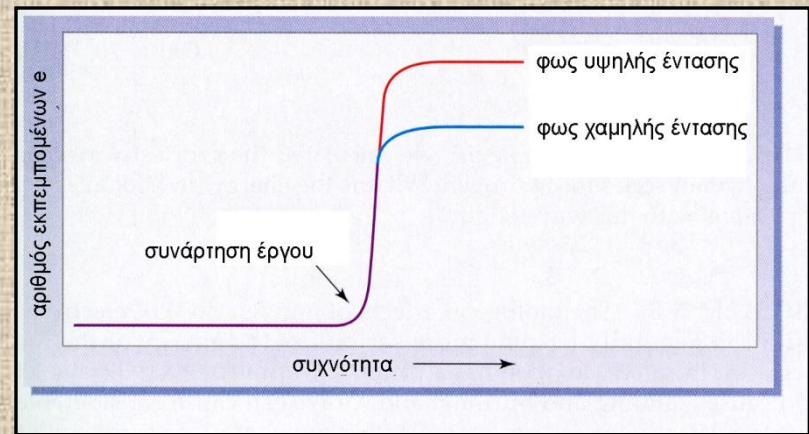
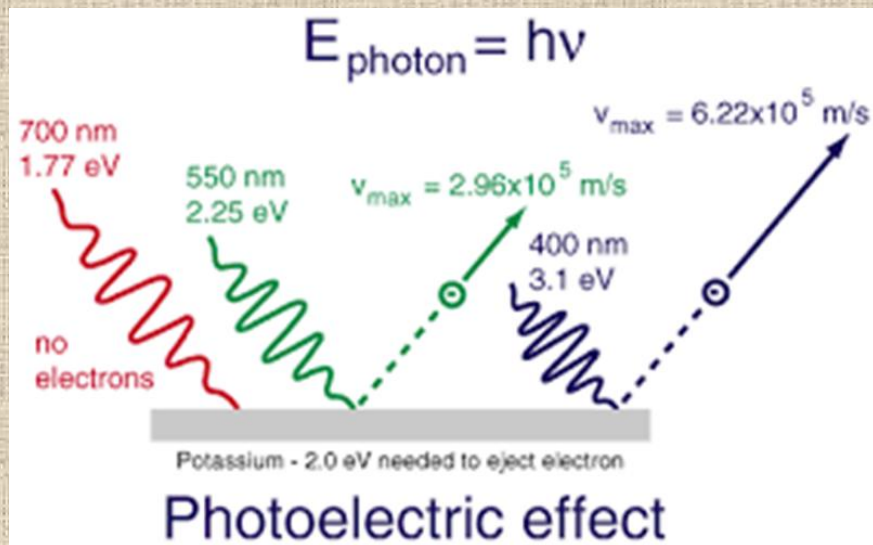
# Κυματική vs σωματιδιακή φύση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας



# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο



- Δεν υπάρχει εκπομπή για  $\nu < \nu_0$
- Δεν υπάρχει χρονική καθυστέρηση
- Ο αριθμός  $e$  αυξάνεται με την ένταση του φωτός
- Η κινητική ενέργεια των  $e$  είναι ανάλογη της συχνότητας και ανεξάρτητη της έντασης του φωτός



$$h\nu = h\nu_0 + E_{\text{KIV}}$$

$$E = h\nu - h\nu_0$$

$$E_{\text{max}} = \frac{1}{2} m u^2 = h\nu - \Phi$$

$$\Phi = h\nu_0$$

8. Όταν φως που έχει συχνότητα  $2.00 \times 10^{16} \text{ Hz}$  προσπέσει σε επιφάνεια μετάλλου, αποσπώνται ηλεκτρόνια με κινητική ενέργεια  $7,50 \times 10^{-18} \text{ J}$ .

Να υπολογίσετε

(α) Τη συχνότητα  $\nu_0$  που αντιστοιχεί στην ελάχιστη ενέργεια  $E_0$  για απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από το μέταλλο.

9. Θέλουμε να κατασκευάσουμε ανιχνευτή ακτινοβολίας για χρήση σε διαστημικό όχημα και επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε λεπτό έλασμα Κ. Ποιο είναι το μέγιστο μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που θα μπορούσε να ανιχνευτεί? Το έργο εξόδου για το Κ είναι  $2.29 \text{ eV}$ .

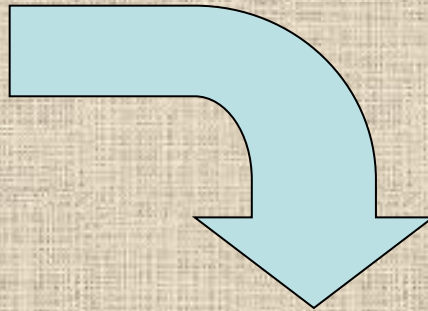
$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$



*Αν τα κύματα του φωτός έχουν και  
σωματιδιακή φύση, μήπως κάποια  
σωματίδια έχουν και κυματική φύση?*

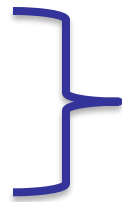


***Κυματική θεωρία της ύλης (1924)** Κάθε κινούμενο μικρό  
σωματίδιο, π.χ. ηλεκτρόνιο, παρουσιάζει διττή φύση, σωματιδίου  
και κύματος.*



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

εξίσωση de Broglie



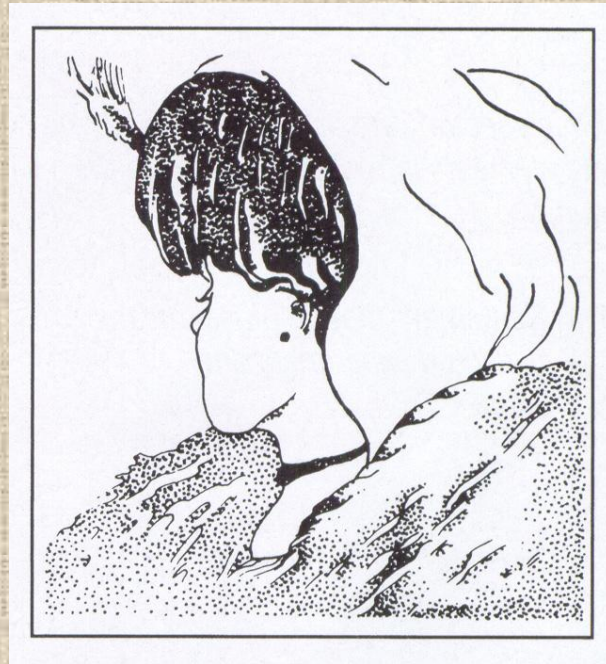
$m$ : ιδιότητα σωματιδίου

$\lambda$ : ιδιότητα κύματος.

$u$ : κοινή ιδιότητα σωματιδίου και κύματος

Ένα ηλεκτρόνιο και ένα πρωτόνιο έχουν το ίδιο μήκος κύματος. Ποιό από τα δύο κινείται με την μεγαλύτερη ταχύτητα?

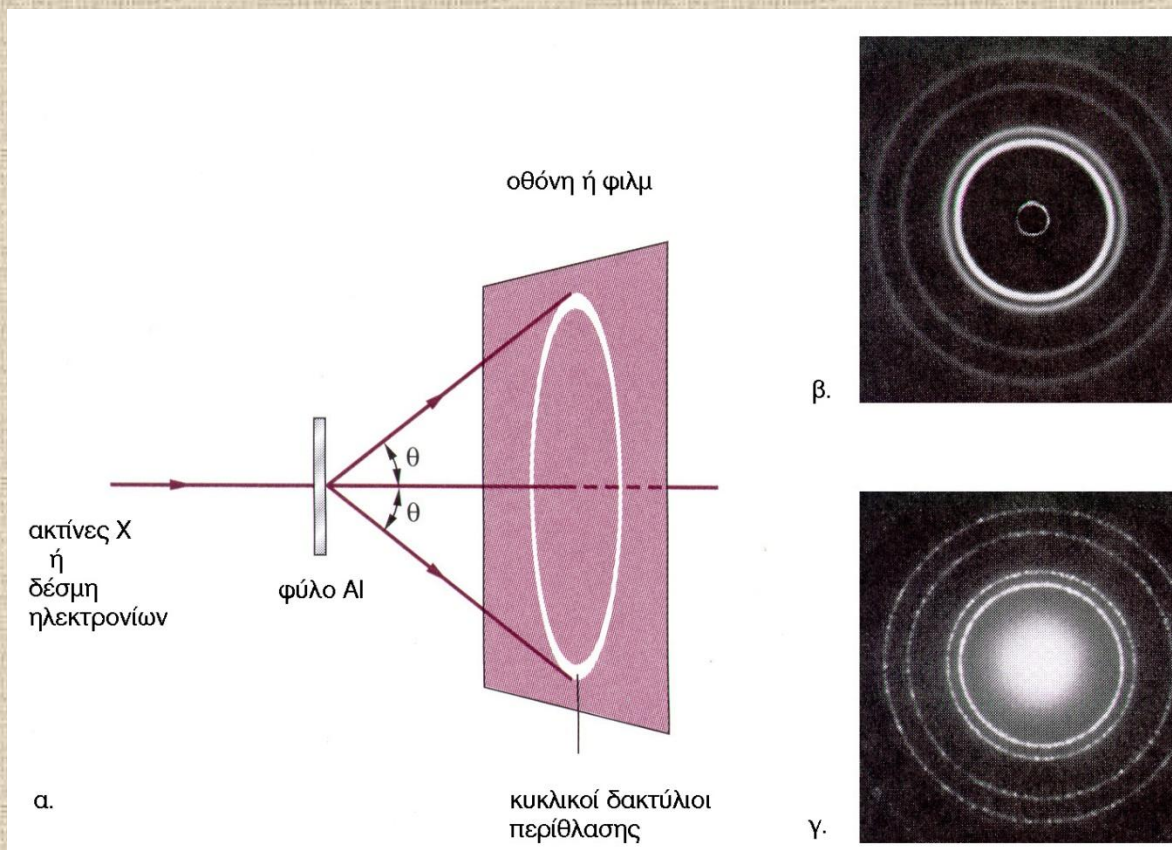
# Τι είναι το ηλεκτρόνιο? Κύμα ή σωματίδιο?





## Sir G. P. Thomson (1937) πειραματική απόδειξη της κυματικής φύσης των $e$

**Διαγράμματα  
περίθλασης δέσμης  
ακτίνων X (πάνω) και  
ηλεκτρονίων (κάτω)  
μέσω λεπτού φύλλου  
αλουμινίου.**



Joseph John Thomson (1856-1940)



ανακάλυψη ηλεκτρονίου  
(1897)

**9. Να υπολογίσετε το μήκος κύματος ενός πρωτονίου που κινείται με ταχύτητα 7,30 km/s.**

**Δίνονται:  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ,  $m = 1.67252 \times 10^{-24} \text{ g}$**

2. Χρησιμοποιούμε την εξίσωση του de Broglie ( $\lambda = h/mv$ ), όπου  $m$  η μάζα του πρωτονίου ( $1,67262 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ),  $v$  η ταχύτητα του πρωτονίου ( $7,30 \text{ km/s} = 7,30 \times 10^3 \text{ m/s}$ ) και  $h$  η σταθερά του Planck ( $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ):

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}}{(1,67262 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (7,30 \times 10^3 \text{ m/s})} = 5,427 \times 10^{-11} \text{ m} = 5,43 \times 10^{-11} \text{ m} (54,3 \text{ pm})$$

Το μήκος κύματος των  $54 \text{ pm}$  εμπίπτει στην περιοχή των ακτίνων X του φάσματος.

3. Όταν φως που έχει συχνότητα  $2,00 \times 10^{16}$  Hz προσπέσει σε επιφάνεια μετάλλου, αποσπώνται ηλεκτρόνια με κινητική ενέργεια  $7,50 \times 10^{-18}$  J.

Υπολογίστε:

(α) Τη συχνότητα  $\nu_0$  που αντιστοιχεί στην ελάχιστη ενέργεια  $E_0$  για απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από το μέταλλο.

(β) Το μήκος κύματος των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων.

Υπόδειξη: Για τον υπολογισμό του μήκους κύματος των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων, εφαρμόστε την εξίσωση του de Broglie.

$$\underline{\nu_0 = 8,668 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}}$$

$$\lambda = \frac{h}{m_e \nu}$$

$$\nu = \sqrt{\frac{2E_{\text{κιν}}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 7,50 \times 10^{-18} \text{ J}}{9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}}} \Rightarrow \underline{\nu = 4,06 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}}$$

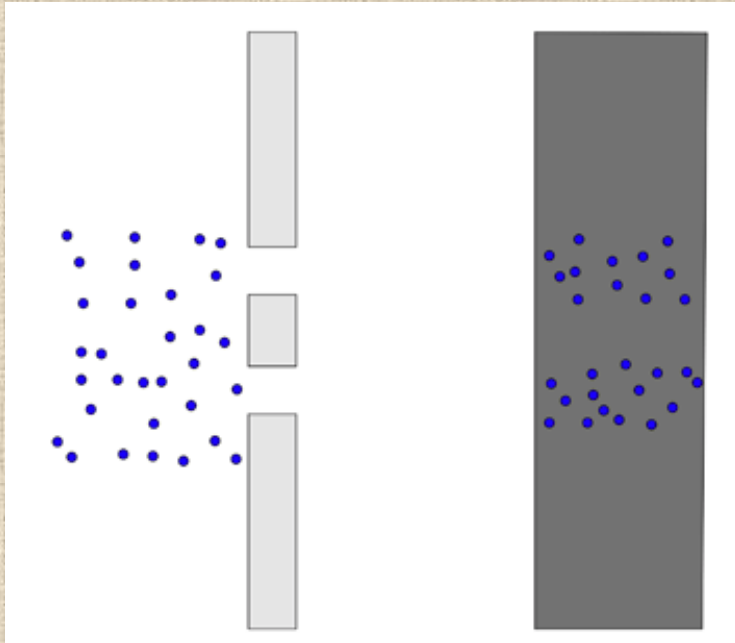
$$\lambda = \frac{h}{m_e \nu} \Rightarrow \lambda = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}}{9,109 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 4,06 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}} \Rightarrow \underline{\lambda = 1,79 \times 10^{-10} \text{ m} = 179 \text{ pm}}$$

## **Σωστό ή Λάθος?**

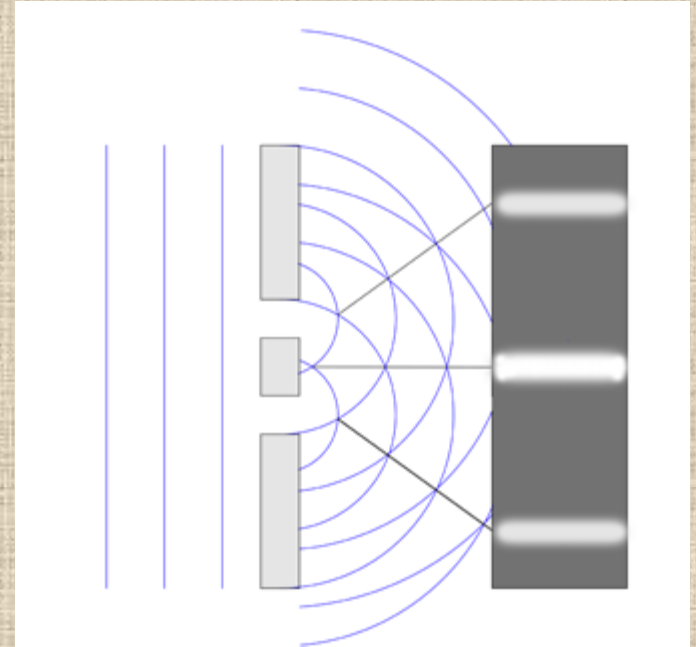
**Στα ραδιοκύματα, που έχουν μεγάλο μήκος κύματος, είναι δύσκολο να αποδείξουμε το σωματιδιακό τους χαρακτήρα, ενώ στις ακτίνες Χ, που έχουν πολύ μικρό μήκος κύματος, είναι δύσκολο να αποδείξουμε τις κυματικές τους ιδιότητες;**

# Πείραμα των 2 σχισμών

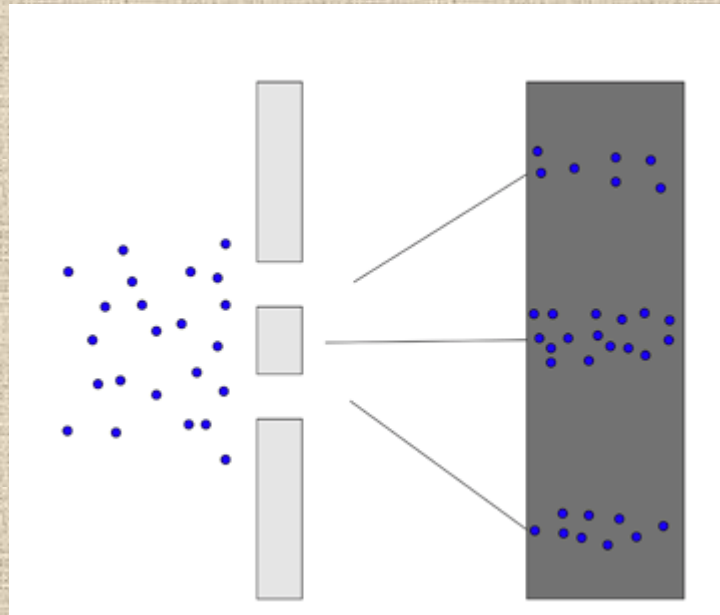
σωματίδια

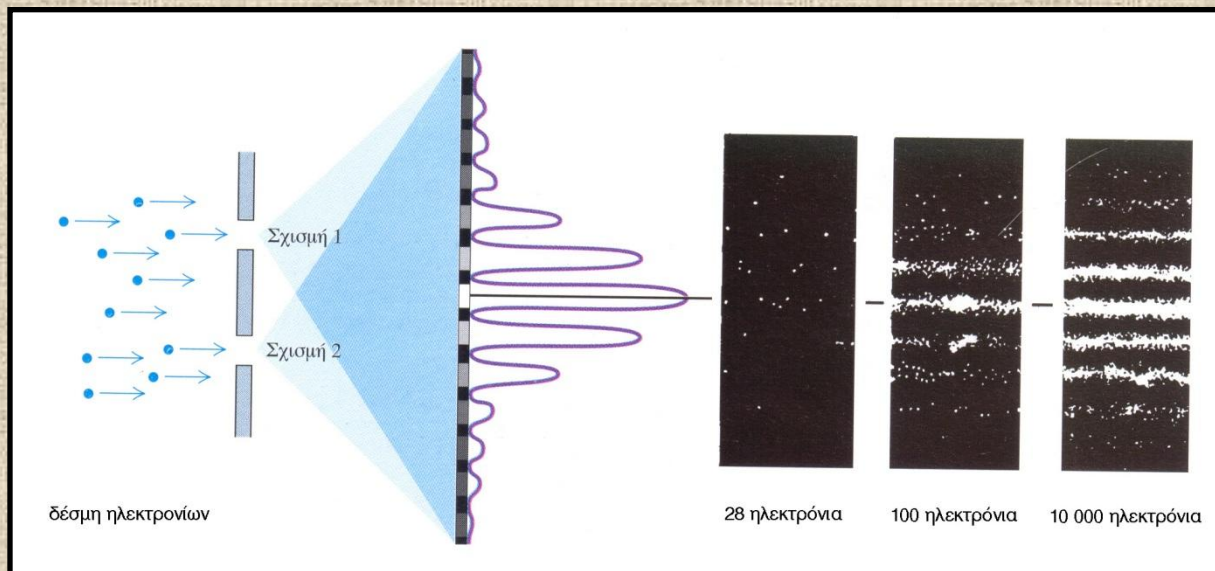
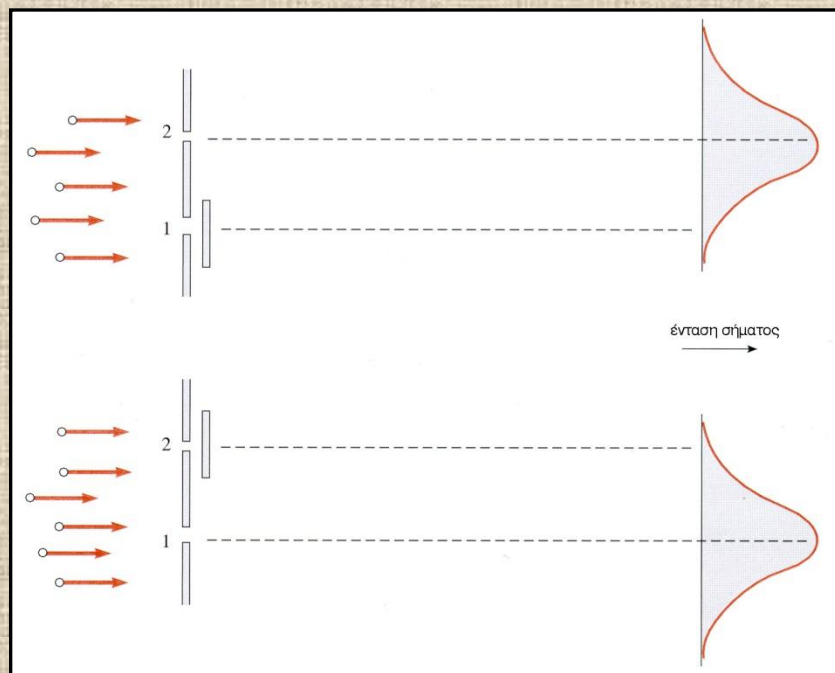


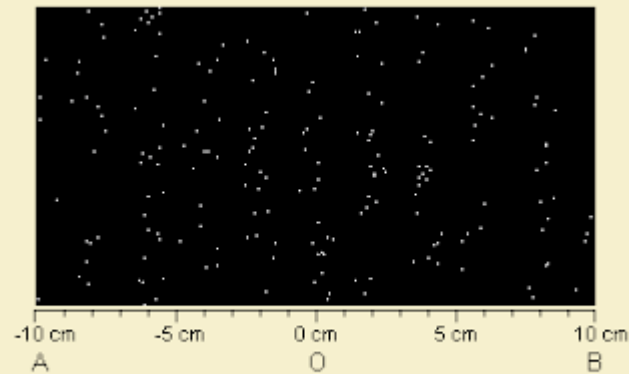
κύματα



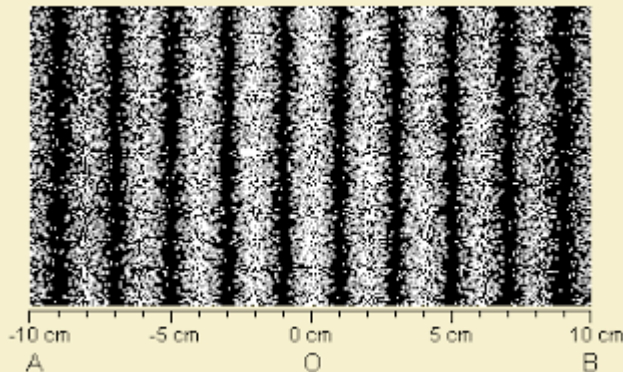
ηλεκτρόνια





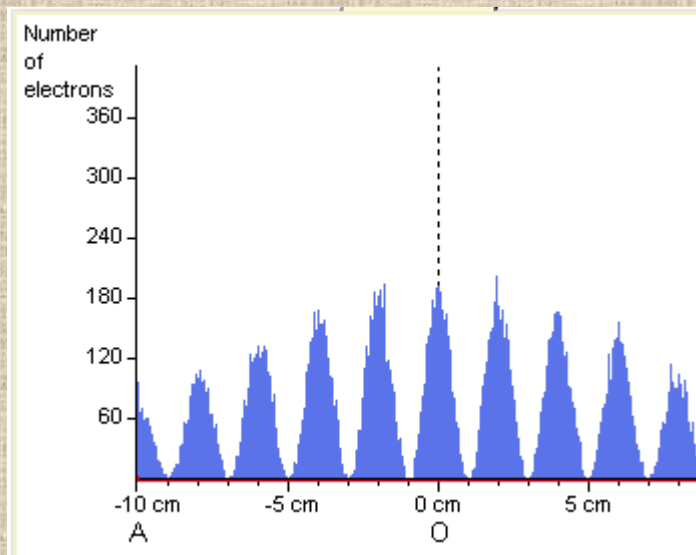


**Δεν μπορούμε να προβλέψουμε  
με βεβαιότητα που θα πάει ένα  
μεμονωμένο ηλεκτρόνιο**

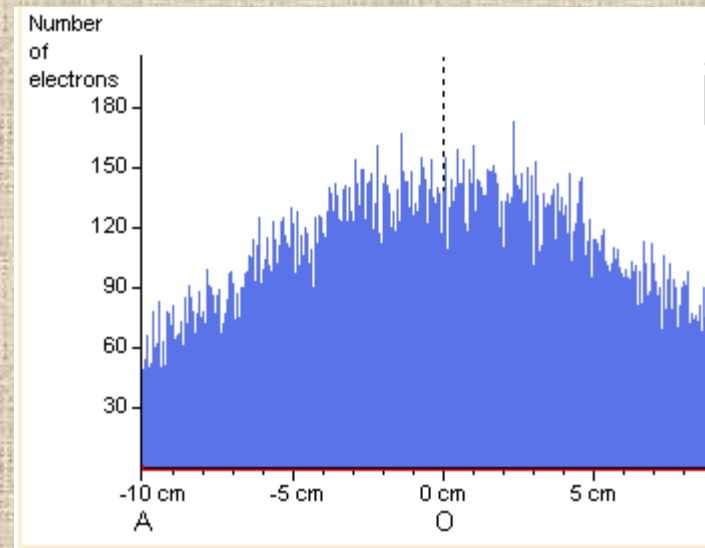


**Μπορούμε να προβλέψουμε με  
απόλυτη ακρίβεια που θα πάει  
ένας μεγάλος αριθμός  
ηλεκτρονίων**

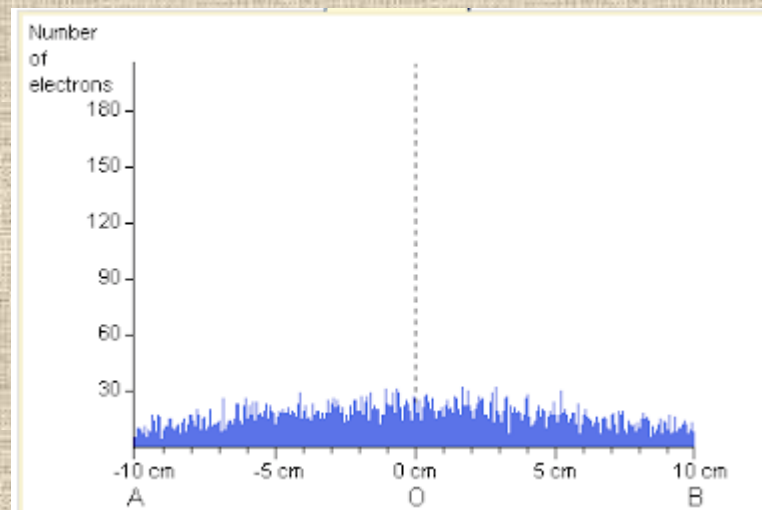
## Με 2 σχισμές ανοιχτές



## Με 1 σχισμή ανοιχτή



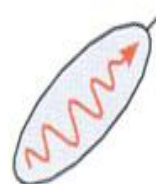
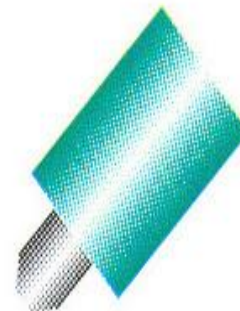
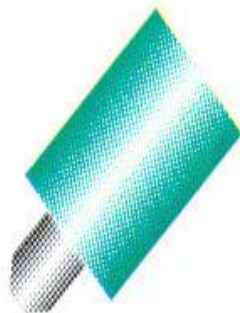
## Με σύστημα παρατήρησης ηλεκτρονίων



φωτόνιο



ηλεκτρόνιο



ηλεκτρόνιο