



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

## ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

**Π. Παπαγιάννης**

Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής,  
Ιατρική Σχολή Αθηνών  
Κτίριο 5, Γραφείο 21



210 746 2442



ppapagi@med.uoa.gr



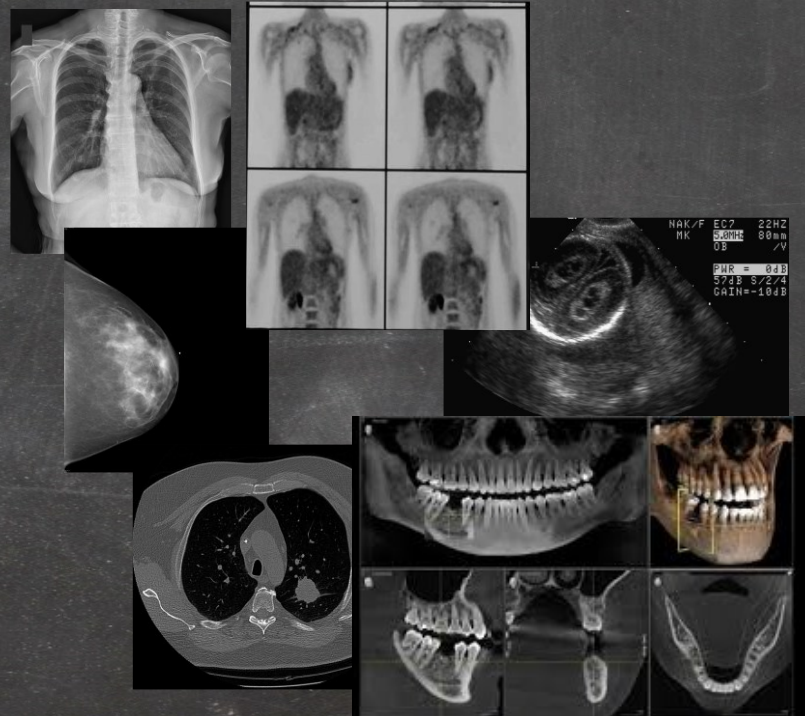
<https://eclass.uoa.gr/courses/MED1114/>  
(κωδικός 500723)  
<https://mpl.med.uoa.gr/>

# Αντί εισαγωγής ...

## Τι είναι η Ιατρική Φυσική και γιατί χρειάζεται;

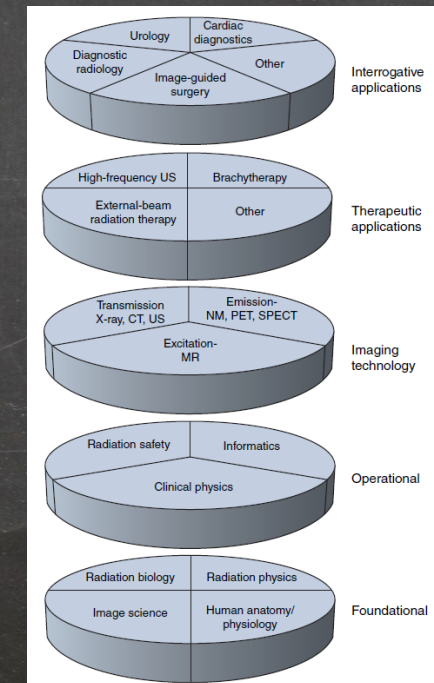
### 1. Φυσική των διαγνωστικών και θεραπευτικών εφαρμογών ακτινοβολίας (ιοντίζουσας & μη-ιοντίζουσας)

- ✓ Εισάγονται διαρκώς νέα ερωτήματα που αφορούν την πολυπλοκότητα του ανθρώπινου σώματος και τις στατικές ή δυναμικές ιδιότητες του.
- ✓ Η ιατρική εικόνα είναι ήδη πολύ περισσότερα από μια αποτύπωση της ανατομίας.
- ✓ Οι διαγνωστικές και θεραπευτικές εφαρμογές είναι ευρέως διαθέσιμες & εξελίσσονται διαρκώς.



### 2. Φυσική του ανθρώπινου σώματος

- ✓ Η κατανόηση της «ανθρώπινης μηχανής» είναι μια εξαιρετική εισαγωγή σε κάθε μια από τις Ιατρικές ειδικότητες.



## επίσης ... :

Η φυσική είναι το τέλειο μέσο για να αναπτύξετε τις δεξιότητές σας στην επαγωγική και την αναγωγική συλλογιστική ...

επαγωγή

γενικεύσεις από παρατηρήσεις

Π.χ.: Δεδομένα: Έχω την τάση να κρυολογώ όταν οι άνθρωποι γύρω μου είναι άρρωστοι.

Υπόθεση: Το κρυολόγημα είναι μεταδοτικό.

αναγωγή

αυστηρή εξαγωγή μιας δήλωσης (το συμπέρασμα) από μία ή περισσότερες προτάσεις (προκείμενα)

Π.χ.: Κύρια πρόταση: Όλα τα θηλαστικά έχουν σπονδ. στήλη.

Δευτερεύουσα πρόταση: Οι άνθρωποι είναι θηλαστικά.

Συμπέρασμα: Οι άνθρωποι έχουν σπονδ. στήλη.

... καθώς και ένα επεξηγηματικό εργαλείο της πραγματικότητας.



## Στα καθ' ημάς ... :

- 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 του μικρόκοσμου ...

Η **μηχανική**, η μελέτη της κίνησης των υλικών σωμάτων (και επομένως και των υλικών κυμάτων) υπό την επίδραση δυνάμεων χρησιμοποιώντας τους νόμους του Νεύτωνα, είναι σε θέση να προβλέψει με απόλυτη ακρίβεια τόσο την απόλυτα καθορισμένη τροχιά των σωμάτων όσο και όλα τα σχετικά φυσικά μεγέθη (ταχύτητα, ορμή, ενέργεια) που έχουν συνεχείς τιμές.

Η **κλασική θεωρία πεδίου** με τον νόμο της παγκόσμιας βαρύτητας του Νεύτωνα και την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell, περιγράφει τα δύο θεμελιώδη πεδία δυνάμεων. Αν και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ικανοποιούν την κυματική εξίσωση που προκύπτει από τη Νευτώνεια μηχανική, διαδίδονται επίσης στο κενό και επομένως δεν μπορούν να αναχθούν σε ταλάντωση οποιουδήποτε υλικού μέσου διάδοσης. Έτσι, εκτός από τα εντοπισμένα και αδιαίρετα σωματίδια, φορείς ενέργειας είναι επίσης τα εκτεταμένα και διαίρετά κύματα.

Η **στατιστική φυσική** περιγράφει τις θερμοδυναμικές ποσότητες ενός συνόλου μικροσκοπικών σωματιδίων με τη βοήθεια στατιστικών, νόμων καθώς η επίλυση των νόμων κίνησης καθενός από αυτά είναι πρακτικά αδύνατη και δεν χρειάζεται, και προσθέτει το νόμο της εντροπίας στην κλασική φυσική.

Η θεωρία της **σχετικότητας** είναι ένα συμπλήρωμα έτσι ώστε οι νόμοι της φυσικής να ισχύουν για οποιοδήποτε αδρανειακό σύστημα αναφοράς ακόμη και αν κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα.

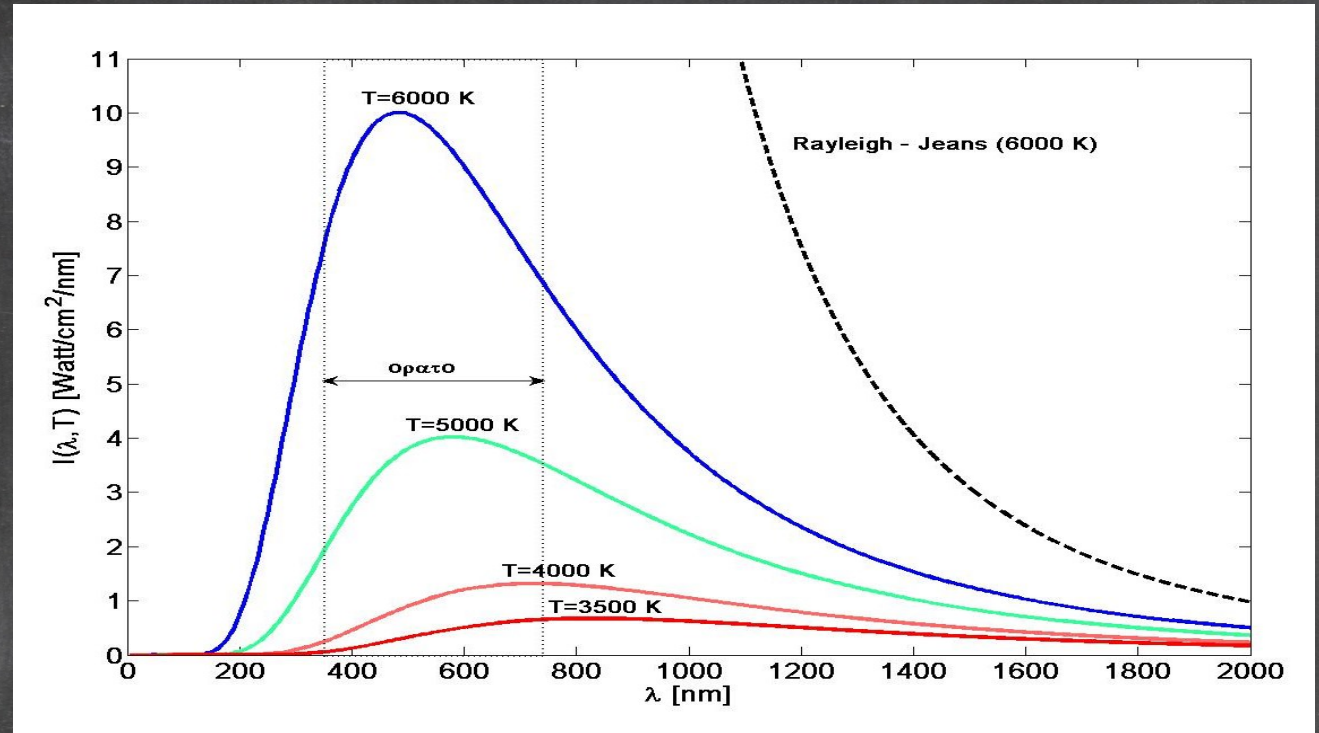
Εν ολίγοις, σε φυσική και μακροσκοπική κλίμακα υπάρχουν όλα τα εργαλεία έτσι ώστε οι ποσότητες που περιγράφουν ένα φυσικό φαινόμενο να υπολογίζονται με ακρίβεια και οι φορείς ενέργειας είναι **δύο ξεχωριστές οντότητες, σωματίδια και κύματα**, τα οποία μπορούν να έχουν ένα **συνεχές εύρος τιμών ενέργειας**.

Και τότε, κατέστησαν διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα από το μικρόκοσμο ...

# Μέλαν σώμα και η αρχή της κβάντωσης

## Παρατηρήσεις:

- Φάσμα εξαρτώμενο μόνο από  $T$
- Μέγιστη ένταση:  $\lambda_{\max} T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m K}^\circ$  (N. Wien)
- συνολική ένταση  $\sim \sigma T^4$  (N. Stefan-Boltzman)



## Κλασική ερμηνεία Rayleigh-Jeans:

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

## Ερμηνεία Planck:

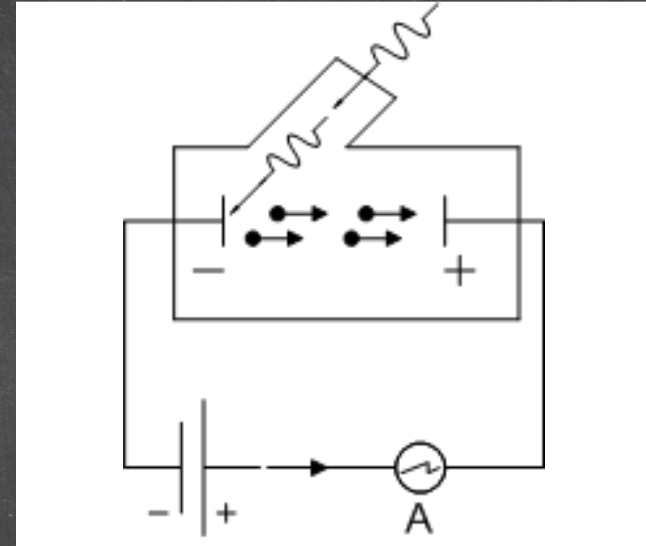
Οι στοιχειώδεις ταλαντωτές έχουν διακριτό φάσμα  $E=nhf=nhc/\lambda$  και απορροφούν/εκπέμπουν  $H/M$  ακτ. κατά **κβάντα**  $\Delta E=hf=hc/\lambda$

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

# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: από το κύμα στο σωματίδιο

## Κλασική θεώρηση:

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



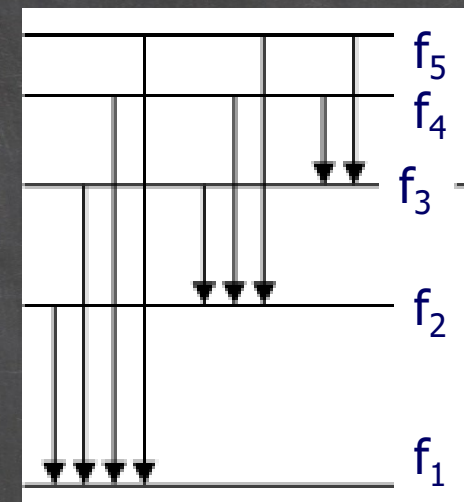
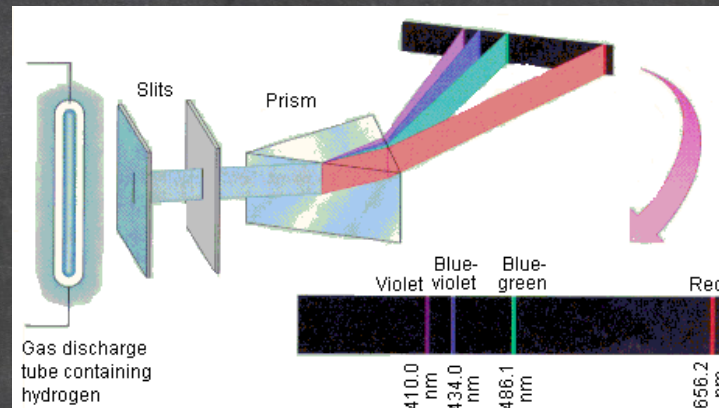
**Ερμηνεία Einstein:** η Η/Μ ακτινοβολία αποτελείται από κβάντα φωτός ή φωτόνια, ενέργειας ίσης με  $E=hf$  και η απορρόφηση τους γίνεται ασυνεχώς

# Ατομικό πρότυπο Bohr για τα υδρογονοειδή άτομα

## Δεδομένα:

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

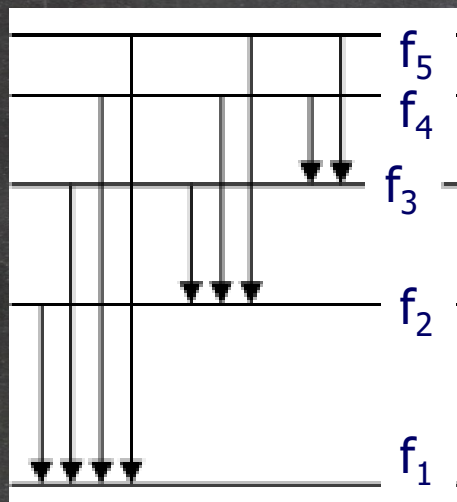
$$f_n = R/n^2$$



## 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:**

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

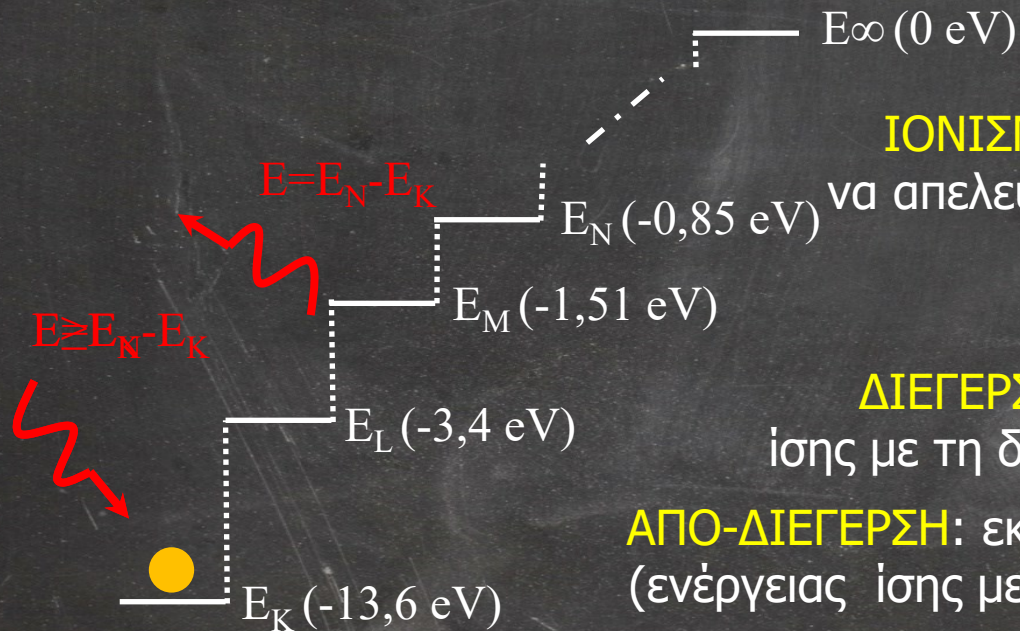
$$r_1 = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

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

# Διέγερση-Αποδιέγερση-Ιονισμός

Τα ηλεκτρόνια:

- ✓ είναι δέσμια στο άτομο και κινούνται σε καθορισμένες στοιβάδες περί τον πυρήνα υπό την επίδραση της δύναμης Coulomb
- ✓ έχουν καθορισμένες τιμές ενέργειας (ανάλογα με τον ατομικό αριθμό και την στοιβάδα)



**ΙΟΝΙΣΜΟΣ:** απορρόφηση ενέργειας ικανής να απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο από το άτομο

**ΔΙΕΓΕΡΣΗ:** απορρόφηση ενέργειας ίσης με τη διαφορά 2 ενεργειακών σταθμών

**ΑΠΟ-ΔΙΕΓΕΡΣΗ:** εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας (ενέργειας ίσης με τη διαφορά 2 ενεργειακών σταθμών)

## 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.

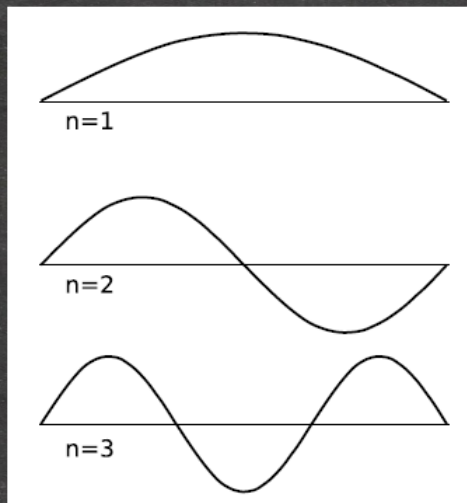
Μα αν γνωρίζω θέση και ταχύτητα ενός σωματιδίου κάποια στιγμή δεν μπορώ με τη βοήθεια της μηχανικής να προβλέψω τη θέση οποιαδήποτε άλλη στιγμή;

Αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg:

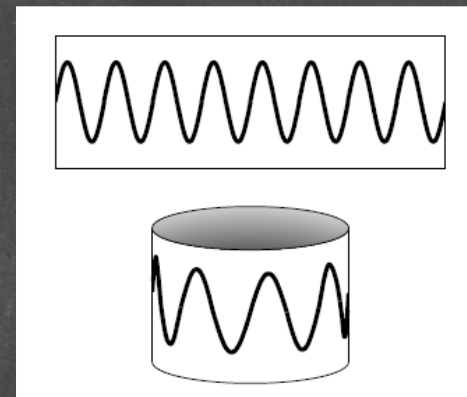
$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$$

# 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 Shrödinger:

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

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

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

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  $v$  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...?

(spin και απαγορευτική αρχή Pauli)

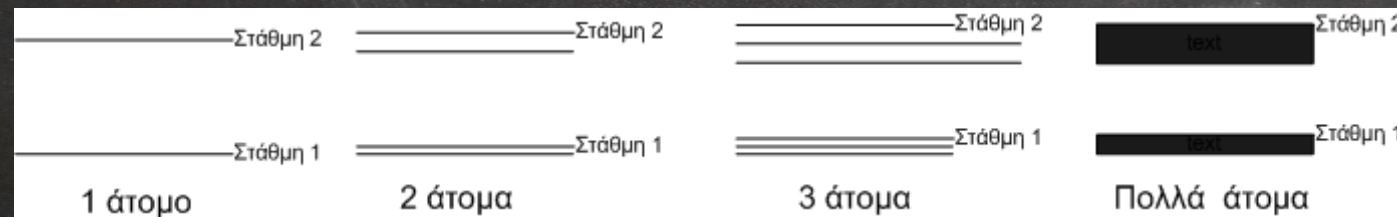
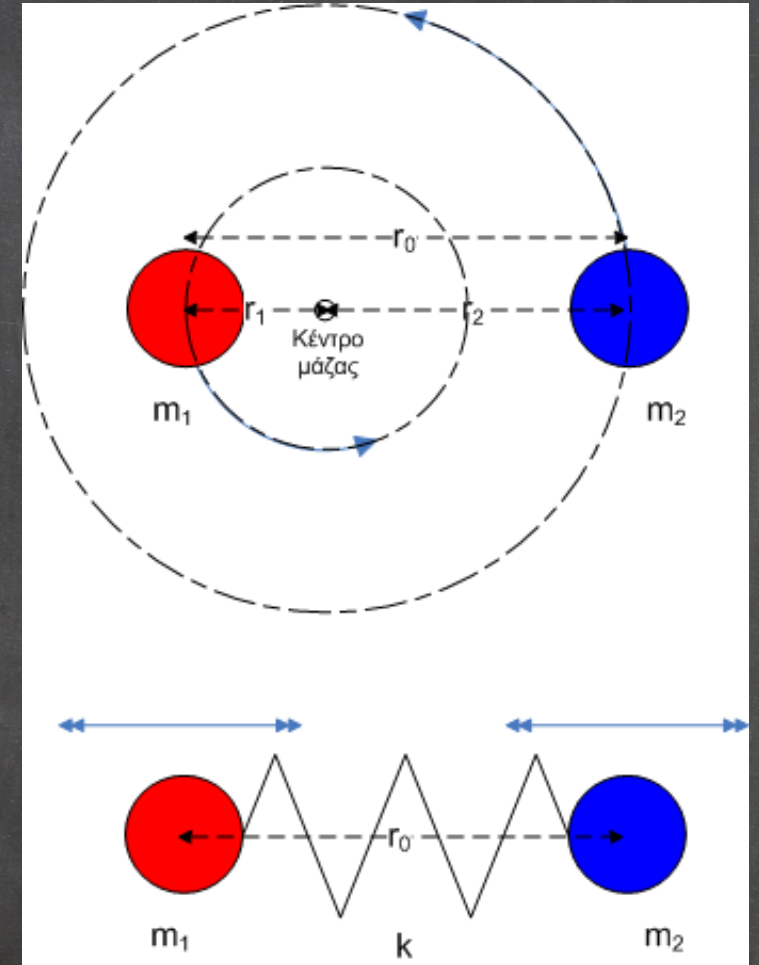
# Μόρια και συμπυκνωμένη ύλη...

- Ετεροπολικός δεσμός
  - Ομοιοπολικός δεσμός
- Από τα άτομα στα μόρια

- Ενεργειακές καταστάσεις μορίων

- Υγρά (δια-μοριακές δυνάμεις van der Waals)

- Στερεά (διαχωρισμός  $E$  επιπέδων και διεύρυνση σε  $E$  μπάντες)



## «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

# Υλικό περαιτέρω μελέτης

- § 3, Κεφάλαιο 1 Συγγράμματος
- Ερωτήσεις κατανόησης

Μέχρι να αποκτήσετε το σύγγραμμα:

- Introduction chapter στο "Hendee's Physics of Medical Imaging, (5<sup>th</sup> Edition)"
- Preface to the 1<sup>st</sup> Edition στο "Physics of the human body, (2<sup>nd</sup> Edition)"  
(<https://www-en.lib.uoa.gr/>)

- Υλικό διαθέσιμο στο HyperPhysics (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/index.html>) που σχετίζεται με την «Κβαντομηχανική» ΚΑΙ τα θέματα που συζητήθηκαν σε αυτή την παρουσίαση

