

**Μάθημα 1<sup>ο</sup>, 30 Σεπτεμβρίου 2008 (9:00-11:00).**

## **ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ ΦΥΣΗ ΦΩΤΟΣ**

### **Ακτινοβολία μέλανος σώματος**

(1900) **Planck**: έδωσε εξήγηση του φάσματος (**κβαντική** ερμηνεία\*)

#### ΠΑΡΑΔΟΧΗ

Το φως δεν είναι μόνο κύμα. Είναι και σωματίο.

Κβάντα (στοιχειώδη ποσότητα) φωτός (φωτόνιο), ενέργειας ( $E = h\omega$ )  
( $E = h\nu$ )

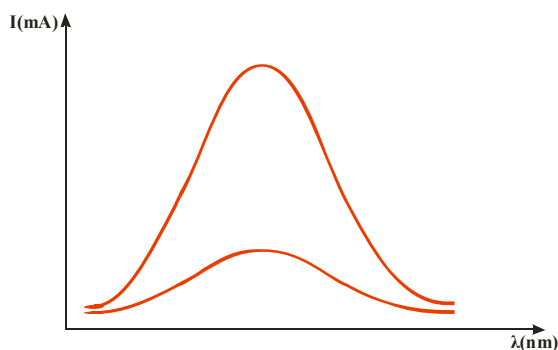
Έχουν συγκεκριμένη ενέργεια (συγκεκριμένη ποσότητα ακτινοβολίας).

$$E = h \cdot \nu$$

όπου  $\nu$  η συχνότητα του φωτός,

Το φως έχει σωματιδιακή φύση → φαινόμενα:

#### 1. **Μέλαν σώμα** (1900)



#### 2. **Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο** (1905) → **Einstein**



Έχω μία επιφάνεια όπου κινούνται ελεύθερα  $e^-$  και με βοήθεια ακτινοβολίας τα  $e^-$  φεύγουν από το μέταλλο.

#### 3. **Φαινόμενο Compton** (1923)

Σκέδαση ενός φωτονίου από ακίνητο  $e^-$ . Το φως συμπεριφέρεται σαν σωματίο, όχι σαν κύμα. Μετά τη σκέδαση το  $\lambda$  (μήκος κύματος) είναι πάντα **μεγαλύτερο**, γιατί η συχνότητα είναι μικρότερη (απώλεια ενέργειας στην σκέδαση).

\* Τον οδήγησε η αναλυτική έκφραση που είχε βρει το 1899 και περιέγραφε πλήρως την ακτινοβολία του μέλανος σώματος. Μέχρι το τέλος της καριέρας του έψαχνε για μια 'κλασική' ερμηνεία!

**ΑΡΑ για ορισμένα φαινόμενα έχουμε το φως να συμπεριφέρεται σαν σωματίο.**

Σταθερά Planck ( $h$ ):  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

$E = h \cdot \nu$

## ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

(1925) **De Broglie**

Υπέθεσε ότι και τα σωματίδια  $e^-$ ,  $p$ ,  $n$  έχουν και κυματική συμπεριφορά για κάποια φαινόμενα (δηλαδή πρότεινε το αντίστροφο σε σχέση με αυτό που συμβαίνει με το φως).

Χρησιμοποιούμε τις σχέσεις από την κβαντική φύση του φωτός, δηλαδή

Ενέργεια,  $E = h \cdot \nu$

Ορμή,  $P = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$ , δηλαδή και για τα σωματίδια ορίζεται μία συχνότητα και ένα μήκος κύματος.

Η υπόθεση αυτή δούλεψε στην 'εξήγηση' του δεύτερου αξιώματος στο μοντέλο του Bohr (στροφορμή ακέραιο πολλαπλάσιο σταθεράς  $\hbar$ ).

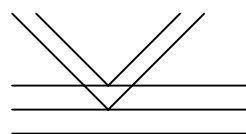
**ΑΣΚΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΙΤΙ (HOMEWORK)**, σχετική με μήκος κύματος De Broglie και άτομο υδρογόνου:  
Βλέπε 3<sup>ο</sup> μάθημα.

(1927) **Davisson – Germer**

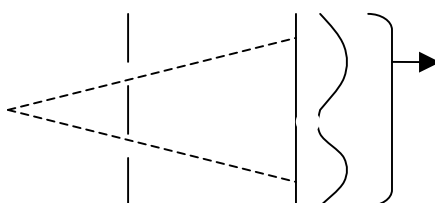
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΚΕΔΑΣΗΣ

Έριξαν δέσμη  $e^-$  πάνω σε κρύσταλλο:  
συμπεριφορά σαν του φωτός.

Επιβεβαιώθηκε η κυματική φύση  
σωματιδίων.

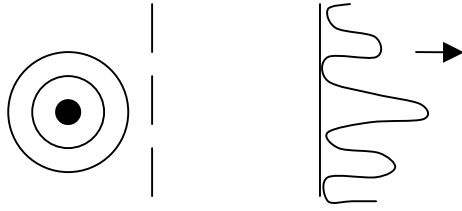


*Πείραμα 2 σχισμών*



Πετώ σφαίρες από σχισμές με ένα πολυβόλο.

*Πείραμα όμοιο με φωτεινή πηγή*



Από τις σημειώσεις των Ε. Τακτικού, Δ. Γαβρέλα, (ακ. Έτος 2007-2008).

+++++

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (από σημειώσεις Θ. Χριστοφή (ακ. Έτος 2007-2008))

### Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος (Ιδεατό) (1900 Planck φως σωματιδιακή φύση)

Είναι ένα μαύρο σώμα το οποίο έχει την ιδιότητα να απορροφά όλες τις ορατές ακτινοβολίες που πέφτουν στην επιφάνεια του. Άρα αλληλεπιδρά μεταξύ τους και όταν τις εκπέμπει εξασφαλίζει την πλήρη θερμοποίηση του. Η ακτινοβολία γενικά δεν έχει καθαρά κυματικό χαρακτήρα (κλασσική φυσική) αλλά έχει και σωματίδιο (σύγχρονη).

λ: κλασσική εξήγηση στα μικρά λ (λ<)

### Πειραματική μελέτη

Τέχνασμα της κοιλότητας: δηλ. δημιουργία κενού στο εσωτερικό του σώματος με μικρό άνοιγμα στη μια πλευρά του για την έξοδο της ακτινοβολίας που είναι εγκλωβισμένη σε αυτό. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα εσωτερικά και τοιχώματα σκεδάζεται πολλές φορές πάνω τους έτσι όταν εξέλθει να έχει σχεδόν απόλυτη θερμοκρασία.

Φασματική ένταση (J): 
$$\int \frac{\Delta E}{\Delta t \cdot \Delta S \cdot \Delta F} = \frac{\Delta P}{\Delta S \cdot \Delta f}$$

- Εκπεμπόμενη Ισχύς ΔΡ ανά μονάδα διαστήματος συχνότητας και επιφάνειας.

$J=J(f,T)$  μας δίνει τη ζητούμενη φασματική κατανομή για τη θερμοκρασία T.

Ένταση: ολική ακτινοβολούμενη ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας.

$$I = \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

$$I = \int_0^{\infty} J(f,T) df$$

Μονάδες Μέτρησης:  $[J] = \frac{Watt}{m^2 \cdot Hz}$

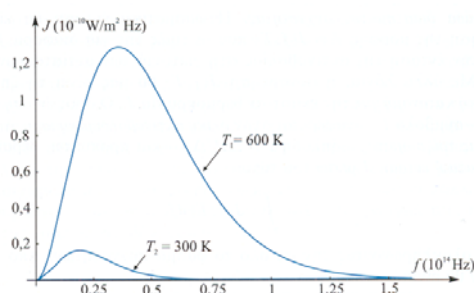
$$[I] = \frac{Watt}{m^2}$$

→ Η ένταση που υπολογίζεται είναι η ίδια με εκείνη που αντιστοιχεί σε ένα οποιοδήποτε σημείο των εσωτερικών τοιχωμάτων (κατάσταση ισορροπίας: Η συχνότητα που βγαίνει είναι ίδια με εκείνη που εκπέμπουν τα τοιχώματα.)

### Οι νόμοι που ισχύουν:

- (1) Όλα τα σώματα με την ίδια θερμοκρασία εκπέμπουν την ίδια θερμική ακτινοβολία ανεξάρτητα από την υλική τους σύσταση.

Για δεδομένη θερμοκρασία η φασματική κατανομή έχει χαρακτηριστική μορφή των καμπυλών (του πιο κάτω σχήματος) που είναι η ίδια για όλα τα σώματα σε σταθερή θερμοκρασία.



- (2) Νόμος Stefan-Boltzmann:  $I = \sigma T^4$   
Ολική ένταση θερμικής ακτινοβολίας ισούται με την τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας.

- (3) Νόμος Wien (μετατόπισης):  $T \cdot \lambda_{\max} \cong 0.3$

- (4) Ασυμπτωτικός νόμος του Wien:  $J_{\text{wien}} \approx f^3 e^{-af/T}$  ( $f \rightarrow \infty$ )  
Ισχύει για πολύ μεγάλες συχνότητες.

Γενικός τύπος Planck: 
$$J(f, T) = \frac{2\pi h f^3}{C^2 e^{hf/kT} - 1}$$

Με τον γενικό τύπο του Planck έχουμε:  $\mathcal{E} = hf$  ή  $E = n\hbar f$

### Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο:

Εκπομπή ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο η οποία προκαλείτε από πρόσπτωση ορατής ή υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια του.

Μετράμε την ένταση  $I$  του φωτοηλεκτρικού ρεύματος ακόμα και την κινητική ενέργεια των  $e$ :  
 $(K) = eV_0$ .

### Πειραματικοί Νόμοι που ισχύουν:

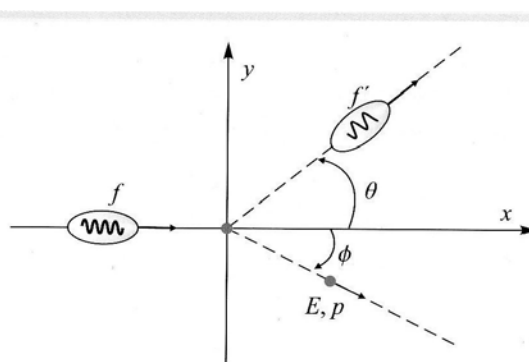
- (1) Η ένταση του φωτοηλεκτρικού ρεύματος ( $I$ ) αυξάνεται ανάλογα με την ένταση της φωτεινής δέσμης.
- (2) Το φωτοηλεκτρικό ρεύμα εμφανίζεται μόνο όταν η συχνότητα ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από μια οριακή τιμή  $f_0 = f_{\min}$  (ανάλογα με το υλικό της καθόδου). Αν  $f < f_0$ , δεν θα υπάρξει φωτοηλεκτρικό ρεύμα ανεξάρτητα με την ένταση της φωτεινής δέσμης.

- (3) Η κινητική ενέργεια  $K$  (eV) δεν εξαρτάται από την ένταση της δέσμης αλλά από την  $f$ .
- (4) Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο εμφανίζεται σχεδόν ταυτόχρονα με την πρόσπτωση της φωτεινής δέσμης στην κάθοδο.
- \*\* Για να έχουμε απομάκρυνση ενός ηλεκτρονικού, πρέπει να δοθεί σε αυτό μια ελάχιστη ενέργεια. Αυτή η ενέργεια στα μέταλλα ονομάζεται έργο εξαγωγής ( $W$ ), στα άτομα ονομάζεται έργο ιονισμού ( $W_i$ ).

### Το φαινόμενο Compton (1923):

Είναι η σκέδαση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας πάνω σε φορτισμένα σωματίδια (ηλεκτρόνια). Η ακτινοβολία που χρησιμοποιείται πρέπει να έχει μικρό μήκος κύματος άρα κατά συνέπεια πολύ μεγάλη ορμή  $p=h/\lambda$ , έτσι για να ικανοποιείται οι συνθήκη αυτή χρησιμοποιούμε ακτίνες Χ ( $\Omega$ ς στόχο επιλέγουμε όποιο υλικό θέλουμε).

- Η σκέδαση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (ακτίνες Χ) πάνω σε ελεύθερα ή ασθενείς δέσμες  $e^-$ , συνοδεύεται από αύξηση του μήκους κύματος της. Η αύξηση είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η γωνιά σκέδασης  $\theta$ .



### Κβαντική ερμηνεία:

Το φωτόνιο απορροφάται προς στιγμή από το  $e^-$  και επανεκπέμπεται σε μια κατεύθυνση διαφορετική από την αρχική.

Η αρχή διατήρησης της ορμής επιβάλλει στο αρχικό ακίνητο  $e^-$  να κινηθεί αποκτώντας έτσι μια κινητική ενέργεια  $\rightarrow$  Ενέργεια του 2<sup>ου</sup> φωτονίου είναι μειωμένη και σχέση με την αρχική κατά πόσο ίσο με την ενέργεια του  $e^-$ .

- \*\*  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ : αλλαγή μήκους κύματος εξαρτάται από τη γωνιά εκπομπής  $\theta$  του δευτερογενούς φωτονίου.

### Χρήση σχετικιστικής σχέσης ενέργειας-ορμής:

$$E = \sqrt{c^2 p^2 + m^2 c^4} \quad (m \equiv m_0)$$

Ισχύει:  $E = hf$  και  $p_\gamma = \frac{h}{\lambda} = \frac{hf}{c}$

Διατήρηση Ενέργειας:  $hf + mc^2 = f'h + E$

Διατήρηση Ορμής Χ:  $\frac{hf}{c} + 0 = hf \cos \Theta + \rho \cos \Phi \rightarrow \frac{hf}{c} - \rho \cos \Phi = \frac{hf \cos \Theta}{c}$

Διατήρηση Ορμής Υ:  $0 + 0 = \frac{hf'}{c} \sin \Theta - \rho \sin \Phi \rightarrow \frac{hf'}{c} \sin \Theta = \rho \sin \Phi$

$$\rightarrow c^2 p^2 = h^2 (f^2 + f'^2 - 2ff' \cos \Theta)$$

\* Η απαλοιφή των Ε και ρ μπορεί να γίνει και με  $E^2 - c^2 p^2 = m^2 c^4$  όπου:

$$E = h(f - f') + mc^2 \text{ και } c^2 p^2 = h^2 (f^2 + f'^2 - 2ff' \cos \Theta)$$

$$\text{άρα } [h(f - f') + mc^2]^2 - [h^2 (f^2 + f'^2 - 2ff' \cos \Theta)] = m^2 c^4$$

$$\text{και έχουμε } \frac{1}{f'} - \frac{1}{f} = \frac{h}{mc^2} (1 - \cos \Theta)$$

για αλλαγή μήκους έχουμε:

$$\Delta \lambda = \lambda' - \lambda = c \left( \frac{1}{f'} - \frac{1}{f} \right)$$

$$\Delta \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \Theta)$$

$$\rightarrow \frac{h}{mc} = \lambda_c \text{ μήκος κύματος Compton του } e^-$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_c}{\lambda} (1 - \cos \Theta)$$

$$\text{όταν } \lambda = \lambda_c \text{ τότε: } \varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda_c} = \frac{hc}{h/mc} = mc^2$$