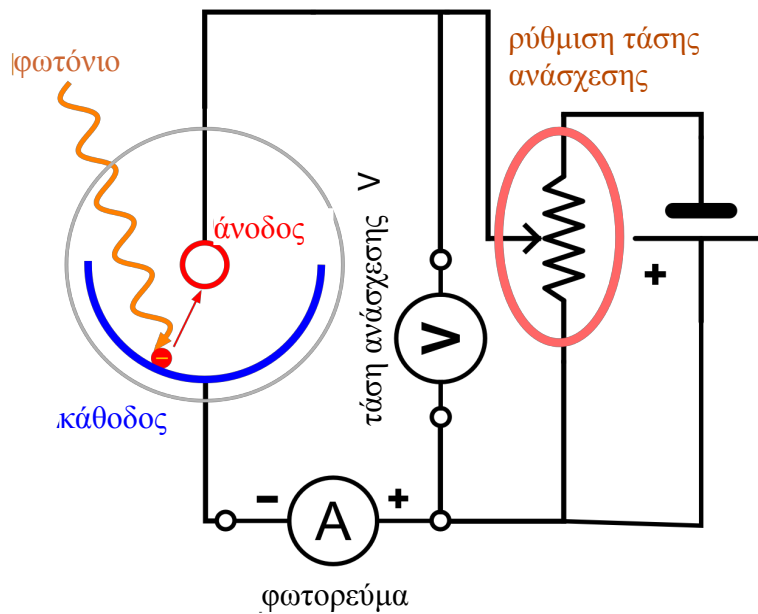


1905: ο Αϊνστάϊν και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο



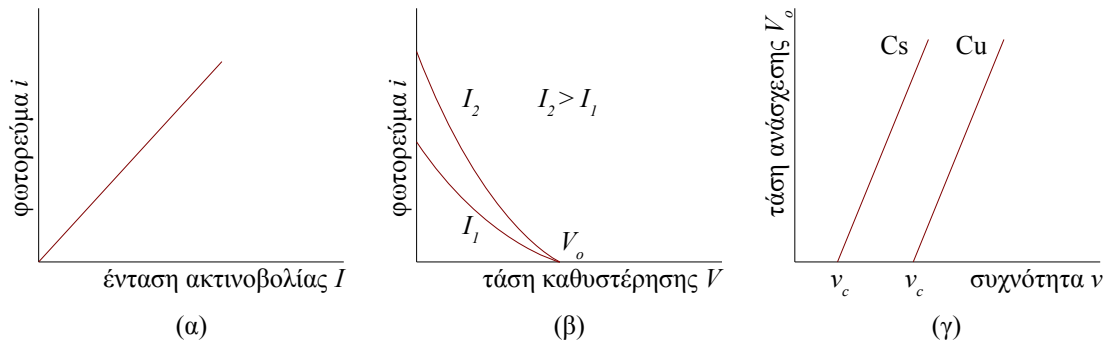
Εικόνα 1. Η διάταξη που χρησιμοποιείται για την μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η κάθοδος φωτίζεται με μονοχρωματικό φως (μίας μοναδικής συχνότητας) και η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (το φως) μεταφέρει ενέργεια στα ηλεκτρόνια του υλικού της καθόδου. Αν η ενέργεια που μεταφέρεται είναι μεγαλύτερη από αυτήν με την οποία τα ηλεκτρόνια είναι δεσμευμένα στα άτομα, τότε αυτά αποσπώνται από την κάθοδο – αν είναι ακόμη μεγαλύτερη, αποκτούν αρκετή κινητική ενέργεια ώστε να ταξιδέψουν στην άνοδο και να προκαλέσουν την ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα (φωτορεύμα) που το μετράμε στο αμπερόμετρο (A). Σε αυτή την κίνηση αντιστέκεται η τάση της πηγής (V). Η τάση ρυθμίζεται με ροοστάτη (αντίσταση).

Το 1905, πέντε χρόνια μετά το ιστορικό άρθρο του Πλανκ, ο Αϊνστάϊν μπόρεσε να ερμηνεύσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο προτείνοντας μια θεωρία δραματικά διαφορετικά από την κλασική ηλεκτρομαγνητική: Η ενέργεια ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος συχνότητας ν δεν είναι συνεχώς κατανομημένη σε όλο το μέτωπο του κύματος, αλλά είναι εντοπισμένη σε μικρά πακέτα (σωματιδιακές οντότητες), τα φωτόνια. Η ενέργεια κάθε φωτονίου είναι $E_{\text{φωτονίου}} = h\nu$.

Σύμφωνα με τον Αϊνστάϊν, μια δέσμη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας φέρει ενέργεια όπως μια δέσμη σωματιδίων, όχι όπως το κύμα. Στην υπόθεση του Αϊνστάϊν η ένταση της ακτινοβολίας είναι ένα μέτρο της πυκνότητας των φωτονίων. Αυξάνοντας την ένταση χωρίς να αυξήσουμε την συχνότητα δεν αλλάζει η ενέργεια των φωτονίων αλλά ο αριθμός τους ανά μονάδα όγκου της δέσμης κι επομένως η πυκνότητα ενέργειας της δέσμης.

Ο Αϊνστάϊν οραματίστηκε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ως σύγκρουση σωματιδίων όπου ένα φωτόνιο ενέργειας $h\nu$ συγκρούεται με ένα ηλεκτρόνιο στο μέταλλο και του αποδίδει όλη του την ενέργεια: $h\nu = E_k + E_b$, δηλ., η κινητική ενέργεια εξαρτάται από την ενέργεια σύνδεσης και συγκεκριμένα η μέγιστη κινητική ενέργεια $(E_k)_{\text{max}} = h\nu - \phi$, όπου ϕ , η ελάχιστη ενέργεια σύνδεσης (στα μέταλλα λέγεται *συνάρτηση έργου*). Πειραματικά, όπως είδαμε, $(E_k)_{\text{max}} = eV_o$ οπότε

$$V_o = \frac{h}{e} \nu - \frac{\phi}{e} \quad (1)$$



Εικόνα 2. (α) Το φωτορεύμα (ο αριθμός των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων) αυξάνεται με την ένταση της ακτινοβολίας. (β) Ο αριθμός των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων που φτάνει στην άνοδο μειώνεται καθώς αυξάνεται η τάση καθυστέρησης. Η τάση ανάσχεσης V_0 είναι ανεξάρτητη από την ένταση της ακτινοβολίας. (γ) Η τάση ανάσχεσης αυξάνεται γραμμικά με την συχνότητα της ακτινοβολίας. Για συχνότητες κάτω από την ν_c η τάση ανάσχεσης μηδενίζεται γιατί δεν εκπέμπονται ηλεκτρόνια. Η τιμή της ν_c εξαρτάται από το υλικό της καθόδου (εδώ καίσιο, Cs και χαλκός, Cu).

Τα αποτελέσματα της εικόνας 2 τώρα ερμηνεύονται ως εξής: όσο μεγαλύτερη η ένταση της ακτινοβολίας τόσα περισσότερα φωτόνια προσκρούουν στο μέταλλο ανά μονάδα χρόνου – μεγαλύτερος αριθμός συγκρούσεων σημαίνει μεγαλύτερο αριθμό ηλεκτρονίων που εκπέμπονται. Αυξάνοντας την ένταση, αυξάνεται ο αριθμός των φωτονίων, όχι η ενέργειά τους. Η μέγιστη ενέργεια (άρα και το V_0) δεν εξαρτώνται από τον αριθμό των φωτονίων (δηλ., το I) αλλά από την ενέργεια του κάθε φωτονίου, ή αλλιώς την συχνότητα του κύματος. Το V_0 είναι γραμμικό με το ν (σχέση 1). Η κλίση είναι

$$\frac{h}{e} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{1.6 \times 10^{-14} \text{ C}} = 4.1 \times 10^{-15} \frac{\text{J}\cdot\text{s}}{\text{C}}, \text{ σε πολύ καλή συμφωνία με το πείραμα.}$$

Αν $h\nu < \phi$ δεν εκπέμπονται ηλεκτρόνια. Δηλ., υπάρχει μια κρίσιμη συχνότητα κάτω από την οποία $V_0 = 0$:

$$\nu < \frac{\phi}{h} = \nu_c .$$

Επιπλέον, εκπομπή είναι ακαριαία γιατί τα ηλεκτρόνια δεν μαζεύουν σταδιακά ενέργεια ώστε ενδεχομένως να δραπετεύσουν από την κάθοδο. Πρόκειται για κρούση σωματιδίων. Αν ένα φωτόνιο με ενέργεια $h\nu \geq \phi$ συγκρουστεί με ένα ηλεκτρόνιο, τότε το τελευταίο εκπέμπεται *άμεσα*. Η θεωρία του Αϊνστάϊν επιβεβαιώθηκε πειραματικά από τα πειράματα του Μίλικαν (1916).

Δόξα σοι τω δείξαντι το φως...