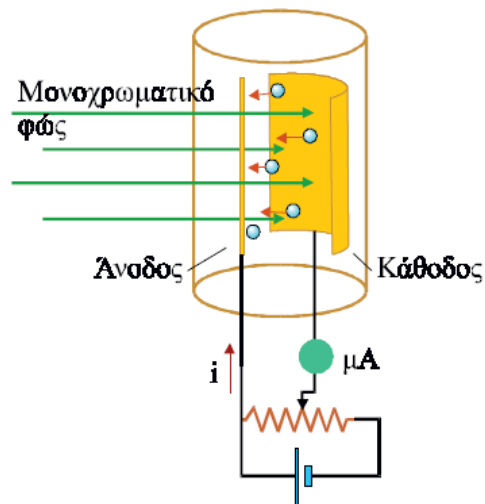


Η αδυναμία ερμηνείας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από την Κλασική Φυσική

Σε μία τυπική διάταξη φωτοηλεκτρικού φαινομένου, να αποδείξετε ότι η Κλασική Φυσική προβλέπει ότι:

1. Η μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κάθοδο.
2. Η μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων δεν εξαρτάται από τη συχνότητα της προσπίπτουσας στην κάθοδο ακτινοβολίας.
3. Μεσολαβεί αρκετό χρονικό διάστημα μεταξύ της πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στην κάθοδο και της εμφάνισης του φωτορεύματος. Να γίνει κατάλληλη αριθμητική εφαρμογή.



Απάντηση

1. Σύμφωνα με την κλασική θεωρία, η ενέργεια σε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατανέμεται ομοιόμορφα στο μέτωπο κύματος.

Υποθέτουμε ότι η απορρόφηση του φωτός από το υλικό της καθόδου συμβαίνει μόνο από τα ανώτερα στρώματα των ατόμων του μετάλλου, πως κάθε άτομο απορροφά ίση ποσότητα ενέργειας ανάλογη της διατομής του A και πως κάθε άτομο αποδίδει την ενέργεια αυτή σε ένα μόνο ηλεκτρόνιο του. Σύμφωνα με τις υποθέσεις αυτές, αντιλαμβανόμαστε ότι η ενέργεια που απορροφά κάθε ηλεκτρόνιο (και η οποία εμφανίζεται υπό μορφή κινητικής ενέργειας) σε χρονικό διάστημα Δt δίνεται από τη σχέση

$$E_{\text{απορ}} = \varepsilon I A \cdot \Delta t,$$

όπου I η ένταση της ακτινοβολίας του φωτός (ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου) και ε ένας καθαρός αριθμός τέτοιος ώστε $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ο οποίος αναδεικνύει την ικανότητα απορρόφησης του φωτός από το υλικό. Δηλαδή, $\varepsilon = 1$ όταν το φως απορροφάται στο 100%.

Επειδή τα ηλεκτρόνια συγκρατούνται στο μέταλλο, για να εξέλθουν από αυτό, χρειάζεται να υπερβούν το αντίστοιχο φράγμα δυναμικού, δηλαδή να απορροφήσουν ενέργεια τουλάχιστον ίση με το έργο εξαγωγής ϕ του μετάλλου. Έτσι, τα ηλεκτρόνια

που έχουν απορροφήσει ικανή ενέργεια, θα εξέλθουν από το μέταλλο με μέγιστη κινητική ενέργεια που θα ικανοποιεί τη σχέση

$$K_{max} = eIA \cdot \Delta t - \varphi \quad (1)$$

Από την παραπάνω σχέση (1), φαίνεται ότι για συγκεκριμένο και σταθερό χρόνο απορρόφησης Δt , σύμφωνα με την κλασική θεωρία αν η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι μικρής έντασης τέτοια ώστε $eIA \cdot \Delta t < \varphi$ τότε κανένα ηλεκτρόνιο δεν θα εκπεμφθεί στο χρόνο αυτό, ενώ εάν η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι υψηλής έντασης τέτοια ώστε $eIA \cdot \Delta t > \varphi$ τότε θα εκπέμπονται ηλεκτρόνια με κινητική ενέργεια που θα μεγαλώνει με την αύξηση της έντασης.

Επομένως, η κλασική θεωρία έρχεται σε αντίθεση με το πείραμα τόσο στις μικρές, όσο και στις μεγάλες εντάσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

2. Σύμφωνα με την κλασική θεωρία, η ένταση του φωτός είναι ανάλογη του τετραγώνου του πλάτους της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, $|\vec{E}_0|^2$. Με την αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας αυξάνεται το πλάτος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με αποτέλεσμα την αύξηση της επιτάχυνσης και της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων.

Από τα παραπάνω και κάνοντας χρήση και της σχέσης (1) φαίνεται ότι σύμφωνα με την κλασική θεωρία, η μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων δεν εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας. Έχουμε δηλαδή και στο σημείο αυτό, μία πλήρη αντίθεση σε σχέση με το πείραμα.

3. Για να εκτιμήσουμε το χρονικό διάστημα (χρονική καθυστέρηση) μεταξύ της στιγμής που το φως προσπίπτει στην κάθοδο και στη στιγμή της εκπομπής των φωτοηλεκτρονίων, θα θεωρήσουμε ότι τα ηλεκτρόνια μόλις που εξέρχονται από το μέταλλο. Δηλαδή, θα θεωρήσουμε ότι $K_{max} = 0$. Έτσι, από τη σχέση (1) έχουμε:

$$eIA \cdot \Delta t - \varphi = 0 \Rightarrow \Delta t = \frac{\varphi}{eIA} \quad (2)$$

Για να κάνουμε μία αριθμητική εκτίμηση της χρονικής καθυστέρησης σύμφωνα με την κλασική φυσική, θα θεωρήσουμε επιπλέον ότι $\epsilon = 1$, το υλικό της καθόδου είναι νάτριο (Na) με έργο εξαγωγής $\varphi = 2,28eV$ και ότι η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ισούται με $I = 10^{-7} mW/cm^2$. Επίσης, για τη διατομή A του ατόμου του νατρίου θεωρούμε ότι $A = \pi r^2$, όπου λαμβάνουμε μία τυπική τιμή της ακτίνας του ατόμου ίση με $r = 10^{-8} cm$.

Με αντικατάσταση των παραπάνω στη σχέση (2), προκύπτει ότι:

$$\Delta t = \frac{2,28eV}{10^{-7} \frac{mW}{cm^2} \cdot \pi \cdot 10^{-16} cm^2} = \frac{2,28 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} J}{\pi \cdot 10^{-26} W} \Rightarrow$$

Υλικό Φυσικής – Χημείας

Επειδή το να μοιράζεσαι πράγματα, είναι καλό για όλους...

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{3,648}{\pi} \cdot 10^7 s \Rightarrow \Delta t \cong 1,16 \cdot 10^7 s \Rightarrow \Delta t \cong 130 \text{ ημέρες}$$

Το πείραμα όμως δείχνει πως εάν υπάρχει χρονική καθυστέρηση στο φαινόμενο, αυτή θα είναι μικρότερη από $10^{-9}s$. Παρατηρούμε δηλαδή ότι η κλασική θεωρία διαφωνεί με το πείραμα κατά έναν παράγοντα της τάξης των 10^{16} !

Μίλτος Καδιλτζόγλου

miltoskadiltzoglou@gmail.com