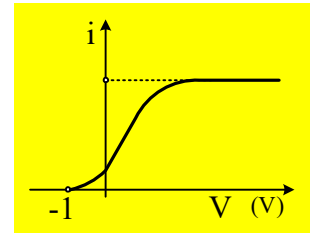
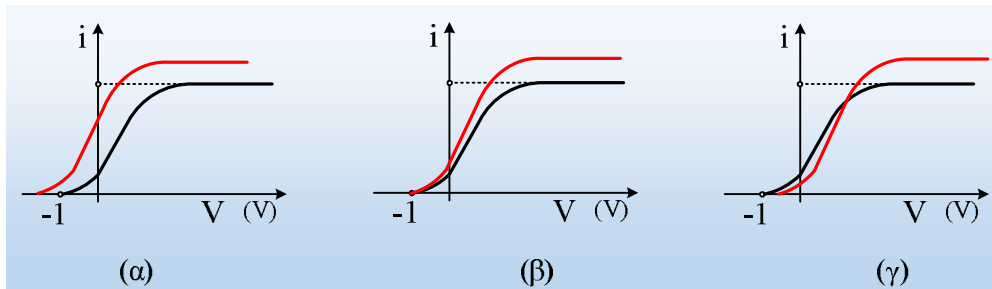


Το διάγραμμα $i=f(V)$ στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Στο διπλανό σχήμα δίνεται το διάγραμμα της έντασης του ρεύματος σε συνάρτηση με την τάση μεταξύ ανόδου-καθόδου σε ένα φωτοκύτταρο, όπου φωτίζουμε την κάθοδο με την βοήθεια μιας λάμπας Α, η οποία τοποθετείται σε απόσταση d .



- i) Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα δίνει την μορφή της καμπύλης (κόκκινη γραμμή), στην περίπτωση που πλησιάσουμε την λάμπα σε απόσταση $d_1 < d$;



- ii) Απομακρύνουμε την λάμπα φωτισμού σε απόσταση $d_2 > d$. Να χαράξετε πάνω στο αρχικό διάγραμμα, την νέα καμπύλη $i=f(V)$.
- iii) Αλλάζουμε λάμπα φωτισμού πλησιάζοντας σε απόσταση d , μια άλλη Β η οποία εκπέμπει σε μικρότερα μήκη κύματος, στέλνοντας στην κάθοδο, τον ίδιο αριθμό φωτονίων, με την Α. Ποια θα είναι τώρα η μορφή της καμπύλης $i=f(V)$. Η νέα καμπύλη να χαραχθεί πάνω στο αρχικό διάγραμμα.
- iv) Ποια η αντίστοιχη καμπύλη αν η λάμπα Β εξέπεμπε ακτινοβολία της ίδιας έντασης με την αρχική λάμπα Α;

Θεωρούμε ότι ο αριθμός των εξερχομένων φωτοηλεκτρονίων είναι ίσος με ένα σταθερό ποσοστό του αριθμού των φωτονίων, τα οποία προσπίπτουν στην κάθοδο.

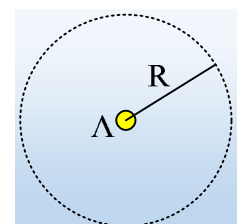
Απάντηση:

- i) Η τάση αποκοπής είναι ίση με 1V (η διαφορά δυναμικού ανόδου-καθόδου είναι ίση με -1V). Αλλά τότε από την φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein παίρνουμε:

$$K_{max} = hf - \varphi \rightarrow q_e V_a = hf - \varphi$$

Αλλά αν έχουμε μια λάμπα που εκπέμπει φως με διαφορετικές συχνότητες, η μεγαλύτερη συχνότητα θα καθορίσει και την τάση αποκοπής. Και αν δεν αλλάξει η λάμπα, δεν θα αλλάξει και η τάση αποκοπής η οποία θα παραμείνει στην τιμή $V_0=1V$. Τι συμβαίνει όμως με το πλησίασμα της λάμπας;

Έστω μια φωτεινή πηγή Λ , ας την θεωρήσουμε αμελητέων διαστάσεων, η οποία εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ισχύ P . Τότε παίρνοντας μια σφαίρα με



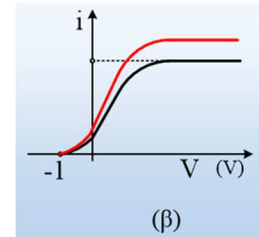
κέντρο την πηγή και ακτίνα R , στην επιφάνειά της θα φτάνει ενέργεια $W=Pt$, ίση με αυτήν που εκπέμπει η πηγή, οπότε η ένταση της ακτινοβολίας στην επιφάνειά της, θα είναι ίση:

$$I = \frac{W}{S \cdot \Delta t} = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi R^2}$$

Αφού η επιφάνεια της σφαίρας έχει εμβαδόν $4\pi R^2$.

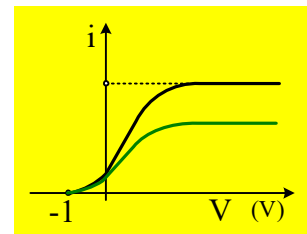
Βλέπουμε δηλαδή ότι η ένταση της ακτινοβολίας είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης της πηγής από την επιφάνεια πρόσπτωσης.

Αλλά τότε πλησιάζοντας την λάμπα στην κάθοδο, αυξάνουμε την ένταση της ακτινοβολίας, στην κάθοδο προσπίπτουν περισσότερα φωτόνια, συνεπώς θα ελευθερώνονται και περισσότερα ηλεκτρόνια και θα αυξάνεται η ένταση του ρεύματος.



Σύμφωνα με όλα αυτά, το σωστό διάγραμμα είναι το (β), όπως στο διπλανό σχήμα.

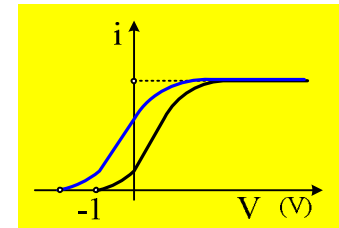
- ii) Με βάση τα παραπάνω, απομακρύνοντας την λάμπα από το φωτοκύτταρο, δεν θα αλλάξει η τάση αποκοπής, αλλά θα μειωθεί η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και η καμπύλη θα πάρει τη μορφή του διπλανού σχήματος, με πράσινο χρώμα.



- iii) Αφού όταν φωτίζεται η κάθοδος από την λάμπα Β, δέχεται τον ίδιο αριθμό φωτονίων με πριν, θα εξέρχονται και ίδιος αριθμός ηλεκτρονίων (ένα ποσοστό των φωτονίων που προσπίπτουν θα απορροφηθούν από ηλεκτρόνια, τα οποία θα εξέλθουν της επιφάνειας), συνεπώς και θα έχουμε την ίδια μέγιστη τιμή της έντασης του ρεύματος. Όμως τώρα η λάμπα Β εκπέμπει σε μικρότερα μήκη κύματος, συνεπώς τα φωτόνια θα μεταφέρουν μεγαλύτερη ενέργεια από τα αντίστοιχα της Α λάμπας, με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται να έχουν μεγαλύτερες κινητικές ενέργειες και άρα μεγαλύτερη K_{\max} άρα και πιο «μεγάλη» τάση αποκοπής, αφού:

$$q_e V_a = hf - \phi$$

Έτσι το διάγραμμα παίρνει την μορφή του διπλανού σχήματος.

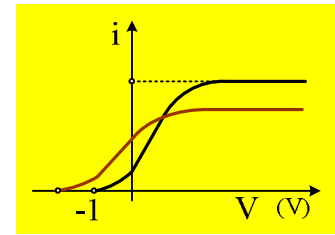


- iv) Αν η λάμπα Β εξέπεμπε ακτινοβολία της ίδιας έντασης, αλλά με μεγαλύτερες συχνότητες, τότε στην κάθοδο θα έφταναν λιγότερα φωτόνια. Πράγματι για την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην κάθοδο (ας την πάρουμε ως μονοχρωματική...) θα έχουμε:

$$W_k = I \cdot A = \frac{W_\Lambda}{4\pi R^2} \cdot A = \frac{N \cdot hf}{4\pi R^2} \cdot A$$

Όπου I η ένταση της ακτινοβολίας που πέφτει στην κάθοδο η οποία έχει εμβαδόν A , W_Λ η συνολική ενέργεια που ακτινοβολεί η λάμπα και N ο αριθμός των φωτονίων που εκπέμπονται.

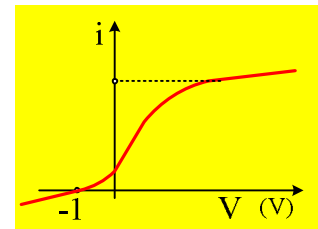
Πράγμα που σημαίνει ότι για την ίδια ένταση, όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο μικρότερος αριθμός (N) φωτονίων απαιτούνται για την διάδοση της ενέργειας αυτής. Κατά συνέπεια θα εξέρχεται από την κάθοδο και ένας μικρότερος αριθμός ηλεκτρονίων, με αποτέλεσμα να έχουμε και μικρότερη μέγιστη ένταση ρεύματος, (**ρεύματος κόρου**). Αντίθετα η τάση αποκοπής θα είναι ίδια με αυτήν του προηγούμενου ερωτήματος.



Με βάση αυτά η καμπύλη παίρνει τη μορφή του διπλανού σχήματος.

Σχόλιο για καθηγητές:

Η παραπάνω θεωρητική μελέτη, προβλέπει ότι η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται για τάσεις μικρότερες από $-1V$ ενώ σταθεροποιείται σε μια μέγιστη ένταση (ρεύμα κόρου). Στην πραγματικότητα μια πειραματική μελέτη, μας δίνει την καμπύλη με την μορφή του διπλανού σχήματος, όπου ούτε το ρεύμα κόρου σταθεροποιείται, ούτε μηδενίζεται για τάσεις $V < -1V$.



Αξίζει να επισημανθεί ότι στις αρνητικές τάσεις τον ρόλο της «κάθόδου» παίζει η άνοδος η οποία και αυτή φωτίζεται, με αποτέλεσμα να εκπέμπει φωτοηλεκτρόνια ενώ ταυτόχρονα έχουμε και ρεύματα διαρροής που αυξάνονται με την αύξηση της τάσης.

dmargaris@gmail.com