



# ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

**Π. Παπαγιάννης**

Αν. Καθηγητής,  
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής,  
Ιατρική Σχολή Αθηνών.

Γραφείο 21

210-746 2442

[ppapagi@med.uoa.gr](mailto:ppapagi@med.uoa.gr)

**Τις προσεχείς (11) ώρες θα συζητήσουμε τα πέντε  
πρώτα κεφάλαια του συγγράμματός σας,  
ή απλούστερα... :**

- Φύση & είδη ιοντίζουσας ακτινοβολίας
- Αλληλεπίδραση ιοντίζουσας ακτινοβολίας-ύλης
- Βιολογικά αποτελέσματα ιοντίζουσας ακτινοβολίας
- Στοιχεία δοσιμετρίας ιοντίζουσας ακτινοβολίας
- Ακτινοπροστασία

**Η Φυσική στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα**

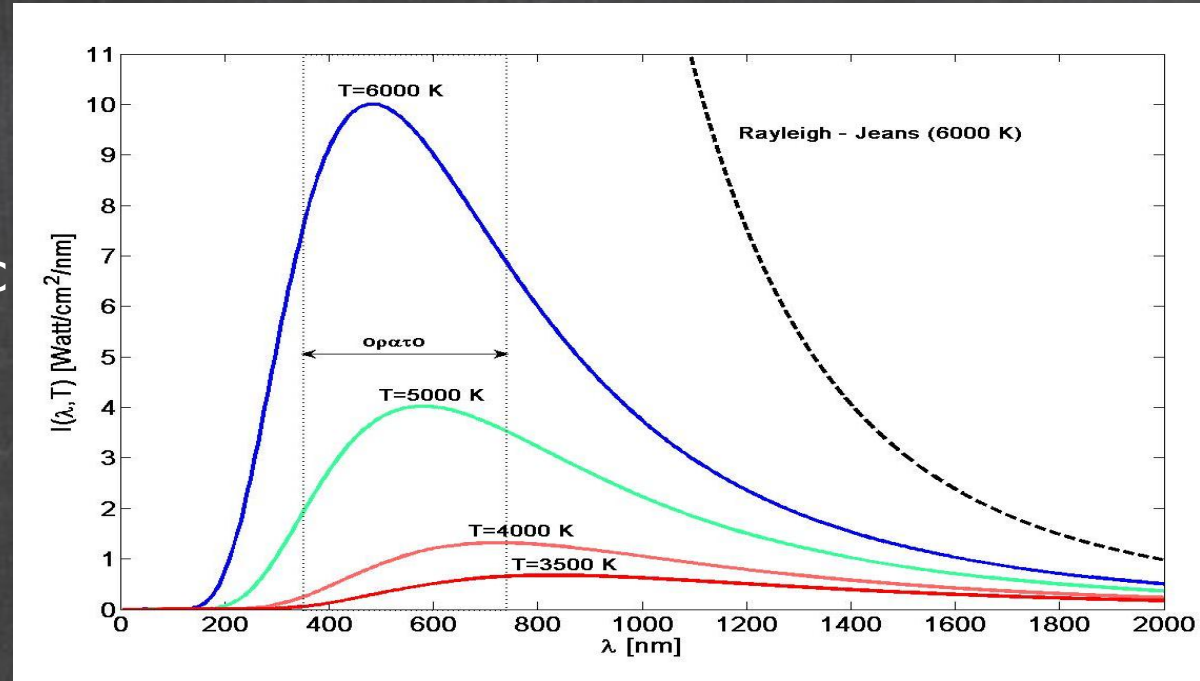
**ή**

**κλασική Φυσική εναντίον μικρόκοσμου ...**

# Μέλαν σώμα και η αρχή της κβάντωσης

## Παρατηρήσεις:

- Φάσμα εξαρτώμενο μόνο από  $T$
- Μέγιστη ένταση:  $\lambda_{\max} T = c$  (N. Wien)
- συνολική ένταση  $\sim \sigma T^4$  (N. Stefan-Boltzman)



## Κλασική ερμηνεία Rayleigh-Jeanes:

Οι στοιχειώδεις ταλαντωτές έχουν συνεχές φάσμα  $E$  και εκπέμπουν  $H/M$  ακτ. με συνεχές φάσμα  $E$

## Ερμηνεία Planck:

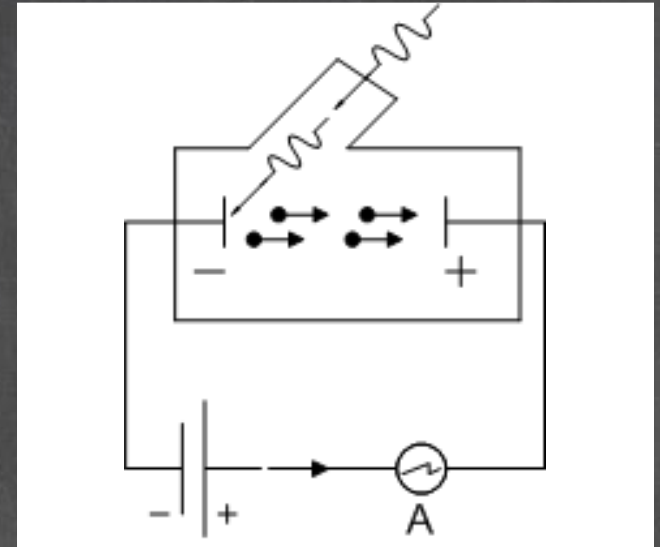
Οι στοιχειώδεις ταλαντωτές έχουν διακριτό φάσμα  $E = nhf = nhc/\lambda$  και απορροφούν/εκπέμπουν  $H/M$  ακτ. κατά **κβάντα**  $\Delta E = hf = hc/\lambda$

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

# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: από το κύμα στο σωματίδιο

## Κλασική θεώρηση:

- Αυξάνοντας την ένταση  $H/M$  ακτινοβολίας εξάγονται περισσότερα  $e$  ανά μονάδα  $t$
- Αυξάνοντας την ένταση  $H/M$  ακτινοβολίας αυξάνει η  $U_{\max}$  των  $e$
- $e$  εξάγονται ανεξαρτήτως της  $f$  της  $H/M$  ακτινοβολίας



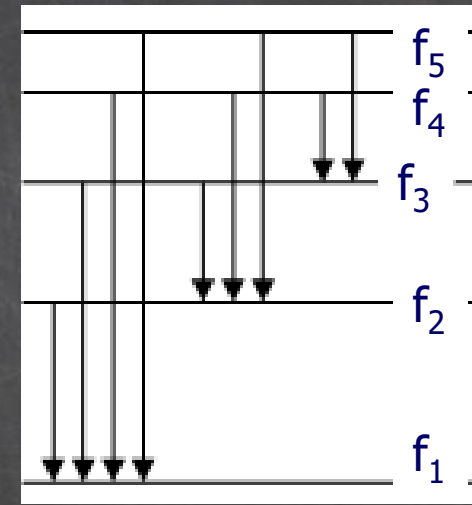
**Ερμηνεία Einstein:** η  $H/M$  ακτινοβολία αποτελείται από κβάντα φωτός ή φωτόνια, ενέργειας ίσης με  $E=hf$  και η απορρόφηση τους γίνεται ασυνεχώς

# Ατομικό πρότυπο Bohr για τα υδρογονοειδή άτομα

## Δεδομένα:

- Ανακάλυψη του e
- Πείραμα Rutherford
- Φάσματα εκπομπής αερίων.:

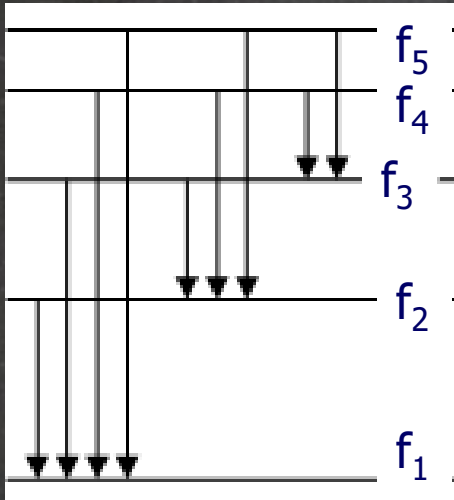
$$f_n = R/n^2$$



## Πρότυπο Bohr:

- Σε ένα ατομικό σύστημα επιτρέπονται μόνο συγκεκριμένες καταστάσεις σταθερής ενέργειας που αντιστοιχούν σε κυκλικές τροχιές του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα ώστε η στροφορμή του να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της σταθεράς του Planck.
- Η απορρόφηση και η εκπομπή ακτινοβολίας επιτρέπονται μόνο κατά τη μετάβαση του ηλεκτρονίου μεταξύ δύο τέτοιων επιτρεπόμενων καταστάσεων σταθερής ενέργειας.

# Ατομικό πρότυπο Bohr για τα υδρογονοειδή άτομα



$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{m [e^2 / (4\pi\epsilon_0)]^2}{2\hbar^2} = -\frac{1}{n^2} E_1$$

$$r_n = n^2 \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{e^2 m} = r_1 n^2$$

$$U_n = \frac{e^2 / 4\pi\epsilon_0}{n \cdot \hbar} = \frac{1}{n} U_1$$

**ΝΑ ΘΥΜΑΣΤΕ:**

$$E_1 = 13,6 \text{ eV}$$

$$r_1 = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$\text{και } U_1 = 2 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$$

# Κύματα de Broglie: από το σωματίδιο στο κύμα

Όλες οι μορφές της ύλης εμφανίζουν κυματικές και σωματιδιακές ιδιότητες κατά την κίνηση:

➤  $E=hf$

➤  $p=h/\lambda$

ποιο είναι το δικό σας μήκος κύματος de Broglie όταν τρέχετε;

Ποιο είναι το μήκος κύματος de Broglie ενός e με ενέργεια 1 eV;



## Κύματα de Broglie: από το σωματίδιο στο κύμα

Ποιο είναι το μέγεθος που ικανοποιεί την κυματική εξίσωση;

Μια συνάρτηση το τετράγωνο της τιμής της οποίας σε τυχόν σημείο δίνει την πιθανότητα να απαντηθεί στο σημείο αυτό το σωματίδιο.

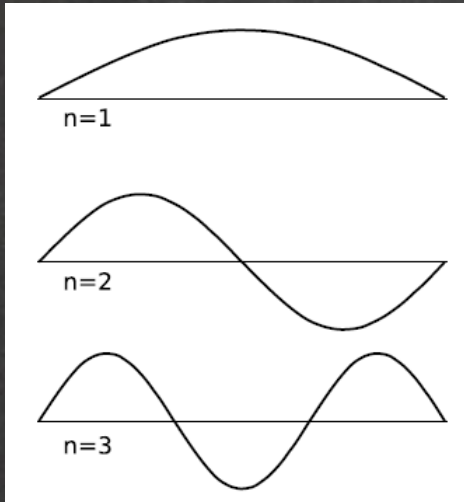
Μα αν γνωρίζω θέση και ταχύτητα ενός σωματιδίου κάποια στιγμή δεν μπορώ με τη βοήθεια της μηχανικής να προβλέψω τη θέση οποιαδήποτε άλλη στιγμή;

Αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg:

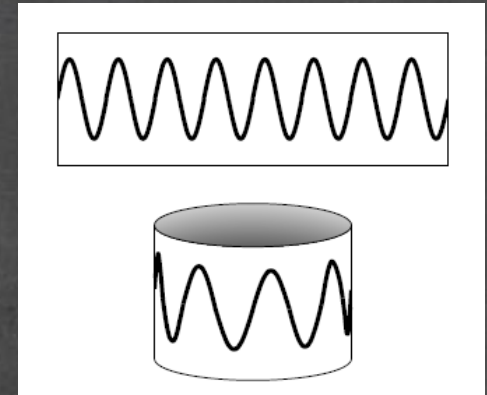
$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$$

# Η κβαντική μηχανική...

Στάσιμα κύματα  
στην κλασική φυσική



Το κύμα de Broglie του  $e$   
που περιορίζεται στο άτομο  
είναι ένα **στάσιμο κύμα**



# Η κβαντική μηχανική...

Εξίσωση του Shrodinger:

$$E \psi(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \psi(x) + V(x)\psi(x)$$

$$V(x) = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{x}$$

$$V(\vec{r}) = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\vec{r}}$$

Κυματοσυναρτήσεις  $\psi_{n,l,m_l}(\vec{r})$  που ικανοποιούν την εξίσωση αποτελούν μέτρα της πιθανότητας να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε συγκεκριμένη θέση με συγκεκριμένη ενέργεια.

Οι τρεις κβαντικοί αριθμοί  $n, l, m_l$  που αναδύονται από τη θεωρία και από τους οποίους εξαρτάται κάθε κυματοσυνάρτηση είναι:

- $n$ , ο κύριος κβαντικός αριθμός που παίρνει τιμές  $n=1,2,3,\dots,\infty$
- $l$ , ο κβαντικός αριθμός της τροχιακής στροφορμής που παίρνει τιμές  $l=0, 1, 2,\dots, n-1$
- $m_l$ , ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός που παίρνει τιμές  $m_l=-l,-l+1,\dots, l-1, l$

## Η κβαντική μηχανική...

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{m [e^2 / (4\pi\epsilon_0)]^2}{2\hbar^2} = -\frac{1}{n^2} E_1$$

$$r_n = n^2 \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{e^2 m} = r_1 n^2$$

$$U_n = \frac{e^2 / 4\pi\epsilon_0}{n \cdot \hbar} = \frac{1}{n} U_1$$

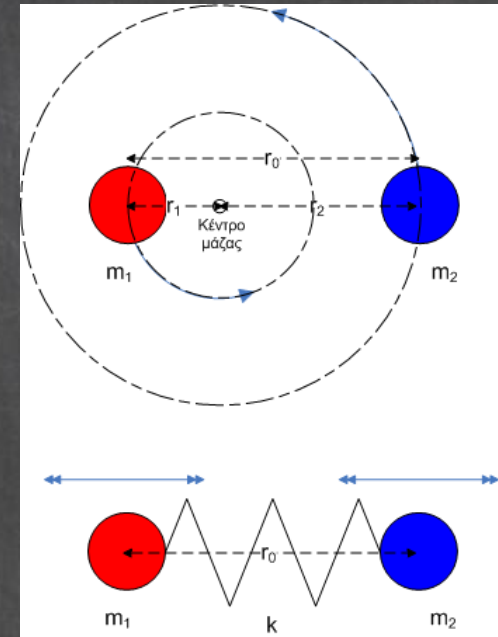
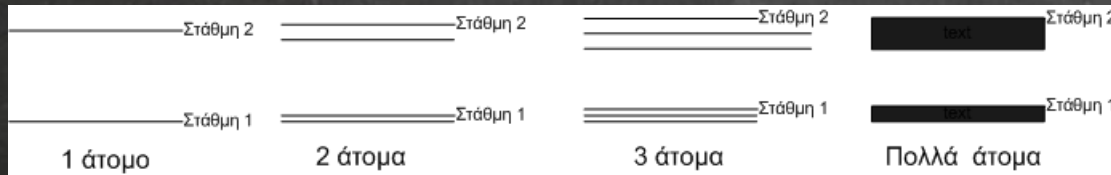
Η κβαντομηχανική δίνει τις ίδιες τιμές ενέργειας και ταχύτητας  $e$  στο άτομο του υδρογόνου με το πρότυπο του Bohr.

Η ακτίνα του Bohr στο άτομο του υδρογόνου έχει το νόημα της απόστασης στην οποία αντιστοιχεί η μέγιστη πιθανότητα θέσης του  $e$ .

Πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα...?

# Μόρια και συμπυκνωμένη ύλη...

- Ετεροπολικός δεσμός
- Ομοιοπολικός δεσμός
- Ενεργειακές καταστάσεις μορίων
- Υγρά
- Στερεά



## «σύνοψη»...

- Χαρακτηριστικά μεγέθη του ατόμου
- Το ατομικό πρότυπο του Bohr είναι μια ικανοποιητική υπόθεση εργασίας για τις ανάγκες της συζήτησης μας στα επόμενα
- Η Η/Μ ακτινοβολία έχει κυματικό και σωματιδιακό χαρακτήρα
- Φωτόνια απορροφούνται μόνο εάν έχουν ενέργεια ίση με τη διαφορά δύο ενεργειακών καταστάσεων της ύλης
- Ο σωματιδιακός χαρακτήρας της Η/Μ ακτινοβολίας εκδηλώνεται όταν η παραπάνω διαφορά είναι σημαντική σε σχέση με τη συνολική ενέργεια
- Το παραπάνω ισχύει σε ατομικό επίπεδο, οπότε στα επόμενα θα θεωρούμε το σωματιδιακό χαρακτήρα της Η/Μ ακτινοβολίας