ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Ι
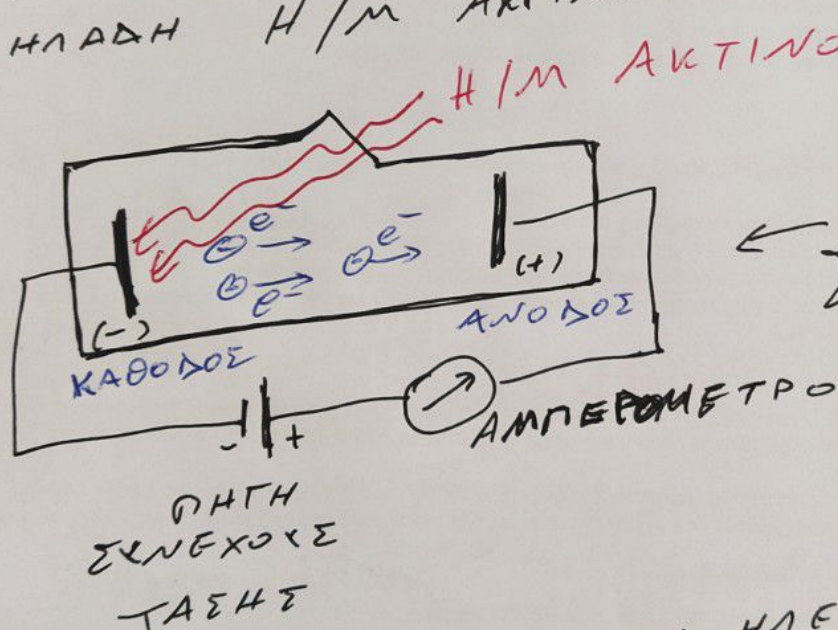
ΜΑΘΗΜΑ ΔΕΥΤΕΡΟ

① Φωτοηλεκτρικο Φαινομενο
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ

Φωτοηλεκτρικο φαινομενο ονομαζουμε την εκπομπη ηλεκτρονιων απο ενα μεταλλο οταν πανω στο μεταλλο πεσει φως δηλαδη Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.

ΕΧΟΥΜΕ ΔΥΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΜΕΣΑ ΣΕ ΑΕΡΟΚΕΝΟ ΣΩΛΗΝΑ. Η Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΦΤΕΙ ΣΤΗΝ ΚΑΘΟΔΟ (ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ) ΕΞΑΓΕΙ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ e^- ΚΑΙ Η ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΝΟΔΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΘΟΔΟ ΤΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΕΙ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΟΔΟ (ΘΕΤΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ). ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΟΝΤΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ.

ΤΟ ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ (ΓΑΛΒΑΝΟΜΕΤΟ) ΠΟΥ ΠΑΡΕΜΒΑΙΝΕΙ ΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΑΕΙ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ I ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.

ΜΠΟΡΟΥΜΕ ΝΑ ΜΕΤΡΗΣΟΥΜΕ ΤΗΝ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ K ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ e^- ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ (ΚΑΘΟΔΟΣ). ΠΩΣ?

ΑΝΤΙΣΤΡΕΦΟΥΜΕ ΤΗΝ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΚΑΙ ΒΡΙΣΚΟΥΜΕ ΤΗΝ ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ V_0 ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΤΟ ΡΕΥΜΑ I ΜΗΔΕΝΙΖΕΤΑΙ.

Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ e^- ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ (−) ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΕΙΝΑΙ:

$$K = e V_0$$

$$V_0 = ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΠΟΚΟΠΗΣ.$$

Ο HERTZ (1887) ΜΕΛΕΤΗΣΕ ΠΡΩΤΟΣ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΑΛΛΑ ΟΤΑΝ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.

Ο THOMSON ΕΔΕΙΞΕ ΟΤΙ ΤΑ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΟΝΤΑΙ ΕΙΝΑΙ e^-.

Ο PHILIP LENARD (1901) ΕΚΑΝΕ ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ⟶ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ

① Η ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΔΕΣΜΗΣ.

② ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΟΝΟ ΟΤΑΝ Η ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ

$$f > f_0 = f_{minimum}$$

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΚΟΠΗΣ

③ Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ ΔΕΝ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΑΛΛΑ ΜΟΝΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΔΕΣΜΗΣ (Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ).
Η ΣΧΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ e^- ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΙΝΑΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗ.

$$K \sim (f - f_0)$$
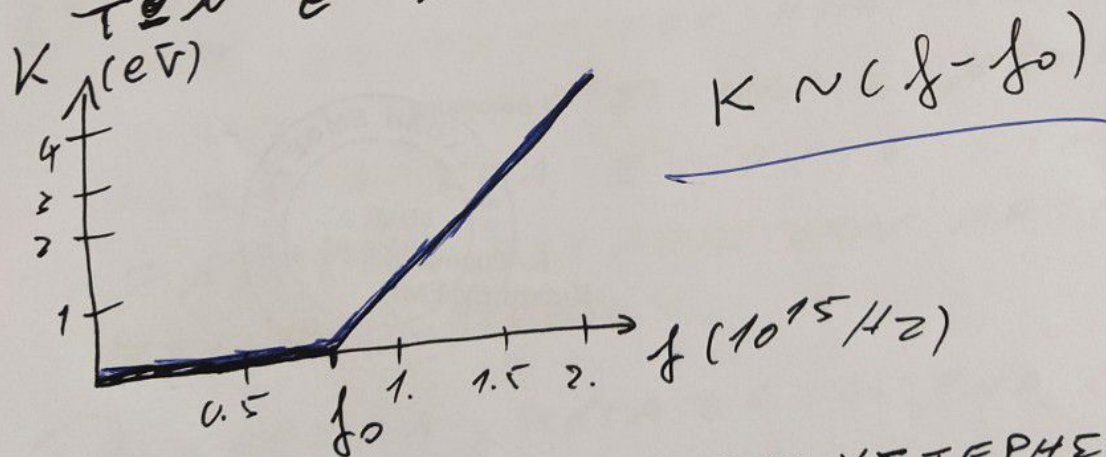
④ ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΧΡΟΝΙΚΗ ΥΣΤΕΡΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ, ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ — ΕΚΠΟΜΠΗ ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ ΑΜΕΣΩΣ.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ (1914)
ΑΠΟ MEYER ΚΑΙ GERLACH → $\Delta t \sim 10^{-8}$ second

ΚΛΑΣΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ(?)

ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΕΙΝΑ ΔΕΣΜΙΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ ΑΡΑ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΜΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ W (το ΟΝΟΜΑΖΟΥΜΕ <u>ΕΡΓΟ ΕΞΑΓΩΓΗΣ</u>) ΓΙΑ ΝΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΘΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ.

(1) ΑΥΞΗΣΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΣΗΜΑΙΝΕΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΡΑ ΕΥΚΟΛΟΤΕΡΑ ΑΠΟΣΠΩΝΤΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ.

ΟΚ → ΚΛΑΣΙΚΑ.

(2) $I = 0$ ΓΙΑ $f \le f_0$ ΔΕΝ ΕΡΜΗΝΕΥΕΤΑΙ ΚΛΑΣΙΚΑ.

(3) ΣΤΗΝ ΚΛΑΣΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ (MAXWELL) Η ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ Η/Μ ΠΕΔΙΟΥ ΔΕΝ ΠΑΙΖΕΙ ΡΟΛΟ ΣΤΗΝ ΔΥΝΑΜΗ ΠΟΥ ΑΣΚΕΙΤΑΙ ΣΤΑ e^- ΟΥΤΕ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΑΠΟΚΤΟΥΝ ΜΕΤΑ ΛΟΓΩ ΤΟΥ Η/Μ ΠΕΔΙΟΥ.

(4) ΚΛΑΣΙΚΑ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΕΝΑ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ Δt nsecond ΓΙΑ ΝΑ ΑΠΟΚΤΗΣΟΥΝ ΤΑ e^- ΤΗΝ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ W ΓΙΑ ΝΑ ΒΓΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ → ΠΛΗΡΗΣ ΚΛΑΣΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ <u>ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ</u>.

ΑΣΚΗΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟ ΔΕΧΕΤΑΙ (5)
ΔΥΝΑΜΗ $F = -e E_0 \cos\omega t$
ΑΠΟ ΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ
ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ.
ΒΡΕΙΤΕ ΤΗΝ ΜΕΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΤΟΥ e^- ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΧΡΟΝΟ t.
ΤΑΧΥΤΗΤΑ e^- ΑΡΧΙΚΑ ΓΙΑ $t = 0 \Rightarrow V(t=0) = 0$.

ΛΥΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

$$m_e \frac{dV}{dt} = F = -e E_0 \cos\omega t \,, \quad e > 0$$

$m_e = $ ΜΑΖΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ.

$$\Rightarrow \frac{dV}{dt} = -\frac{e E_0}{m_e}\cos\omega t \Rightarrow dV = -\frac{e E_0}{m_e}\cos\omega t \, dt$$

$$\Rightarrow V(t) = -\frac{e E_0}{m_e}\int_0^t \cos\omega t' \, dt' = -\frac{e E_0}{\omega m_e}\sin\omega t$$

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ

$$K = \frac{1}{2}m_e V^2 = \frac{e^2 E_0^2}{2 m_e \omega^2}\sin^2\omega t \,, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\langle K \rangle = \frac{e^2 E_0^2}{2 m_e \omega^2}\frac{1}{T}\int_0^T \sin^2\omega t \, dt = \frac{e^2 E_0^2}{4 m_e \omega^2}$$

$$\Rightarrow \langle K \rangle_t = \frac{e^2 E_0^2}{4 m_e \omega^2}t = K(t)$$

ΕΑΝ $K(t) > W$ ΕΧΟΥΜΕ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ
ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ
ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.

ΑΣΚΗΣΗ ΑΤΟΜΟ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ $R \approx 0.5 A^0$ (6)

$(1 A^0 = 10^{-10} m)$ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΛΑΜΠΑΣ ΜΕ ΙΣΧΥ $P = 100$ WATT ΑΠΟ ΑΠΟΣΤΑΣΗ $L = 1m$. ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΕΤΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΓΙΑ ΝΑ ΠΑΡΕΙ ΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΡΓΟ ΕΞΑΓΩΓΗΣ (ΙΟΝΤΙΣΜΟΥ)

$W = 1 eV$ π.χ. $(1 eV = 1.6 \times 10^{-19}$ Joule)

ΛΥΣΗ
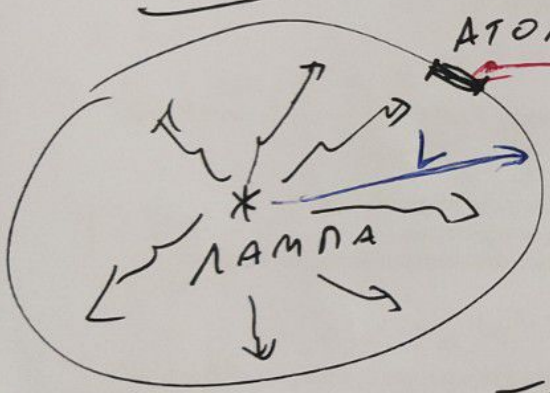
ΑΤΟΜΟ $\Delta S = \pi R^2$ "ΕΜΒΑΔΟΝ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ"

ΤΟ ΑΤΟΜΟ ΔΕΧΕΤΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ E ΣΕ ΧΡΟΝΟ Δt ΑΝΑΛΟΓΗ ΜΕ ΤΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ

$$\Rightarrow E = \frac{P}{4\pi L^2} \pi R^2 \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{4\pi L^2}{\pi R^2} \frac{E}{P}$$

οπου $E = 1 eV = 1.6 \times 10^{-19}$ Joule

$P = 100$ WATT $= 100 \frac{Joule}{sec}$

$L = 1m$, $R = \frac{1}{2} \times 10^{-10} m$

$$\Rightarrow \Delta t \approx 2.5 \text{ second}$$

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΡΧΙΖΕΙ ΑΜΕΣΩΣ $(\Delta t \sim 10^{-8}$ second) ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΕΧΕΙ Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.

ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Ο EINSTEIN (1905) ΕΠΕΚΤΕΙΝΕΙ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΤΗΣ ΥΠΟΘΕΣΗΣ ΤΟΥ PLANCK ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΩΣΗ ΤΟΥ Η/Μ ΠΕΔΙΟΥ.

ΥΠΟΘΕΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΝΙΩΝ.

ΤΟ Η/Μ ΠΕΔΙΟ (ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ) ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ "ΚΒΑΝΤΑ" (ΠΑΚΕΤΑ, ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ) ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΤΑ ΦΩΤΟΝΙΑ) $E = hf$ ΟΠΟΥ h Η ΣΤΑΘΕΡΑ ΤΟΥ PLANCK ΚΑΙ f Η ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.

ΠΡΟΤΑΣΗ ΤΟΥ EINSTEIN ΕΡΜΗΝΕΥΤΙΚΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ:

ΕΝΑ ΦΩΤΟΝΙΟ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟ ΑΚΑΡΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΙΒΑΖΟΝΤΑΣ ΤΟΥ ΟΛΗ ΤΟΥ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.

ΕΝΑ ΜΕΡΟΣ W ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΑΠΑΝΑΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ e^- ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ ΚΑΙ ΤΟ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΓΙΝΕΤΑΙ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ K ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ $\Longrightarrow$

$$hf = W + \frac{1}{2}m_e v^2$$

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $hf_0 = W$.

ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΥΕΙ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ.

● ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $\Rightarrow$ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ $\Rightarrow$ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΝΙΩΝ ΜΕ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ $\Rightarrow$ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΕΝΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ I.

● ΕΞΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ ΓΙΑ $f > f_0$: $hf_0 = W$

● ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ e^-

$$K = hf - W = hf - hf_0 = h(f - f_0)$$

$$\Rightarrow K \text{ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ } f \text{ ΤΟΥ Η/Μ ΚΥΜΑΤΟΣ.}$$

● ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΗΛΑΔΗ ΕΞΟΔΟΥ ΤΩΝ e^- ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ, ΣΧΕΔΟΝ ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ.

● ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΤΟΥ PLANCK ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ $(K, f) \Rightarrow h = \dfrac{\Delta K}{\Delta f}$.

● ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΥΛΗΣ. ΤΟ ΟΡΑΤΟ ΦΩΣ ΔΕΝ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ (ΟΠΩΣ ΤΟ ΜΑΥΡΙΣΜΑ ΤΟΥ ΔΕΡΜΑΤΟΣ) ΔΙΟΤΙ ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΑΡΚΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΙΟΝΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ. ΟΡΑΤΟ ΦΩΣ $\Rightarrow \lambda \simeq 6000 \, Å$

$$\Rightarrow E = hf = h\frac{c}{\lambda} = \frac{6,62 \times 10^{-34} (J \cdot s) \, 3 \times 10^8 (\frac{m}{s})}{6000 \times 10^{-10} m}$$

$$\mathcal{E} = 3,31 \times 10^{-19} \, J = 2,068 \, eV$$

$$W_{Na} = 2,28 \, eV \quad \begin{vmatrix} Pb = 4,14 \, eV \\ Fe = 4,50 \, eV \end{vmatrix} \quad Ag = 4,73 \, eV$$

$$Cu = 4,70 \, eV$$

$$1 \, eV = 1,6 \times 10^{-19} \, J \quad , \quad 1 \, J = 0,61 \times 10^{19} \, eV$$

$$\boxed{hc \cong 12400 \, eV \cdot \mathring{A}} \qquad \xleftarrow{} \; \text{ΤΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ} \\ \text{ΕΤΟΙΜΟ ΣΤΟΥΣ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥΣ}$$

ΦΩΤΟΝΙΑ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ!

$$\underline{\text{ΑΚΤΙΝΕΣ } X} \rightarrow \underline{\lambda \sim 10 \mathring{A} \sim 10^{-9} \, m}$$

$$\Rightarrow \mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{12400}{10} \frac{eV \cdot \mathring{A}}{\mathring{A}} = 1240 \, eV$$

ΑΡΑ ΟΙ ΑΚΤΙΝΕΣ X ΕΧΟΥΝ ΑΡΚΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΝΑ ΠΡΟΚΑΛΕΣΟΥΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΜΑΣ.

ΟΙ ΑΚΤΙΝΕΣ X ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΓΝΩΣΤΕΣ "ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΕΣ".

ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ:

$$1 \, KeV = 10^3 \, eV \quad , \quad 1 \, MeV = 10^6 \, eV$$

$$1 \, GeV = 10^9 \, eV \; .$$

ΣΤΑ ΑΤΟΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΤΑ eV ΚΑΙ ΟΧΙ ΤΑ Joules.

W.C. ROENTGEN (1895) ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕ ΠΡΩΤΟΣ ΤΙΣ ΑΚΤΙΝΕΣ X ΚΑΙ ΕΒΓΑΛΕ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΑ, ΤΟ ΧΕΡΙ ΤΗΣ ΓΥΝΑΙΚΑΣ ΤΟΥ.
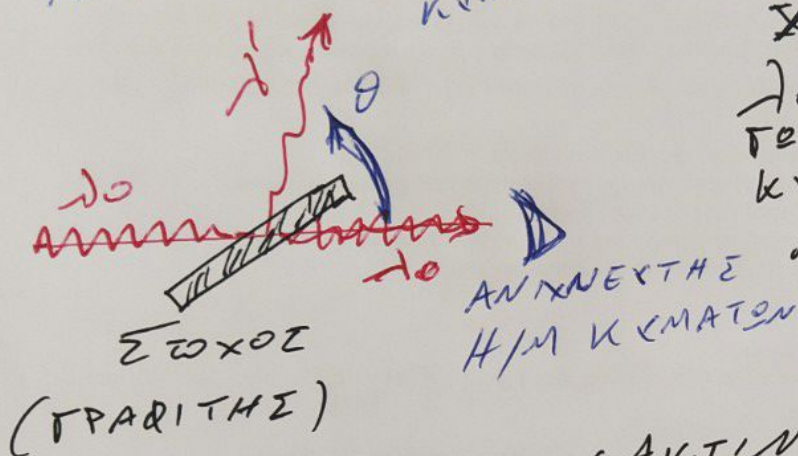
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON ΑΦΟΡΑ ΤΗΝ ΣΚΕΔΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ X ΣΕ ΥΛΙΚΑ.
ΣΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ Ο ΓΡΑΦΙΤΗΣ.

ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ◁ H/M ΚΥΜΑΤΩΝ

Στόχος
(ΓΡΑΦΙΤΗΣ)

ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ H/M ΚΥΜΑΤΩΝ

ΣΤΟ ΥΛΙΚΟ ΠΕΦΤΕΙ ΑΡΧΙΚΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ X ΜΕ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ λ_0. ΣΚΕΔΑΖΕΤΑΙ ΣΕ ΓΩΝΙΑ θ ΚΑΙ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ λ' ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ θ, $\lambda' \geq \lambda_0$.

ΑΝΙΧΝΕΥΟΥΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΓΩΝΙΕΣ θ.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

$\theta = 0°$

$\theta = 45°$

$\theta = 90°$

$\theta = 135°$
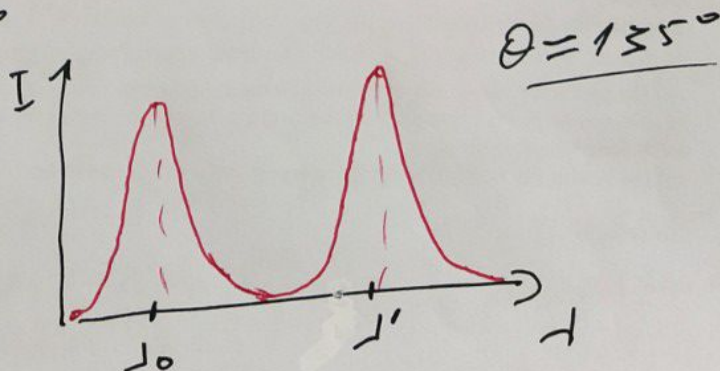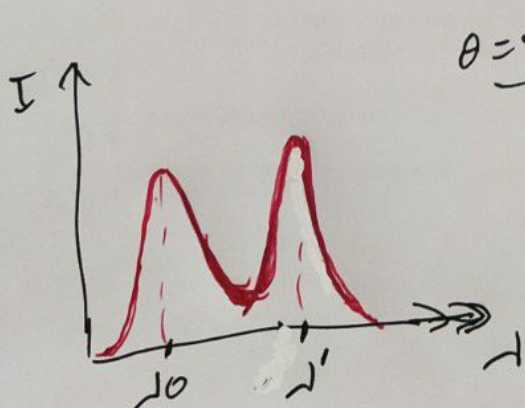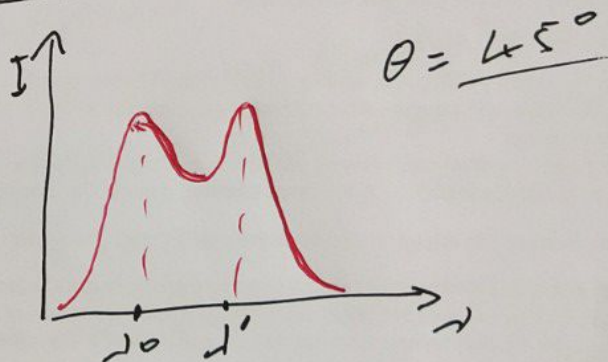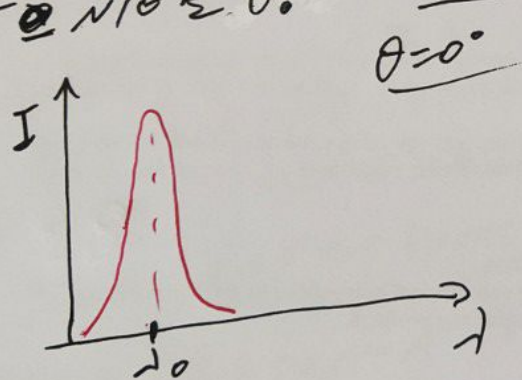
$I =$ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΚΕΔΑΖΟΜΕΝΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΦΩΤΟΣ (H/M ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ, ΚΥΜΑΤΩΝ)

ΚΛΑΣΙΚΑ Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΟΡΥΦΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ
ΜΕ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ λ' ΔΕΝ ΕΡΜΗΝΕΥΕΤΑΙ.
ΘΑ ΕΠΡΕΠΕ ΝΑ ΥΠΑΡΧΕΙ ΜΟΝΟ το λο!
ΔΙΟΤΙ ΚΛΑΣΙΚΑ ΥΠΟΘΕΤΟΥΜΕ ΟΤΙ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ
ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΥΛΙΚΟ ΔΕΧΟΝΤΑΙ ΤΟ Η/Μ ΠΕΔΙΟ
ΤΑΛΑΝΤΕΧΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ-ΜΗΚΟΣ
ΚΥΜΑΤΟΣ ΕΤΟΥ ΗΜ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΕΚΠΕΜΠΟΥΝ
ΣΦΑΙΡΙΚΑ
Η/Μ ΚΥΜΑΤΑ ΜΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΙΣΗ ΜΕ
ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΤΟΥΣ.

→ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ → ΦΩΤΟΝΙΑ

Η ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ COMPTON
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ ΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΝΙΟΥ ΩΣ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ, ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΚΙΝΕΙΤΑΙ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
c, ΕΧΕΙ ΜΑΖΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗ, ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΑ
ΤΗΝ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΚΕΔΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΝΙΟΥ ΑΠΟ
ΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟ.

ΤΑ ΦΩΤΟΝΙΑ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ $\overline{X}$ ΕΧΟΥΝ
ΜΕΓΑΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΟΠΩΣ ΕΙΔΑΜΕ, ΕΝ 10ᵈ eῦ.
ΑΡΑ ΤΟ ΕΡΓΟ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ
ΑΠΟ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΕΙΝΑΙ ΑΜΕΛΗΤΕΟ
ΔΕΝ ΠΑΙΖΕΙ ΚΑΝΕΝΑ ΡΟΛΟ ΚΑΙ ΜΠΟΡΟΥΜΕ
ΜΕ ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΝΑ ΤΑ ΘΕΩΡΗΣΟΥΜΕ
ΕΛΕΥΘΕΡΑ ΚΑΙ ΑΚΙΝΗΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΝΙΟΥ ΑΠΟ
ΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟ.

ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ ΦΩΤΟΝΙΟΥ ($\vec{P_0}, E_0$) ΑΠΟ ΑΚΙΝΗΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟ.
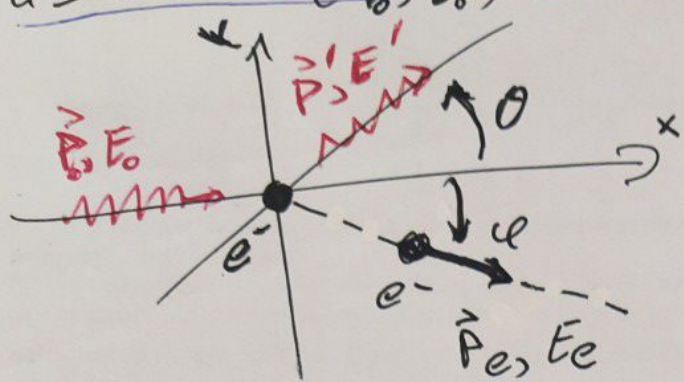
ΤΟ ΦΩΤΟΝΙΟ ΣΚΕΔΑΖΕΤΑΙ ΣΕ ΓΩΝΙΑ θ ΚΑΙ ΕΧΕΙ $\vec{P}'$, E' ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΣΚΕΔΑΣΗ

ΤΟ e^- ~~ΣΚΕΔΑΖΕΤΑΙ~~ ΚΙΝΕΙΤΑΙ ΣΕ ΓΩΝΙΑ φ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΣΚΕΔΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΝΙΟΥ.

ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΚΕΔΑΣΗ.

ΠΡΟΣΟΧΗ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΕΙΝΑΙ ΣΧΕΤΙΚΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΟΥΜΕ ΤΗΝ ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ.

ΑΣ ~~ΘΥΜΗΘΟΥΜΕ~~ ΤΙΣ ΣΧΕΤΙΚΙΣΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ:

ΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ ΜΑΖΑΣ m ΠΟΥ ΚΙΝΕΙΤΑΙ ΕΛΕΥΘΕΡΑ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $\vec{v}$ ΕΧΕΙ ΟΛΙΚΗ ΣΧΕΤΙΚΙΣΤΙΚΗ

ΕΝΕΡΓΕΙΑ $E = \dfrac{mc^2}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} = \gamma mc^2$

ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΙΣΤΙΚΗ ΟΡΜΗ $\vec{P} = \gamma m \vec{v}$

ΟΠΟΥ $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} > 1$.

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΗΡΕΜΙΑΣ $E = mc^2$

ΙΣΧΥΕΙ $E^2 - \vec{P}^2 c^2 = m^2 c^4$ (ΠΑΝΤΑ)

ΦΩΤΟΝΙΟ → $E = PC$, $E = hf = \dfrac{hc}{\lambda}$

$P = \dfrac{E}{c} = \dfrac{hf}{c}$.

ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

$$h f_0 + M_e c^2 = h f' + E_e \quad (1)$$

ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΟΡΜΗΣ

ΑΞΟΝΑΣ Χ: $\quad h \dfrac{f_0}{c} + 0 = \dfrac{h f'}{c} \cos\vartheta + P_e \cos\varphi \quad (2)$

ΑΞΟΝΑΣ Υ: $\quad 0 + 0 = \dfrac{h f'}{c} \sin\vartheta - P_e \sin\varphi \quad (3)$

$$\Rightarrow \begin{cases} c P_e \cos\varphi = h f_0 - h f' \cos\vartheta & (4) \\ c P_e \sin\varphi = h f' \sin\vartheta & (5) \end{cases}$$

ΚΑΙ $\quad E_e^2 = M_e^2 c^4 + c^2 P_e^2 \quad (6)$

ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΜΑΣΤΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ
f_0, f' ΚΑΙ ϑ
ΑΡΑ ΑΠΑΛΕΙΦΟΥΜΕ ΤΑ E_e, P_e ΑΠΟ ΤΙΣ
ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΑΣ.

$(4)+(5) \longrightarrow c^2 P_e^2 = (h f_0 - h f' \cos\vartheta)^2 + (h f' \sin\vartheta)^2 \quad (7)$

$(1) \longrightarrow (E_e)^2 = (h f_0 - h f' + m_e c^2)^2$

ΑΝΤΙΚΑΘΙΣΤΟΥΜΕ ΣΤΗΝ (6) $\Longrightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{\begin{aligned} & [h(f_0 - f') + M_e c^2]^2 = M_e^2 c^4 \\ & + h^2 [f_0^2 - 2 f_0 f' \cos\vartheta + f'^2] \end{aligned}} \quad (8)$$

Η (7) ΔΙΝΕΙ $c^2 P_e^2 = h^2 f_0^2 + h^2 f'^2 - 2 h^2 f_0 f' \cos\vartheta$

$$(8) \Rightarrow h^2(f_0-f')^2 + 2h(f_0-f')m_ec^2 + m_e^2c^4$$

$$= h^2[f_0^2 - 2f_0f'\cos\theta + f'^2] + m_e^2c^4$$

$$\Rightarrow h^2[\cancel{f_0^2} + \cancel{f'^2} - 2f_0f'] + 2h(f_0-f')m_ec^2$$

$$= h^2[\cancel{f_0^2} + \cancel{f'^2} - 2f_0f'\cos\theta]$$

$$\Rightarrow h(f_0-f')m_ec^2 = h^2 f_0f'(1-\cos\theta)$$

$$\Rightarrow f_0-f' = \frac{h}{m_ec^2}f_0f'(1-\cos\theta)$$

ΔΙΑΙΡΟΥΜΕ ΜΕ ΤΟ f_0f' $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{1}{f'} - \frac{1}{f_0} = \frac{h}{m_ec^2}(1-\cos\theta) \quad (9)$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_ec}(1-\cos\theta)} \quad (10)$$

$$\lambda' = \frac{c}{f'} , \lambda_0 = \frac{c}{f_0}$$

ΟΡΙΖΟΥΜΕ $\lambda_c = \dfrac{h}{m_ec} \approx 0,024 \, A° \quad (11)$

ΟΝΟΜΑΖΕΤΑΙ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ COMPTON
ΓΙΑ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟ.

$m_ec^2 = 0,511 \, MeV \approx 0,5 \, MeV$

$\Delta\lambda_{max} = 0,048 \, A°$ ΓΙΑ $\theta = 180°$.

Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

$\lambda_0 \to \lambda'$ ΚΑΤΑ Δλ (ΣΧΕΣΗ(10)+(11))

ΓΙΝΕΤΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΜΟΝΟΝ ΟΤΑΝ ΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ λ_0 ΕΙΝΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΙΜΟ ΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ COMPTON ΤΟΥ e^-.

ΓΙΑ ΤΟ ΟΡΑΤΟ ΦΩΣ Π.Χ. ΟΠΟΥ $\lambda_0 \approx 6000 \, \mathring{A}^0$ Η ΑΛΛΑΓΗ $\Delta\lambda \approx \frac{0,02}{\lambda_0}$ ΕΙΝΑΙ ΑΜΕΛΗΤΕΑ.

ΕΡΜΗΝΕΥΣΑΜΕ ΛΟΙΠΟΝ ΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΟΡΥΦΗ λ' ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΣΚΕΔΑΣΗ ΦΩΤΟΝΙΟΥ ΑΠΟ "ΕΛΕΥΘΕΡΟ" $\checkmark e^-$

ΣΚΕΔΑΣΗ COMPTON.

ΓΙΑΤΙ ΥΠΑΡΧΕΙ Η ΠΡΩΤΗ ΚΟΡΥΦΗ λ_0 ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ → Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑ ΒΑΣΗ Η ΙΔΙΑ "ΣΚΕΔΑΣΗ ΦΩΤΟΝΙΟΥ", ΑΠΟ ΤΙ?

ΤΟ ΦΩΤΟΝΙΟ ΟΤΑΝ ΣΚΕΔΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ e^- ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΙΣΧΥΡΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΤΟΤΕ Η ΕΥΤΚΡΟΥΣΗ - ΣΚΕΔΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΝΙΟΥ ΕΙΝΑΙ ΜΕ ΟΛΟΚΛΗΡΟ ΤΟ ΑΤΟΜΟ ΑΡΑ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΟΥ e^- ΒΑΖΟΥΜΕ ΤΗΝ ΜΑΖΑ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ

$$M_A c^2 \to M_a c^2.$$

$$\Rightarrow \Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{M_A c}(1 - \cos\theta) \quad (12)$$

ΕΣΤΩ ΟΤΙ Ο ΠΥΡΗΝΑΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΕΧΕΙ ΦΟΡΤΙΟ Z $\Rightarrow$ ΕΧΕΙ Z ΠΡΩΤΟΝΙΑ ΜΕ ΜΑΖΑ ΠΡΩΤΟΝΙΟΥ $M_p \simeq 1836\, m_e$

Ο ΠΥΡΗΝΑΣ ΕΧΕΙ ΚΑΙ ΕΝΑ ΑΡΙΘΜΟ N ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ ΜΕ $M_n \simeq M_p \simeq 1836\, m_e$

$$\Rightarrow M_A c^2 = (Z+N)\, M_p c^2 \Rightarrow m_e c^2$$

Π.Χ ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ $Z=1,\ N=0$

$$\Rightarrow M_A c^2 \simeq 1836\, m_e c^2$$

$$\Rightarrow \frac{h}{M_A c} \simeq \frac{1}{1836} \frac{h}{m_e c} \simeq 10^{-3} \times 0,012\ \overset{\circ}{A}$$

$$\Rightarrow \Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda' \simeq 0 \Rightarrow \underline{\lambda' \simeq \lambda_0}$$

ΚΑΙ Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΟ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΔΕΝ ΦΑΙΝΕΤΑΙ. Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΥΤΗ ΟΝΟΜΑΖΕΤΑΙ «ΣΚΕΔΑΣΗ THOMSON».