



ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ

Η κλασική Φυσική εναντίον μικρόκοσμου

Ε. Παντελής

Επικ. Καθηγητής,
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής,
Ιατρική Σχολή Αθηνών.
210-746 2454
vpantelis@phys.uoa.gr

<http://eclass.uoa.gr/courses/MED732/>

Στα δύο μαθήματα (4 ώρες) θα συζητήσουμε τις πρώτες ενότητες της ύλης σας που περιλαμβάνουν ... :

- Η αρχή της κβάντωσης
- Το άτομο.
- Ο ατομικός πυρήνας – ραδιενέργεια – ακτινοβολία
- Φύση & είδη ιοντίζουσας ακτινοβολίας
- Αλληλεπίδραση ιοντίζουσας ακτινοβολίας-ύλης

Σήμερα:

- I. Η αρχή της κβάντωσης
- II. Το άτομο
- III. Ο ατομικός πυρήνας
- IV. Ραδιενέργεια – ακτινοβολία

ΚΛΑΣΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ = ΦΥΣΙΚΗ 20^{ου} αιώνα

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ

ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

ΒΑΡΥΤΗΤΑ

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΚΥΜΑΤΑ

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

Κλασική Φυσική

- Αν ασκήσω δύναμη σε ένα σώμα τότε του μεταφέρω ενέργεια μέσω του έργου της δύναμης
- Αν θερμάνω ένα σώμα τότε του μεταφέρω ενέργεια μέσω της θερμότητας
- Αντίστοιχα ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα μεταφέρει ενέργεια σε ένα άτομο θέτοντας το σε εξαναγκασμένη ταλάντωση.

Κλασική Φυσική

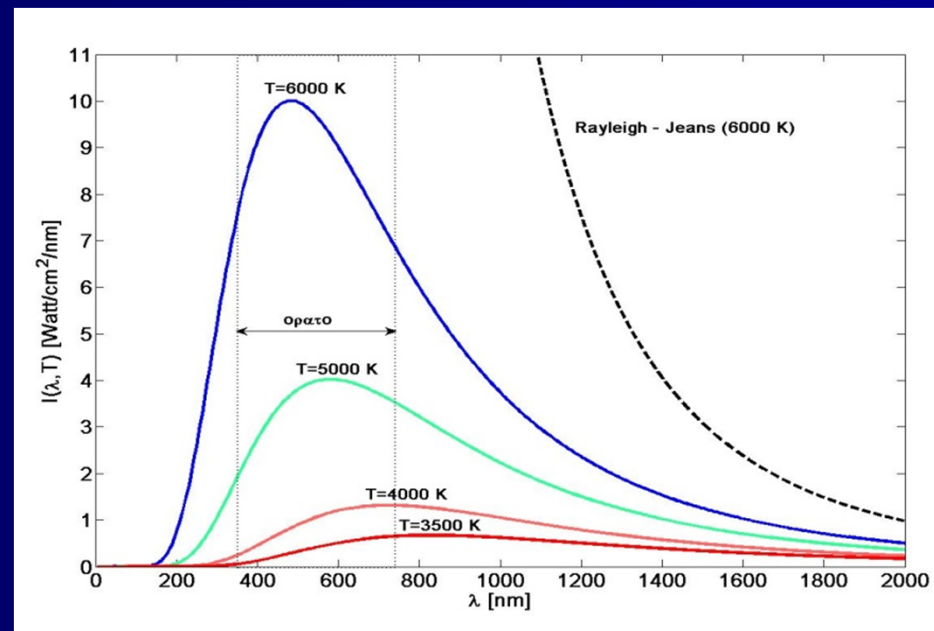
- Σύμφωνα με την κλασική φυσική λοιπόν η μεταφορά ενέργειας σε ένα σώμα είναι μια συνεχής ποσότητα
 - Αν ασκήσω μεγαλύτερη δύναμη τότε θα μεταφέρω περισσότερη ενέργεια
 - Αν αυξήσω την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας => μεταφέρω περισσότερη ενέργεια στην ύλη
- **Τα σώματα απορροφούν και εκπέμπουν ενέργεια με συνεχή τρόπο**

Μέλαν σώμα και η αρχή της κβάντωσης

1. Μέλαν σώμα = το σώμα εκείνο το οποίο απορροφά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό ανεξαρτήτως συχνότητας και γωνίας πρόσπτωσης (Συνεχής απορρόφηση και εκπομπή ενέργειας).
2. Πρακτικά μέλαν σώμα μπορεί να θεωρηθεί ένα οποιοδήποτε αντικείμενο με αιθαλωμένη την επιφάνεια του ή ισοδύναμα μια κοιλότητα ενός μονωτικού (πλήρως απορροφητικού) υλικού
3. Το φάσμα εκπομπής ενός τέτοιου σώματος μπορεί να μετρηθεί πειραματικά από ένα άνοιγμα στην κοιλότητα, μικρό για να μην επηρεάσει την ισορροπία της ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ ύλης και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Μέλαν σώμα και η αρχή της κβάντωσης

Φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας μέλανος σώματος



Παρατηρήσεις:

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

Μέλαν σώμα και η αρχή της κβάντωσης

Κλασική ερμηνεία Rayleigh-Jeanes:

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

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi ckT}{\lambda^4}$$

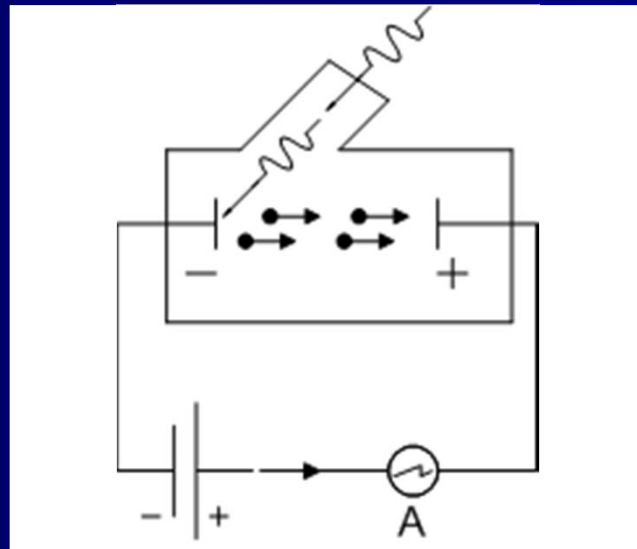
Ερμηνεία Planck:

Οι στοιχειώδεις ταλαντωτές έχουν διακριτό φάσμα
 $E=nhf=nhc/\lambda$ και εκπέμπουν H/M ακτ. κατά κβάντα
 $\Delta E=hf=hc/\lambda$, $h=6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)}$$

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: από το κύμα στο σωματίδιο

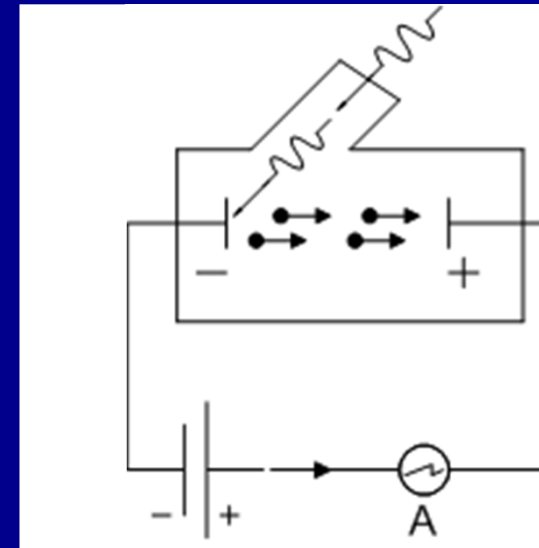
Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο : Όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα μέταλλο, εκπέμπονται ηλεκτρόνια
Τα ηλεκτρόνια αυτά μπορούν να μετρηθούν υπό τη μορφή ρεύματος με την εφαρμογή διαφοράς δυναμικού V .
Επίσης με αντιστροφή της πολικότητας της διαφοράς δυναμικού μπορεί να μετρηθεί η μέγιστη ταχύτητα των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων



Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: από το κύμα στο σωματίδιο

Κλασική θεώρηση:

1. Το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις στα ηλεκτρόνια του μετάλλου και μέσω αυτής τους μεταβιβάζει ενέργεια.
2. Αυξάνοντας την ένταση H/M ακτινοβολίας εξάγονται περισσότερα e ανά μονάδα t
3. Αυξάνοντας την ένταση H/M ακτινοβολίας αυξάνει η U_{\max} των e
4. e εξάγονται ανεξαρτήτως της f της H/M ακτινοβολίας



Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: από το κύμα στο σωματίδιο

Πείραμα - Παρατηρήσεις:

1. Αυξάνοντας την ένταση H/M ακτινοβολίας εξάγονται περισσότερα e ανά μονάδα χρόνου

2. Αυξάνοντας την ένταση H/M ακτινοβολίας ΔEN αυξάνει η U_{\max} των e

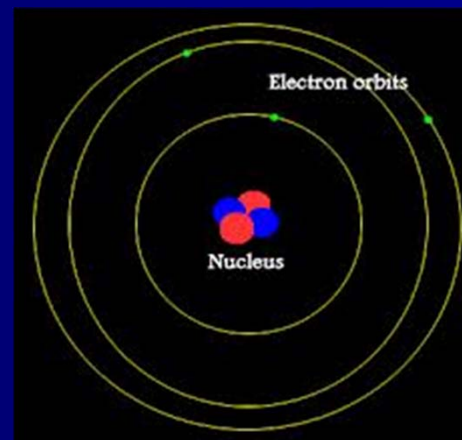
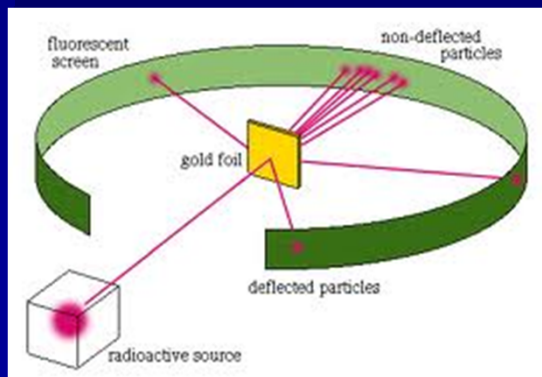
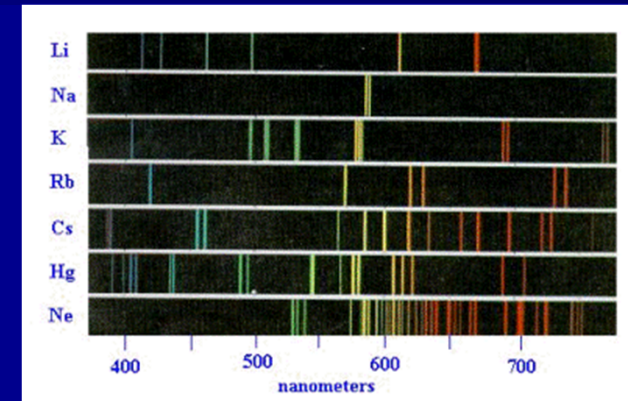
3. Η εξαγωγή e εξαρτάται από τη συχνότητα της H/M ακτινοβολίας

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

Πειραματικά δεδομένα:

1. Ανακάλυψη του e (J. J. Thomson)
2. Φάσματα εκπομπής αερίων.: $\nu_n = R/n^2$
3. Πείραμα Rutherford (πλανητικό μοντέλο ατόμου)



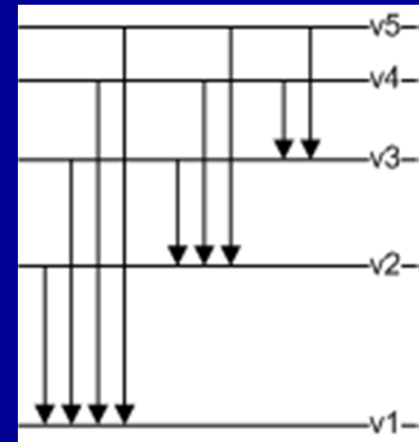
Ακτίνα πυρήνα $\sim 10^{-15}$ μέτρα
Ακτίνα ατόμου $\sim 10^{-10}$ μέτρα

Ατομικό πρότυπο Bohr για τα υδρογονοειδή άτομα

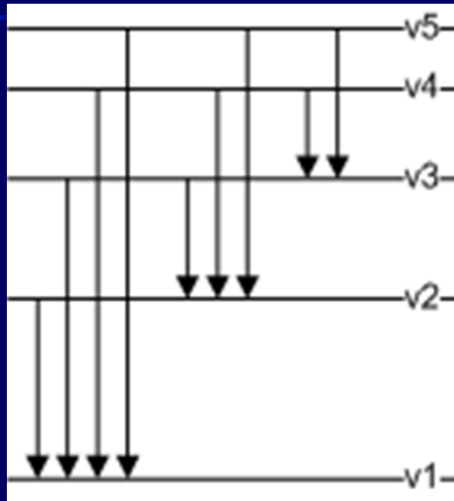
Πρότυπο Bohr:

1. 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 στροφορμή είναι κβαντισμένη)

2. 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



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

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

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

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 περπατάτε;

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

Κύματα de Broglie: από το σωματίδιο στο κύμα

Μα αν το σωματίδιο είναι και κύμα ποιο είναι το μέγεθος που ικανοποιεί την κυματική εξίσωση;

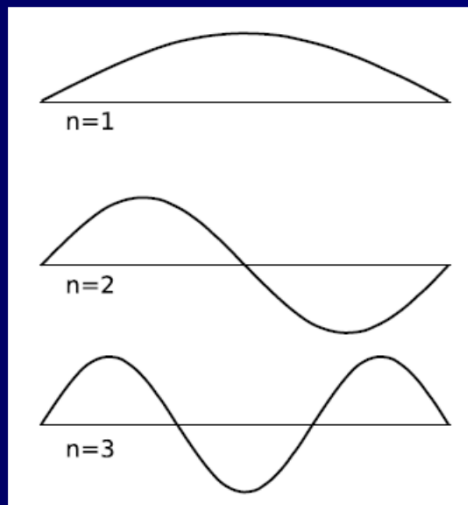
Μια συνάρτηση (κυματοσυνάρτηση) το τετράγωνο της τιμής της οποίας σε τυχόν σημείο δίνει την πιθανότητα να απαντηθεί στο σημείο αυτό το σωματίδιο.

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:
 $\Delta x \Delta p \geq \hbar$

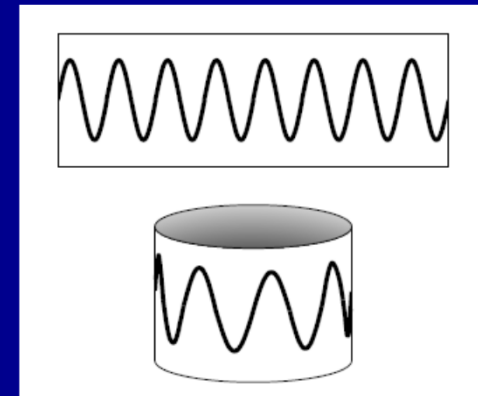
Η κβαντική μηχανική...

Στάσιμα κύματα
στην κλασική φυσική



$$\lambda = nL/2$$

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



Η κβαντική μηχανική...

Εξίσωση του Shrodinger:

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

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

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

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.

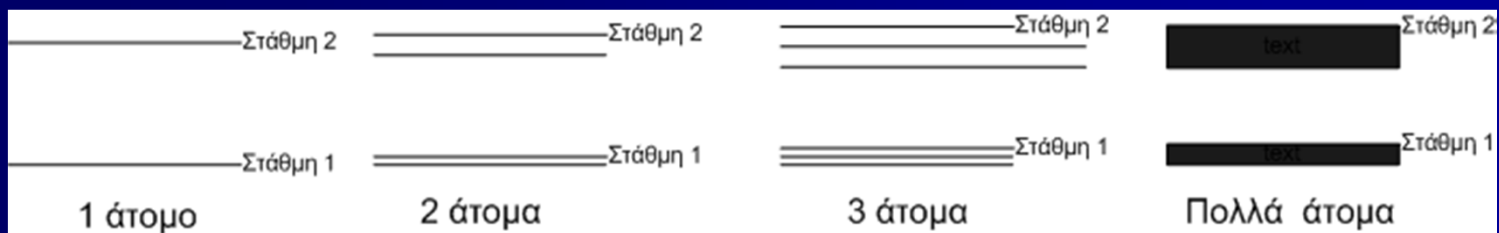
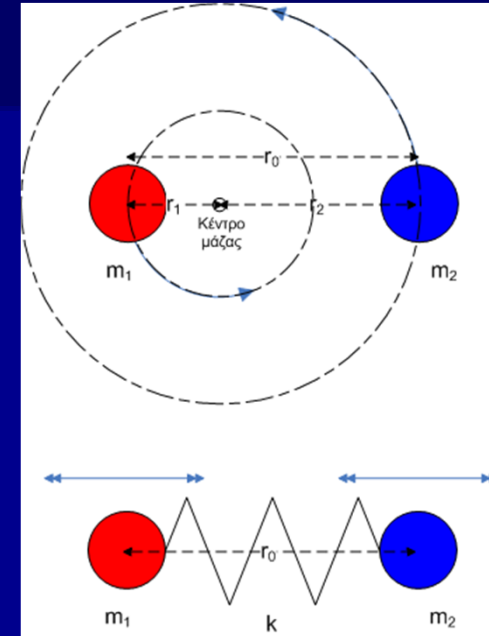
Η ακτίνα του Bohr στο άτομο του υδρογόνου έχει το νόημα της απόστασης στην οποία αντιστοιχεί η μέγιστη πιθανότητα θέσης του e .

Πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα...?

Απαγορευτική αρχή του Pauli : μόνο ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να βρίσκεται σε μια κατάσταση που περιγράφεται με τους ίδιους κβαντικούς αριθμούς (n, l, m_l, m_s).

Μόρια και συμπυκνωμένη ύλη...

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



Η σταδιακή διαμόρφωση ενεργειακών ζωνών στα στερεά καθώς όλο και περισσότερα άτομα βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις σε μια κρυσταλλική δομή.

«σύνοψη»...

1. Χαρακτηριστικά μεγέθη του ατόμου
2. Το ατομικό πρότυπο του Bohr είναι μια ικανοποιητική υπόθεση εργασίας για τις ανάγκες της συζήτησης μας στα επόμενα
3. Η Η/Μ ακτινοβολία έχει κυματικό και σωματιδιακό χαρακτήρα
4. Ο σωματιδιακός χαρακτήρας της Η/Μ ακτινοβολίας εκδηλώνεται όταν η ενέργεια φωτονίου ($E = hf$) είναι σημαντική σε σχέση με την ενέργεια του συστήματος που την απορροφά ή την εκπέμπει
5. Το παραπάνω ισχύει σε ατομικό επίπεδο οπότε στα επόμενα θα θεωρούμε το σωματιδιακό χαρακτήρα της Η/Μ ακτινοβολίας
6. Φωτόνια απορροφούνται μόνο εάν έχουν ενέργεια ίση με τη διαφορά δύο ενεργειακών καταστάσεων της ύλης