

BÀI ĐỌC THÊM 3

Thí nghiệm (*biểu diễn*) :

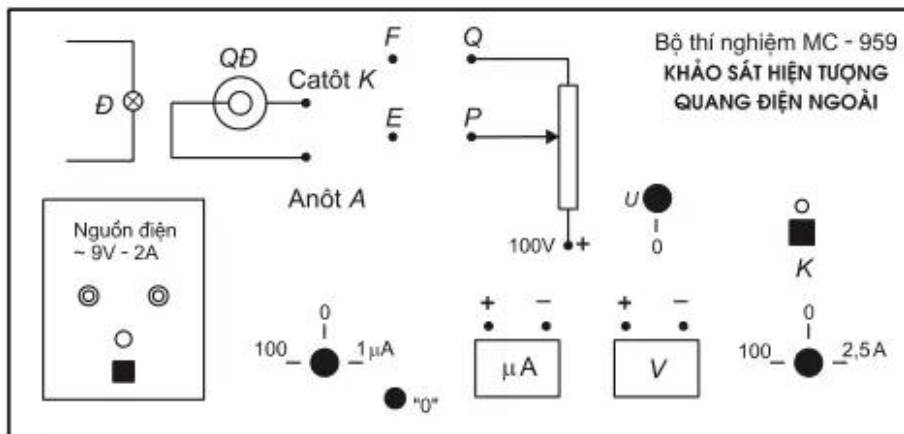
KHẢO SÁT HIỆN TƯỢNG QUANG ĐIỆN NGOÀI XÁC ĐỊNH HẰNG SỐ PLĂNG

I – MỤC ĐÍCH THÍ NGHIỆM

- Khảo sát hiện tượng quang điện ngoài và các định luật quang điện.
- Vẽ đặc tuyến vôn – ampe của tế bào quang điện chân không.
- Xác định hằng số Plăng.

II – DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

- Bộ thí nghiệm vật lí MC-959 (H.ĐT3.1), gồm :
 - Tế bào quang điện chân không QD đặt trong hộp che sáng.
 - Đèn chiếu sáng D loại 12 V – 21 W có kính tụ quang.
 - Vôn kế một chiều V hai thang đo 0 – 2,5 – 100 V.
 - Microampe kế một chiều μA hai thang đo 0 – 1 – 100 μA .
 - Nguồn điện một chiều U : 0 ÷ 100 V / 100 mA.



Hình ĐT3.1

- Nguồn điện xoay chiều : 0 – 3 – 6 – 9 – 12 V / 3 A.
- Bảng lắp ráp mạch điện.
- Bộ dây dẫn nối mạch điện (9 dây).
- Ba kính lọc sắc : đỏ, lục, tím – lam.
- Một tấm nhựa màu đen.

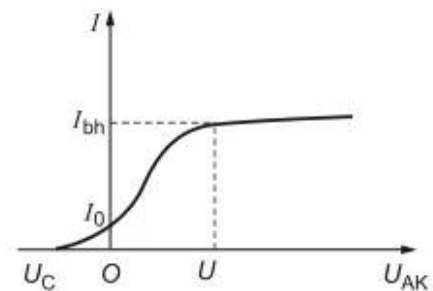
III – CƠ SỞ LÝ THUYẾT

a) Để nghiên cứu hiện tượng quang điện ngoài, người ta dùng *tế bào quang điện chân không*. Cấu tạo của nó gồm một bóng thủy tinh được hút chân không tới khoảng $10^{-6} \div 10^{-8}$ mmHg, bên trong có hai điện cực : anốt A là một vòng dây kim loại đặt ở giữa, catốt K là lớp chất nhạy quang (ví dụ : xesi antimon,...) phủ trên một

nửa mặt phía trong bóng thuỷ tinh. Anôt A nối với cực dương và catôt K nối với cực âm của nguồn điện một chiều U . Hiệu điện thế U_{AK} giữa anôt A và catôt K được đo bằng vôn kế V và có thể thay đổi nhờ một biến trở R (còn gọi là chiết áp).

Khi chiếu chùm ánh sáng thích hợp có bước sóng $\lambda \leq \lambda_0$ vào catôt K , trong mạch điện của tế bào quang điện xuất hiện *dòng quang điện* có cường độ I đo bằng microampe kế μA . Cường độ dòng điện I tăng dần theo hiệu điện thế U_{AK} , cho tới khi $U_{AK} > U_{bh}$ thì cường độ I không tăng nữa và đạt giá trị không đổi I_{bh} gọi là *cường độ dòng quang điện bão hoà*. Cường độ dòng quang điện bão hoà I_{bh} tăng tỉ lệ với cường độ của chùm ánh sáng thích hợp chiếu vào catôt K .

Đồ thị $I = f(U_{AK})$ biểu diễn sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện I vào hiệu điện thế U_{AK} giữa anôt A và catôt K gọi là *đặc tuyến vôn-ampe của tế bào quang điện chân không* (H.ĐT3.2).



Hình ĐT3.2

Êlectron tự do trong kim loại muốn thoát ra khỏi mặt bản kim loại thì cần phải nhận được một năng lượng tối thiểu bằng *công thoát* A của nó đối với kim loại đó. Nếu chiếu ánh sáng thích hợp vào mặt bản kim loại, êlectron nằm ở gần sát mặt bản sẽ hấp thụ hoàn toàn năng lượng $\varepsilon = hf$ của photon để chuyển thành công thoát A và động năng ban đầu cực đại $\frac{mv_{\max}^2}{2}$ khi vừa thoát khỏi mặt bản kim loại. Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng đối với quang êlectron, ta nhận được *phương trình Anh-xtanh* về hiện tượng quang điện :

$$\varepsilon = hf = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (1)$$

Vì $\frac{mv_{\max}^2}{2} > 0$ và $f = \frac{c}{\lambda}$, nên điều kiện để xảy ra hiện tượng quang điện là :

$$\lambda \leq \frac{hc}{A} = \lambda_0 \quad (2)$$

trong đó λ_0 là giới hạn quang điện của bản kim loại.

b) Với chùm ánh sáng thích hợp $\lambda \leq \lambda_0$ chiếu vào catốt K , ta nhận thấy :

– Khi $U_{AK} > 0$ và càng tăng thì số quang electron chuyển động từ catốt K về anốt A trong mỗi đơn vị thời gian càng nhiều và cường độ dòng quang điện I càng tăng.

– Khi $U_{AK} \geq U_{bh}$ thì toàn bộ số quang electron thoát khỏi catốt K trong mỗi đơn vị thời gian đều bị hút hết về anốt A , do đó cường độ I của dòng quang điện không tăng nữa và đạt giá trị bão hoà I_{bh} .

– Nếu cường độ chùm ánh sáng thích hợp chiếu vào catốt K càng mạnh thì số photon đến đập vào catốt K trong mỗi đơn vị thời gian càng nhiều. Do đó, số quang electron thoát khỏi catốt K và chuyển động về anốt A trong mỗi đơn vị thời gian càng nhiều và cường độ dòng quang điện bão hoà I_{bh} càng lớn.

c) Khi $U_{AK} = 0$, một số quang electron có động năng cực đại $\frac{mv_{\max}^2}{2}$ đủ lớn

vẫn có thể bay từ catốt K sang anốt A để tạo thành dòng điện cường độ $I_0 \neq 0$ khá nhỏ như trên Hình ĐT2.1. Muốn làm cho dòng quang điện triệt tiêu ($I_0 = 0$), ta phải đặt vào hai cực AK của tế bào quang điện một hiệu điện thế cản U_c có giá trị âm ($U_c = -U_{AK} < 0$), sao cho công cản của điện trường giữa anốt A và catốt K có trị số bằng động năng cực đại của quang electron :

$$eU_c = \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (3)$$

Ở đây $e = 1,6.10^{-19}C$ là độ lớn điện tích của electron. So sánh (3) với (1), ta tìm được :

$$eU_c = hf - A \quad (4)$$

Với các ánh sáng đơn sắc có tần số lần lượt là f_1 và f_2 thì hiệu điện thế cản có giá trị tương ứng là U_{c_1} và U_{c_2} sao cho :

$$eU_{c_1} = hf_1 - A \quad ; \quad eU_{c_2} = hf_2 - A$$

Từ đó suy ra giá trị của hằng số Plăng :

$$h = e \frac{U_{c_1} - U_{c_2}}{f_1 - f_2} \quad (5)$$

Trong thí nghiệm này, ta sẽ khảo sát hiện tượng quang điện và các định luật của nó, đồng thời xác định hằng số Plăng h theo công thức (5).

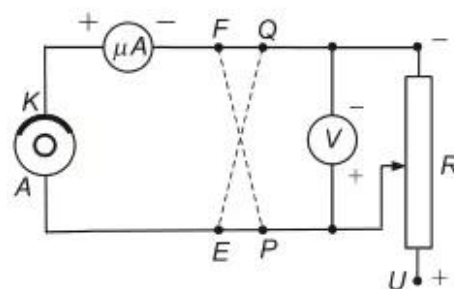
IV – TRÌNH TỰ THÍ NGHIỆM

1. Chuẩn bị thí nghiệm

Mắc mạch điện trên mặt máy MC-959 theo sơ đồ hình ĐT3.3, trong đó :

– Vận núm chiết áp của nguồn điện U về vị trí 0 ở tận cùng bên trái.

– Nối chốt E với cực dương (+) của nguồn điện U qua chốt P . Nối chốt F với cực âm (-) của nguồn điện U qua chốt Q .



Hình ĐT3.3

– Mắc nối tiếp tế bào quang điện $QĐ$ với microampe kế μA giữa hai chốt E, F : Nối anôt A với chốt E , nối catôt K với cực (+) của microampe kế μA , nối cực (-) của microampe kế μA với chốt F .

– Nối cực (+) của vôn kế V với chốt P và nối cực (-) của nó với chốt Q .

– Đặt vôn kế V ở vị trí 100 V và đặt microampe kế μA ở vị trí 100 μA .

– Đặt đèn chiếu sáng D nằm cách tế bào quang điện $QĐ$ một khoảng $6 \div 8$ cm và nối đèn này với nguồn điện xoay chiều 12 V – 3 A.

2. Khảo sát định tính hiện tượng quang điện ngoài

a) Đóng công tắc K trên mặt máy MC-959 : Đèn LED phát sáng báo hiệu các máy đã sẵn sàng hoạt động.

– Dùng miếng nhựa đen che kín cửa sổ của tế bào quang điện $QĐ$, không cho ánh sáng của đèn D chiếu vào tế bào quang điện này.

– Vận núm xoay U của nguồn điện một chiều U thuận chiều kim đồng hồ để hiệu điện thế U_{AK} giữa anôt A và catôt K chỉ trên vôn kế V tăng dần từ 0 đến khoảng 80 V. Quan sát thấy kim của microampe kế μA luôn chỉ số 0, tức là không có dòng điện chạy qua tế bào quang điện $QĐ$, mặc dù giữa anôt A và catôt K của tế bào quang điện $QĐ$ đã có điện trường khác không do hiệu điện thế U_{AK} gây ra.

Nguyên nhân là do : trong khoảng chân không giữa hai điện cực của tế bào quang điện chân không $QĐ$ không có các hạt tải điện, nên mặc dù giữa hai điện cực của nó có điện trường, nhưng vẫn không có dòng điện.

b) Vận núm xoay của nguồn điện U về vị trí 0. Thay miếng nhựa đen bằng kính lọc sắc màu đỏ.

– Ánh sáng của đèn D chiếu qua kính lọc sắc màu đỏ vào cửa sổ của tế bào quang điện QD . Quan sát thấy kim của microampe kế μA vẫn chỉ số 0, tức là không có dòng điện chạy qua tế bào quang điện QD .

– Vận nút xoay của nguồn điện U để hiệu điện thế U_{AK} giữa anốt A và catốt K chỉ trên vôn kế V tăng dần từ 0 đến khoảng 80 V. Quan sát thấy kim của microampe kế μA vẫn chỉ số 0.

Nguyên nhân là do : ánh sáng màu đỏ có bước sóng khá dài ($\lambda \approx 0,75 \mu m$) nên các photon của nó có năng lượng ϵ nhỏ hơn công thoát A của các electron, do đó không thể bứt các electron ra khỏi catốt K để tạo thành các hạt tải điện.

c) Vận nút xoay của nguồn điện U về vị trí 0. Thay miếng nhựa đen bằng kính lọc sắc màu lục.

– Ánh sáng của đèn D chiếu qua kính lọc sắc màu lục vào cửa sổ của tế bào quang điện QD . Vận nút xoay của nguồn điện U để hiệu điện thế U_{AK} giữa anốt A và catốt K chỉ trên vôn kế V tăng dần. Quan sát thấy kim của microampe kế μA tăng theo cho tới khi số chỉ của vôn kế V vượt quá một giá trị U_{bh} nào đó (khoảng 20V) thì dòng quang điện đạt *giá trị bão hoà* I_{bh} .

– Tăng độ rọi sáng chiếu vào catốt K của tế bào quang điện AK bằng cách dịch đèn chiếu D lại gần tế bào quang điện hơn nữa thì cường độ dòng điện bão hoà I_{bh} lại tăng theo.

Nguyên nhân là do ánh sáng màu lục có bước sóng khá ngắn ($\lambda \approx 0,55 \mu m$) nên photon của nó có năng lượng lớn hơn công thoát của các electron ($\epsilon > A$), do đó chúng có thể bứt các electron ra khỏi mặt kim loại của catốt K để tạo thành các hạt tải điện.

Khi hiệu điện thế U_{AK} càng tăng, điện trường giữa anốt A và catốt K càng mạnh, thì số lượng quang electron chuyển động từ catốt K sang anốt A sau mỗi giây càng nhiều và cường độ dòng quang điện càng lớn. Hơn nữa, nếu cường độ điện trường giữa anốt A và catốt K đủ mạnh thì toàn bộ số lượng quang electron bứt khỏi catốt K sau mỗi giây sẽ chuyển động hết về anốt A và cường độ dòng quang điện sẽ đạt giá trị bão hoà. Mặt khác, nếu độ rọi sáng trên mặt catốt K càng tăng thì số lượng photon tới đập vào mặt catốt K sau mỗi giây càng nhiều, do đó số lượng electron bị bứt ra khỏi catốt K sau mỗi giây càng nhiều và cường độ dòng quang điện bão hoà càng lớn.

d) Vận nút xoay của nguồn điện U về vị trí 0 để hiệu điện thế giữa anốt A và catốt K giảm tới giá trị $U_{AK} = 0$.

– Ánh sáng từ đèn D chiếu qua kính lọc sắc màu lục vào catốt của tế bào quang điện QD . Trường hợp này microampe kế μA chỉ dòng điện khác không,

nhưng có cường độ I_{01} khá nhỏ. Có thể dễ dàng xác định cường độ I_0 của dòng quang điện bằng cách vận chuyển mạch của microampe kế μA sang vị trí $1 \mu A$.

– Đặt giữa anốt A và catốt K của tế bào quang điện AK một hiệu điện thế ngược có giá trị $U_{AK} < 0$ bằng cách đảo chéo các đầu dây để nối chốt E với chốt Q và nối chốt F với chốt P theo các đường đứt nét trên hình ĐT3.3. Khi đó anốt A được nối với cực âm ($-$) và catốt K được nối với cực dương ($+$) của nguồn điện U . Vận núm xoay của nguồn điện U thuận chiều kim đồng hồ để tăng dần hiệu điện thế ngược cho tới khi độ lớn của nó bằng U_{c_1} thì cường độ dòng quang điện bị triệt tiêu hoàn toàn ($I_0 = 0$). Độ lớn U_{c_1} của hiệu điện thế ngược này gọi là *hiệu điện thế cản* (hay *hiệu điện thế hãm*) đối với ánh sáng màu lục.

– Thay kính lọc sắc màu lục bằng kính lọc sắc màu tím. Lập lại các động tác trên, ta cũng quan sát thấy hiện tượng xảy ra tương tự, nhưng hiệu điện thế cản đối với ánh sáng màu tím có độ lớn U_{c_2} lớn hơn so với U_{c_1} .

Nguyên nhân là do một số ít quang electron bị bật khỏi mặt kim loại của catốt K có động năng ban đầu đủ lớn nên chúng có thể chuyển động thẳng từ catốt K sang anốt A để tạo thành dòng quang điện ngay cả khi giữa anốt A và catốt K không có điện trường.

Khi giữa anốt A và catốt K có một hiệu điện thế ngược đủ lớn thì điện trường giữa các điện cực này sẽ đủ mạnh và có tác dụng cản trở không cho các quang electron chuyển động từ catốt K sang anốt A , do đó dòng quang điện bị triệt tiêu hoàn toàn. Hơn nữa kết quả này còn cho phép khẳng định rằng dòng quang điện chạy qua tế bào quang điện AK phải là dòng các hạt tải mang điện âm, tức là dòng quang electron.

Ánh sáng màu tím – lam có bước sóng ($\lambda \approx 0,45 \mu m$) ngắn hơn so với ánh sáng màu lục nên các photon của nó có năng lượng lớn hơn và tác dụng gây ra hiện tượng quang điện mạnh hơn. Vì vậy hiệu điện thế cản đối với các photon của ánh sáng màu tím – lam sẽ lớn hơn so với ánh sáng màu lục.

3. Vẽ đường đặc tuyến vôn – ampe của tế bào quang điện chân không

a) Vận núm xoay của nguồn điện U về vị trí 0. Cho ánh sáng từ đèn D chiếu trực tiếp (không qua kính lọc sắc) vào thẳng catốt K của tế bào quang điện QD .

b) Vận núm xoay của nguồn điện U để số chỉ của vôn kế V tăng từ 0 đến 80 V, mỗi lần tăng khoảng $2 \div 5$ V. Ghi các số chỉ cường độ I của dòng quang điện trên microampe kế μA tương ứng với các số chỉ hiệu điện thế U_{AK} giữa hai cực AK của tế bào quang điện QD . Sau đó lại vận núm xoay của nguồn điện U về vị trí 0.

c) Dựa vào các số liệu tìm được, vẽ đồ thị $I = f(U_{AK})$ biểu diễn sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện I vào hiệu điện thế U_{AK} giữa hai cực AK của tế bào quang điện QD .

4. Xác định hằng số Plăng

a) Dùng miếng nhựa đen che ánh sáng chiếu vào tế bào quang điện QD . Đảo cực của tế bào quang điện QD bằng cách nối chốt E với chốt Q và nối chốt F với chốt P theo các đường đứt nét trên hình ĐT3.3.

Vận núm chuyển thang đo của vôn kế V sang vị trí 2,5 V và vận núm chuyển mạch của microampe kế μA sang vị trí 1 μA . Nếu kim của microampe kế μA không chỉ đúng vị trí số 0 của thang đo thì phải thực hiện động tác "quy 0" bằng cách vận từ từ núm xoay "0" ở phía bên trái nó để đưa kim chỉ thị về đúng số 0 của thang đo.

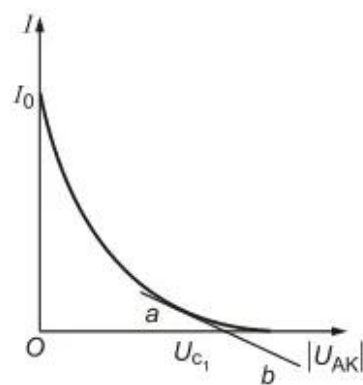
b) Thay miếng nhựa đen che ánh sáng bằng kính lọc sắc màu lục. Vôn kế V chỉ số 0 và microampe kế μA chỉ giá trị cường độ I_{01} của dòng quang điện.

Vận từ từ núm xoay U để số chỉ của vôn kế V tăng dần, mỗi lần tăng 0,2 V. Khi đó số chỉ của microampe kế μA giảm dần về 0. Đọc và ghi các số chỉ tương ứng của hiệu điện thế U_{AK} và của cường độ dòng quang điện I . Sau đó lại vận núm xoay U quay trở về vị trí 0 của nó.

Dựa vào các kết quả đo được, vẽ đồ thị $I = f(U_{AK})$ để xác định chính xác hơn độ lớn của hiệu điện thế cản U_{c1} đối với ánh sáng màu lục có bước sóng λ_1 .

Vì kính lọc sắc không hoàn toàn đơn sắc nên khi $|U_{AK}| = U_{c1}$, dòng quang điện không giảm tới giá trị đúng bằng không. Nguyên nhân là do khi đó vẫn có một số lượng nhỏ các photon ứng với những bước sóng ánh sáng trong khoảng từ λ_1 đến $\lambda_1 \pm \Delta\lambda_1$ tới đập vào catốt K và làm bật ra các quang electron có động năng đủ lớn.

Giả sử đồ thị $I = f(U_{AK})$ có dạng đường cong như hình ĐT3.4. Chọn đoạn dốc ở gần phía cuối của đường cong này và vẽ tiếp tuyến ab với nó. Giao điểm của tiếp tuyến ab với trục hoành U_{AK} cho phép xác định gần đúng độ lớn của U_{c1} .



Hình ĐT3.4

c) Thay kính lọc sắc màu xanh lục bằng kính màu tím – lam. Thực hiện lại các động tác trên. Ghi các số chỉ tương ứng của hiệu điện thế U_{AK} và của cường độ dòng quang điện I . Sau đó lại vận núm xoay U quay trở về vị trí 0.

Dựa vào các kết quả đo được, vẽ đồ thị xác định hiệu điện thế cản U_{c_2} đối với ánh sáng màu tím – lam có bước sóng λ_2 .

d) Bấm các công tắc K_1 và K để tắt đèn chiếu sáng D và ngắt điện của bộ thí nghiệm MC-959 khỏi nguồn điện xoay chiều ~ 220 V. Tháo các dây nối mạch điện trên mặt máy và sắp xếp gọn gàng. Dùng miếng nhựa đen che kín cửa sổ của tế bào quang điện AK .

e) Xác định giá trị của hằng số Plăng theo công thức (5). Cho biết độ lớn của điện tích electron $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, tốc độ ánh sáng trong chân không $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, ánh sáng màu lục có bước sóng $\lambda_1 \approx 0,55 \mu\text{m}$ và ánh sáng màu tím – lam có bước sóng $\lambda_2 \approx 0,45 \mu\text{m}$.