

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ



Ακτινοβολία μέλανος σώματος

Όταν κάποιο σώμα βρίσκεται σε θερμοκρασία T επιπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Μέλαν (μαύρο) σώμα ονομάζεται ένα σώμα που απορροφά ακτινοβολία οποιασδήποτε μήκους κύματος πέσει σε αυτό.

Στην πραγματικότητα, καθε σώμα με αδιαφανή μέση επιγράφεται συμπεριφέρεται ως μέλαν σώμα.

Ένταση "I" ακτινοβολίας

Είναι ένα μονόμετρο μέγεθος που εκφράζει την ενέργεια dE ανά μονάδα χρόνου dt της εκπέμπομενης ακτινοβολίας από εμβαδόν dA της επιφάνειας ενός σώματος που επιπέμπει αυτή την ακτινοβολία. Δηλαδή:

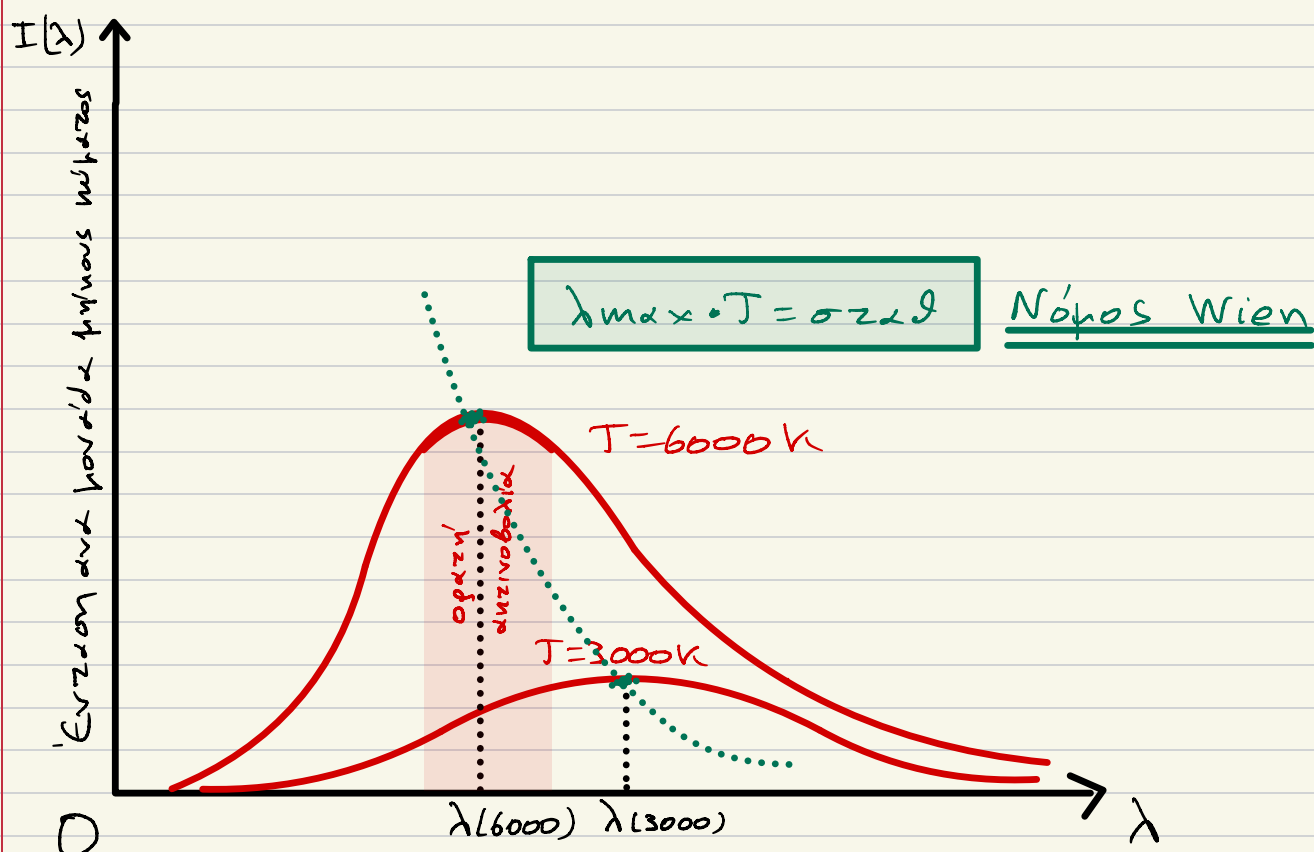
$$I = \frac{dE}{dt \cdot dA} = \frac{P}{dA}$$

Μονάδα (S.I.) : 1 W/m^2

Ακτινοβολία μέλανος σώματος

Καθε μέλαν σώμα θερμοκρασίας T επιπέμπει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (θερμική ακτινοβολία) σε όλα τα μήκη κύματος. Όμως, η ένταση της ακτινοβολίας δεν κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλα τα μήκη κύματος. Το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας που επιπέμπει το μέλαν σώμα πηγαινοέρχεται σε μια στενή περιοχή του φάσματος.

Σε αυτή τη στενή περιοχή έχουμε μεγιστοποίηση της έντασης σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, το οποίο ονομάζεται μήκος κύματος αιχμής και συμβολίζεται " λ_{max} ". Η τιμή του εξαρτάται από τη θερμοκρασία T .



Δηλαδή σύμφωνα με το νόμο Wien, τα $\lambda_{\max}$, T είναι αντιστρόφως ανάλογα.

Απόπειρα κλασικής ερμηνείας:

- ▷ Τα άτομα του σώματος ταλαντώνονται και το πλάτος της ταλάντωσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος.
- ▷ Τα άτομα θεωρούνται ηλεκτρικά δίπολα που ταλαντώνονται και εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, συχνότητας ίμης με αυτή της ταλάντωσης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω θα έπρεπε σε μεγάλες θερμοκρασίες, η εκπέμπουσα ενέργεια από μεγάλες συχνότητες να είναι πολύ υψηλή, πράγμα που δεν παρατηρείται.

Ερμηνεία του Ράιλε:

- ▷ Η ενέργεια των ατόμων που ταλαντώνονται με συχνότητα f μπορεί να έχει μόνο διακριτές τιμές οι οποίες είναι:

$$E_n = n \cdot h \cdot f$$

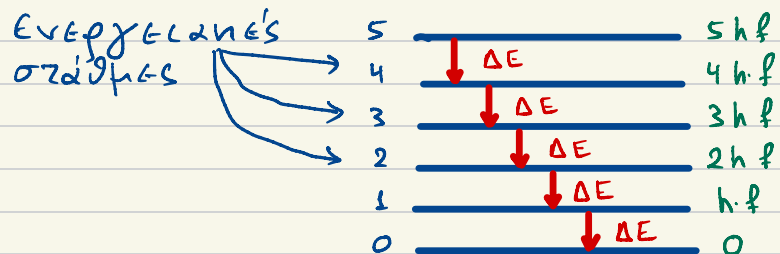
$h \cdot f$: Κβάντο
Ενέργειας

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

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

f : η συχνότητα ταλάντωσης.

- ▷ Το άτομο που ταλαντώνεται επιφέρει ή απορροφά ενέργεια μόνο όταν μεταβαίνει από μια διακριτή τιμή ενέργειας σε άλλη.
Σύμφωνα με τον Ράιλε η επιποπή ακτινοβολίας συχνότητας f μπορεί να συμβεί μόνο όταν το άτομο μεταβαίνει από υψηλότερη ενεργειακή στάθμη στην αμέσως χαμηλότερη.
Π.χ. από την $4hf$ στην $3hf$. Επομένως η επιπεπόνη ενέργεια είναι: $\Delta E = h \cdot f$

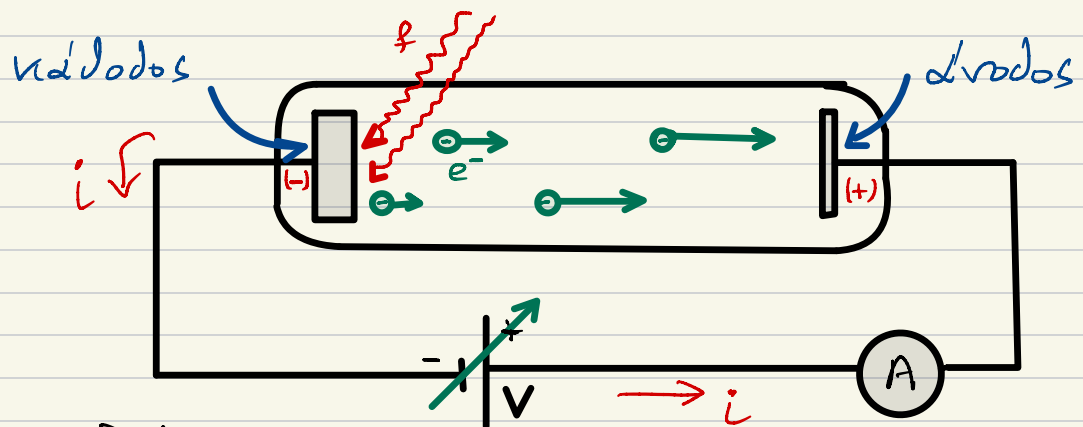


Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι το φαινόμενο κατά το οποίο εξέρχονται ηλεκτρόνια από μια μεταλλική επιφάνεια αν σε αυτή πέσει φως κατάλληλης συχνότητας.

Αυτό συμβαίνει διότι τα ηλεκτρόνια αυτά, τα οποία αρχικά βρίσκονται περιορισμένα στην επιφάνεια του μέταλλου, απορροφούν αρκετή ενέργεια από την προσπίπτουσα ακτινοβολία και εξέρχονται από το μέταλλο. Τα ηλεκτρόνια αυτά τα ονομάζουμε φωτοηλεκτρόνια.

Πειραματική διάταξη μέτρησης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.



Πειραματικά δεδομένα:

- 1 Τα φωτοηλεκτρόνια εξέρχονται από την κάθοδο μόνο αν η συχνότητα f της ακτινοβολίας είναι:

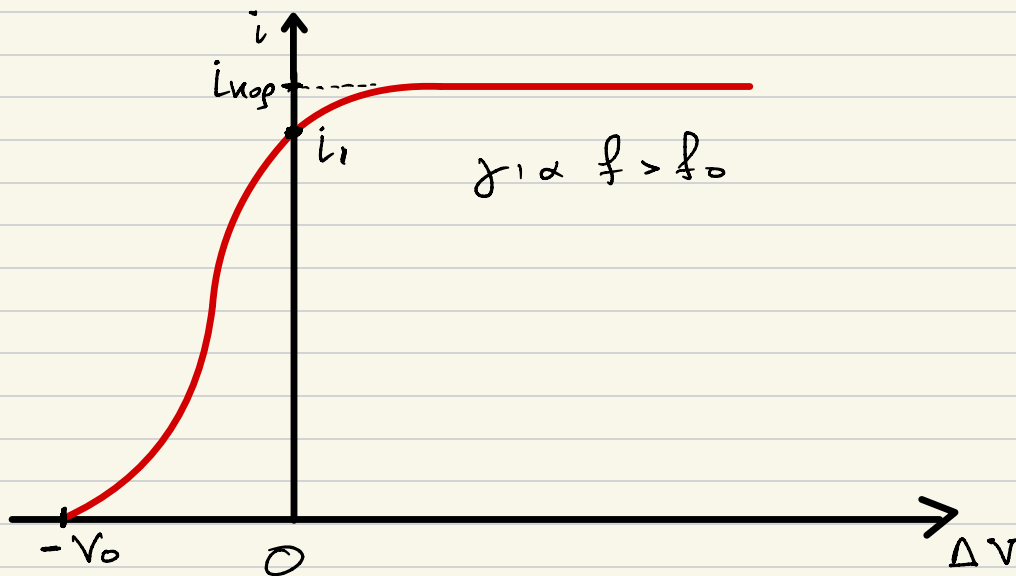
$$f > f_0, \text{ όπου}$$

f_0 : συχνότητα κατωφλίου. (είναι χαρακτηριστική για κάθε μέταλλο)

- 2 Ο αριθμός των εξερχόμενων φωτοηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου είναι ανάλογος της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για δεδομένη συχνότητα.
- 3 Η ταχύτητα με την οποία εξέρχονται τα φωτοηλεκτρόνια από την κάθοδο δεν εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας για δεδομένη συχνότητα.

- ④ Η ταχύτητα με την οποία εξέρχονται τα φωτοηλεκτρόνια εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας. Όσο बढ़ει η συχνότητα, बढ़άει και η ταχύτητα των φωτοηλεκτρονίων.

Γραφική παράσταση της έντασης (i) του ρεύματος σε συνάρτηση με την διαφορά δυναμικού ΔV μεταξύ άνοδου - κάθodos, για δεδομένη συχνότητα f και συχνότητα κρίσιμης έντασης ακτινοβολίας.



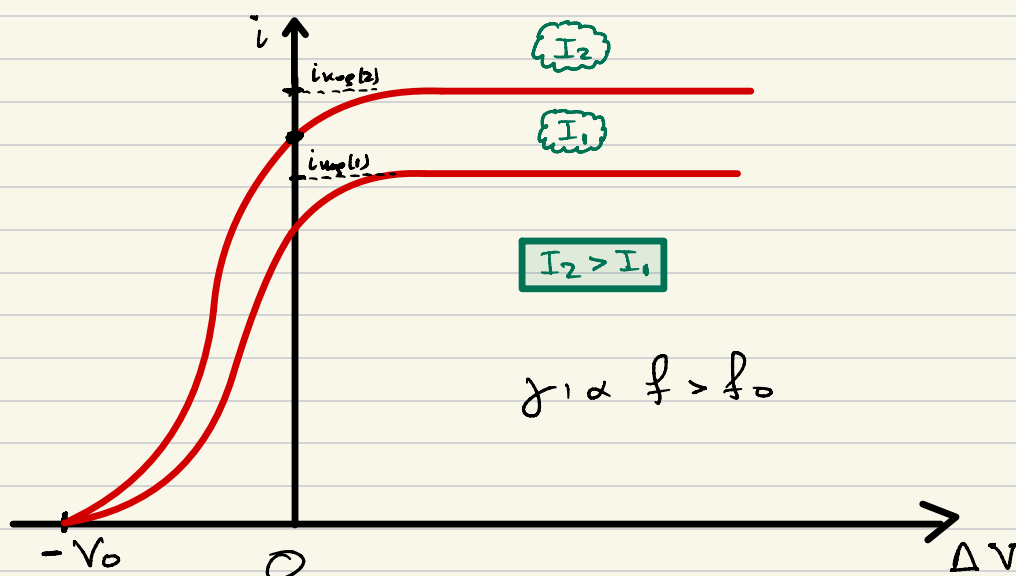
$\Delta V > 0$: Το (+) της πηγής είναι στην άνοδο και το (-) στην κάθοδο.
Τα φωτοηλεκτρόνια επιταχύνονται καθώς κινούνται προς την άνοδο.

$\Delta V < 0$: Το (+) της πηγής είναι στην κάθοδο και το (-) στην άνοδο.
Τα φωτοηλεκτρόνια επιβραδύνονται καθώς κινούνται προς την άνοδο.

$\Delta V = -V_0$: Τόση αποκοπή. Τώρα τα φωτοηλεκτρόνια δεν μπορούν να φτάσουν στην άνοδο.

$i_{\max}$: Ρεύμα κόρου. Είναι η μέγιστη τιμή του ηλ. ρεύματος για την δεδομένη ένταση ακτινοβολίας.

Η παραγόμενη γραφική παράσταση για δύο διαφορετικές τιμές της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Όταν προσπίπτει ισχυρότερο φως συχνητεμένης συχνότητας (μεγαλύτερο I) επιέμπονται περισσότερα φωτοηλεκτρόνια στη μονάδα του χρόνου άρα και η ένταση του ηλ. ρεύματος είναι μεγαλύτερη.
Όμως η τάση αποκοπής V_0 δεν επηρεάζεται από την μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας.

Σημεία αποτυχίας της κλασικής θεωρίας

- ① Σύμφωνα με την κλασική θεωρία η αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας (για δεδομένο f) θα έπρεπε να οδηγεί σε αύξηση της κινητικής ενέργειας των φωτοηλεκτρονίων. Δέν συμβαίνει.
- ② Σύμφωνα με την κλασική θεωρία δέν θα έπρεπε να υπάρχει συχνότητα κατωφλίου.

Ορισμός του 1 eV: (ηλεκτρονιοβόλτ)

Είναι η κινητική ενέργεια που αποκτά ένα ηλεκτ ρόνιο αν επιταχυνθεί από την ηρεμία από τάση 1 V.

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Ερμηνεία του Εйнштейν

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από μικρά πακέτα ενέργειας τα οποία ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια. Κάθε φωτόνιο μεταφέρει ενέργεια:

$$E = h \cdot f$$

Αυτό έχει ως συνέπεια το γεγονός ότι ένα ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να απορροφήσει περισσότερη ή λιγότερη ενέργεια από αυτή του φωτονίου όταν αλληλεπιδρά με αυτό.

Επιπλέον το φωτόνιο μπορεί να εληφθεί σαν σωματίδιο με μηδενική μάζα ηρεμίας, που έχει όμως ενέργεια και ορμή. Από τη θεωρία της σχετικότητας ισχύει:

$$E = p \cdot c$$

$$c = \lambda \cdot f$$
$$E = h \cdot f$$

$$\left. \begin{array}{l} E = p \cdot c \\ c = \lambda \cdot f \\ E = h \cdot f \end{array} \right\} \Rightarrow h \cdot f = p \cdot \lambda \cdot f \Rightarrow$$

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

ορμή
φωτονίου

Έργο εξάγωγής ϕ : είναι η ελάχιστη ενέργεια

που πρέπει να απορροφήσουν ηλεκτρόνια της επιφάνειας ενός μετάλλου ώστε να υπερβούν την έλξη του μετάλλου και να εξέλθουν από την επιφάνεια με μηδενική κινητική ενέργεια.

Η τιμή του εξαρτάται μόνο από το υλικό του μετάλλου.

Φωτοηλεκτρική εξίσωση του Εйнштейν

$$K = h \cdot f - \phi$$

K : Η μέγιστη κινητική ενέργεια φωτοηλεκτρονίου.
 $h \cdot f$: Η ενέργεια του απορροφούμενου φωτονίου.
 ϕ : Έργο εξάγωγής.

Παρατηρήσεις :

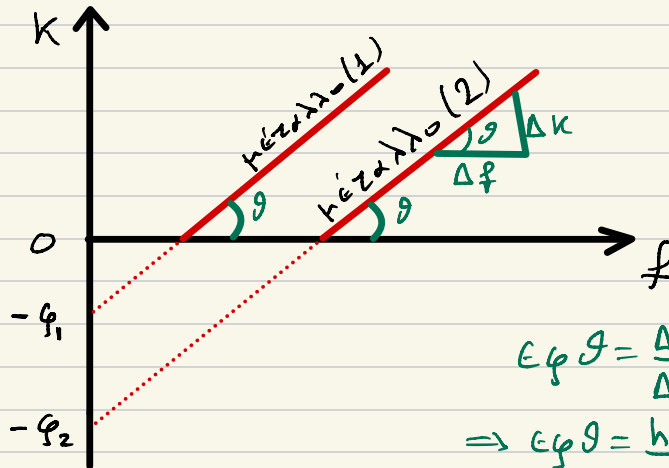
- ① Η συχνότητα κατωφλίου $f_{\min}$ προκύπτει από την εξίσωση του Εйнштейν ως εξής:

$$K = h \cdot f - \phi \xrightarrow{K \geq 0} h \cdot f - \phi \geq 0 \Rightarrow h \cdot f \geq \phi \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \boxed{f \geq \frac{\phi}{h}} \quad \text{Άρα: } \boxed{f_{\min} = f_0 = \frac{\phi}{h}}$$

Αντίστοιχα το μέγιστο μήκος κύματος θα είναι:

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\min}} \Rightarrow \boxed{\lambda_{\max} = \frac{h \cdot c}{\phi}}$$

- ② Γραφική παράσταση της κινητικής ενέργειας των εφερχόμενων φωτοηλεκτρονίων με τη συχνότητα f της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



$$e \phi \theta = \frac{\Delta K}{\Delta f} = \frac{K_2 - K_1}{f_2 - f_1} = \frac{h f_2 - \phi_1 - (h f_1 - \phi_1)}{f_2 - f_1}$$
$$\Rightarrow e \phi \theta = \frac{h (f_2 - f_1)}{f_2 - f_1} \Rightarrow \boxed{e \phi \theta = h}$$

- ③ Έξχωση - γραφική παράσταση μέγιστης αποκοπής και της συχνότητας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

ΘΜΚΕ (Καθ → Άνοδ) :

$$K_{\text{κελ}} - K_{\text{αρχ}} = W_{\text{φωτ}} \Rightarrow$$
$$K_{\text{κελ}} - K_{\text{αρχ}} = q_e (V_{\text{καθ}} - V_{\text{αν}})$$

Αλλά :

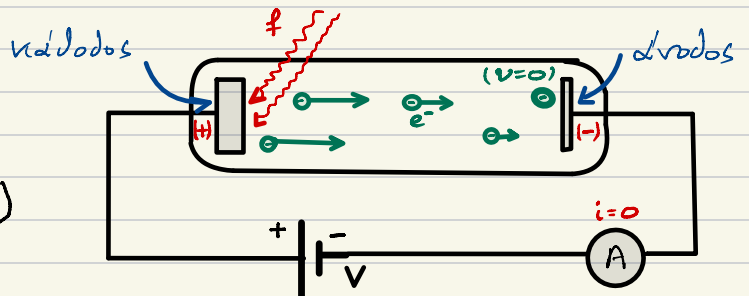
$$\begin{array}{l|l} K_{\text{κελ}} = 0 & q_e = -e \\ K_{\text{αρχ}} = K & V_{\text{καθ}} - V_{\text{αν}} = V_0 \end{array}$$

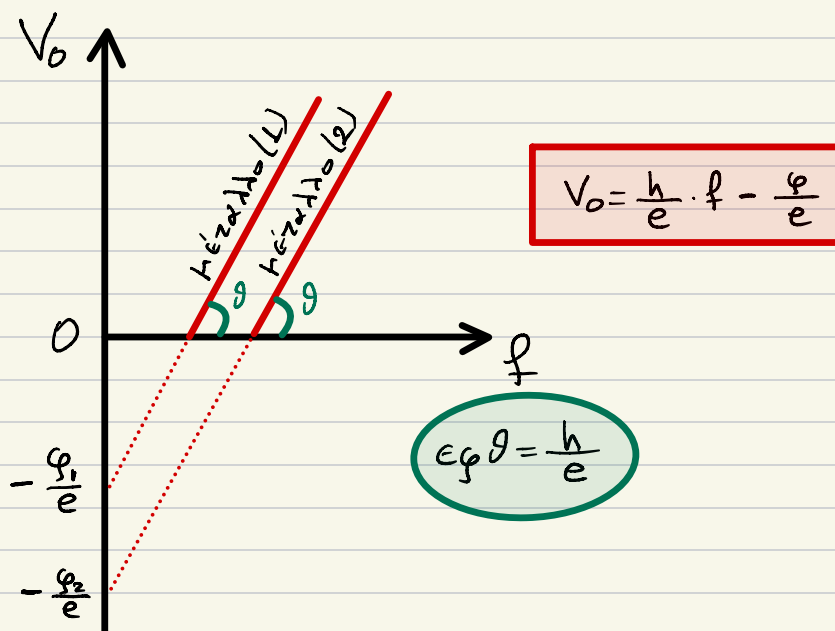
Τότε : $0 - K = -e \cdot V_0 \Rightarrow K = e \cdot V_0 \quad (1)$

Εinstein : $K = h \cdot f - \phi \stackrel{(1)}{\Rightarrow} e \cdot V_0 = h \cdot f - \phi \Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{V_0 = \frac{h}{e} \cdot f - \frac{\phi}{e}}$$

Συνέχεια →





- ④ Η ένταση I της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κάθοδο είναι :

$$I = \frac{P}{A} \Rightarrow I = \frac{\frac{N \cdot E_{\phi}}{\Delta t}}{A} \Rightarrow I = \frac{\frac{N}{\Delta t} \cdot h f}{A} \Rightarrow$$

$$I = \frac{n \cdot h \cdot f}{A}$$

$n = \frac{N}{\Delta t}$: πλήθος φωτονίων ανά μονάδα χρόνου που προσπίπτει στην κάθοδο.

A : Εμβαδόν επιφάνειας κάθodu.

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση :

Αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας σημαίνει περισσότερα φωτόνια ανά sec στην κάθοδο (με $f > f_0$) άρα εξαγωγή περισσότερων φωτοηλεκτρονίων άρα μεγαλύτερη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος. Όχι όμως μεγαλύτερης μηχανικής ενέργειας. Άρα όχι μεταβολή της τάσης αποκοπής V_0 .

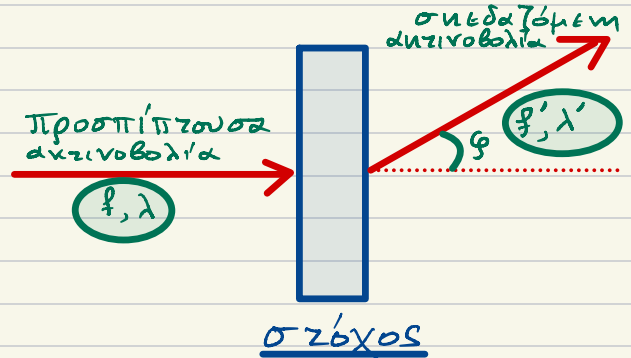
Φαινόμενο Compton

Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο όταν ακτινοβολία X προσπίπτει σε μια υλινή επιφάνεια-στόχο, η ακτινοβολία σκεδάζεται. (Αλλάζει διεύθυνση διάδοσης.).

Η σκεδάζομενη ακτινοβολία έχει μικρότερη συχνότητα και μεγαλύτερο μήκος κύματος από την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Τύπος Compton:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e \cdot c} (1 - \cos \varphi)$$



h : Έκταθερά του Planck
 m_e : Μάζα του ηλεκτρονίου
 c : Ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Σημεία αποτυχίας της κλασικής θεωρίας

- ▷ Κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ένα ηριζονώδες κύμα. (Άρα και οι ακτίνες X)
- ▷ Όταν το κύμα προσπίπτει στο στόχο, βλέπει σε ταλάντωση τα ηλεκτρόνια του υλινού της επιφάνειας, με συχνότητα ίση με αυτήν της ακτινοβολίας.
- ▷ Η ταλάντωση κάθε ηλεκτρονίου δημιουργεί με τη σειρά της ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας ίσης με αυτή της ταλάντωσης.
- ▷ Άρα θα πρέπει η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να είναι ίση με αυτή της σκεδάζομενης ακτινοβολίας.

Το τελευταίο συμπέρασμα δεν επαληθεύεται.

Ερμηνεία του Compton

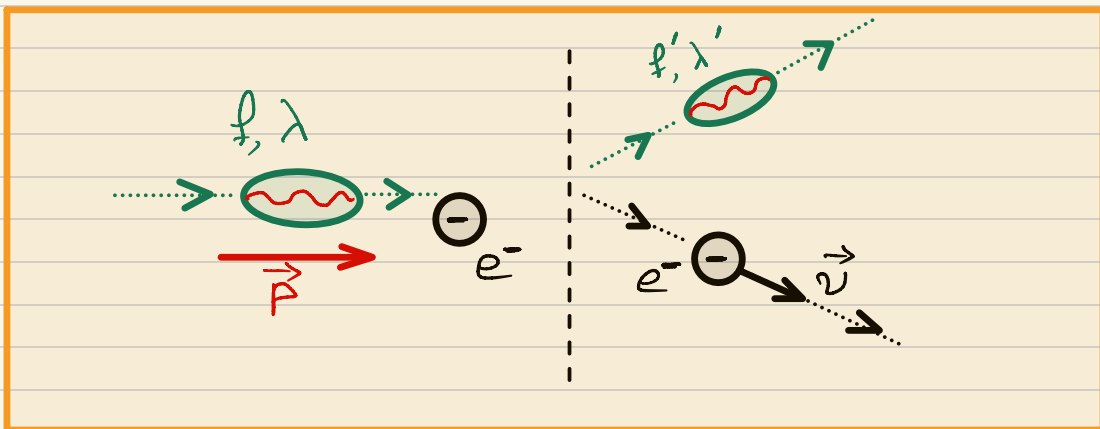
- ▷ Η ακτινοβολία X έχει και σωματιδιακή φύση, αφού αποτελείται από φωτόνια.
- ▷ Ένα φωτόνιο X κατά την αλληλεπίδρασή του με ένα πραγματικό ακίνητο ηλεκτρόνιο του στόχου συμπεριφέρεται ως σωματίδιο που συντηρείται ελαστικά με το ακίνητο ηλεκτρόνιο.
- ▷ Σύμφωνα με την ΑΔΕ:

$$\boxed{E = E' + K_e} \quad \text{όπου } \begin{array}{l} E = hf : \text{αρχική ενέργεια φωτονίου} \\ E' = hf' : \text{τελική} \quad \quad \quad \text{--''--} \quad \quad \quad \text{--''--} \\ K_e : \text{κινητική ενέργεια του} \\ \text{ηλεκτρονίου} \end{array}$$

Άρα:

$$\boxed{\begin{array}{l} hf = hf' + K_e \\ \text{ή} \quad \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{\lambda'} + K_e \end{array}}$$

Αφού $K_e > 0$ θα ισχύει $\underline{\underline{f' < f}}$ και $\underline{\underline{\lambda' > \lambda}}$



Η κυματική φύση της ύλης

Υπόθεση του Louis de Broglie

Κάθε σωμάτιο μάζας ηρεμίας m που κινείται με ορμή $\vec{p}$ είναι συνδεδεμένο με ένα κύμα μήκους κύματος λ για το οποίο ισχύει:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad (v \ll c)$$

Η παραπάνω υπόθεση επαληθεύτηκε από τους Δαβισσόν και Γερμάν οι οποίοι παράτη-
ρησαν φαινόμενο περίθλασης σε ταχέως
κινούμενη δέσμη ηλεκτρονίων που προσπίπτει
σε κλίνο με κρυσταλλική δομή.

Αρχή της αβεβαιότητας

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}$$

Δp_x : αβεβαιότητα στην τιμή
της ορμής p_x .

Δx : αβεβαιότητα στην τιμή
της θέσης x .

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$$

(Αβεβαιότητα
χρόνου-ενέργειας)

ΔE : αβεβαιότητα στην τιμή
της ενέργειας

Δt : χρονική διάρκεια μεταβολής
της κατάστασης ενός
συστήματος.