

Thema: Die Planck-Konstante

1. Aufgabe

Die Fotozelle (Abb.1) wird mit dem Licht einer Quecksilberdampf Lampe bestrahlt. Die verstellbare Blende bleibt während der Messungen unverändert. Nacheinander werden unterschiedliche Farbfilter zwischen Lampe und Fotozelle gestellt. Vor jeder Spannungsmessung wird der Kondensator kurzgeschlossen und dann so lange gewartet, bis sich ein stabiler Spannungswert eingestellt hat (Tab.1).

- (1) Deute die physikalischen Vorgänge des dargestellten Versuchs ausführlich!
- (2) Werte die Versuchsergebnisse mit dem GTR aus und bestimme die Planck-Konstante sowie die Austrittsarbeit und die Grenzfrequenz der benutzten Fotozelle! Skizziere den grafischen Zusammenhang!
- (3) Bestimme die Energie eines Photons, welches durch den ultravioletten Farbfilter gelangt und berechne daraus die maximale kinetische Energie und Geschwindigkeit eines ausgelösten Elektrons!
- (4) Der zeitliche Verlauf der Spannung am Kondensator $U(t)$ bis zum Erreichen der gemessenen Spannung U wird bei zwei verschiedenen Wellenlängen $\lambda_1 < \lambda_2$ und zwei unterschiedlichen Blendenöffnungen $d_1 < d_2$ dargestellt (Abb.2). Ordne den dargestellten Kurven die Wellenlängen λ_1 bzw. λ_2 und die Blendenöffnungen d_1 bzw. d_2 begründet zu!

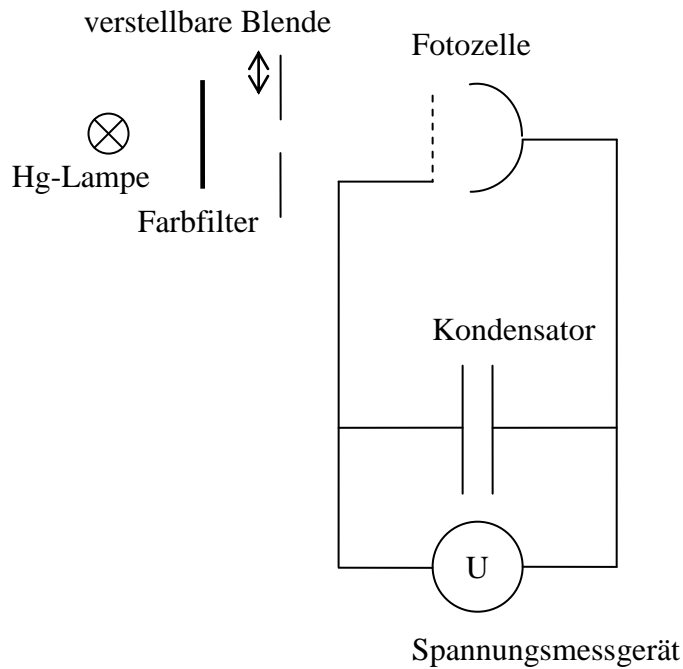
2. Aufgabe

Mit einer Röntgenröhre werden zu unterschiedlichen Anodenspannungen U_A die kurzwelligen Grenzen λ_{\min} der emittierten Spektren gemessen (Tab.2).

- (1) Zeige, dass zwischen λ_{\min} und $\frac{1}{U_A}$ ein proportionaler Zusammenhang besteht und bestimme die Proportionalitätskonstante k !
- (2) Leite begründet her: $k = \frac{h \cdot c}{e}$!
(h : Planck-Konstante, c : Lichtgeschwindigkeit, e : Elementarladung)
- (3) Bestimme die prozentuale Abweichung des experimentell gefundenen Wertes für k vom theoretischen!
- (4) Aus (1) und (2) folgt: $\lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U_A}$. Wie könnte man mit diesem Zusammenhang und den Messwerten (Tab.2) die Planck-Konstante h bestimmen?

Material zur 1. Aufgabe

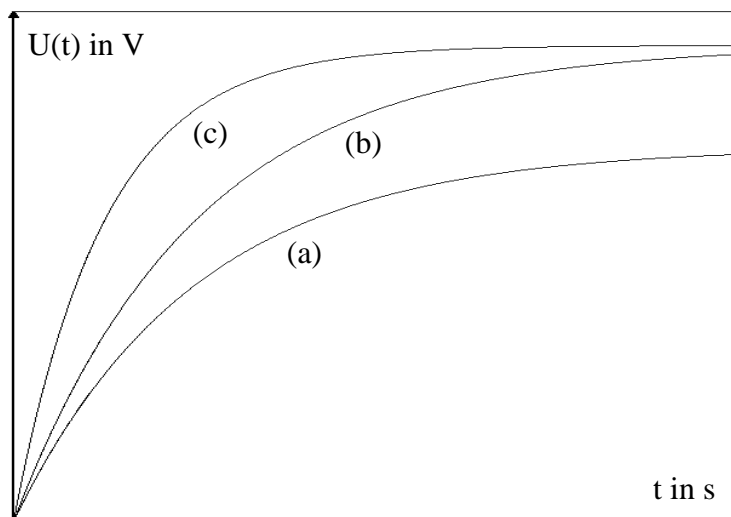
Abb.1 Versuchsaufbau zur 1. Aufgabe



Tab.1 Messwerte zur 1. Aufgabe

Farbfilter	Wellenlänge λ in nm	Abgelesener Endwert der Spannung U in V
ultraviolett	366	1,4
violett	405	1,1
blau	436	0,8
grün	546	0
gelb	579	0

Abb.2



Material zur 2. Aufgabe

Tab.2 Messwerte zur 2. Aufgabe

U_A / kV	19,8	17,6	15,8	14,6	13,5	12,5
λ_{\min} / pm	55,9	62,9	69,8	76,7	83,6	90,4

Lösungen

1. Aufgabe

- (1) Deute die physikalischen Vorgänge des dargestellten Versuchs ausführlich!

Die Hg-Lampe emittiert Licht verschiedener Frequenzen. Die Photonen besitzen die Energie $W = h \cdot f$. Der Farbfilter lässt nur jeweils Licht einer bestimmten Frequenz durch und regelt damit die Energie der eingestrahlten Photonen. Die Blende reguliert eine bestimmte Intensität, also die Anzahl der Photonen pro Flächen- und pro Zeiteinheit. Treffen Photonen auf die Fotokatode, so schlagen sie dort Elektronen aus, verrichten also Ablösearbeit W_A . Zusätzlich erhalten die Elektronen aber auch noch kinetische Energie und erreichen hiermit das Gitter (Fotoanode). Gitter und linke Kondensatorplatte laden sich dabei allmählich negativ auf, Fotokatode und rechte Kondensatorplatte entsprechend positiv. Zwischen den Kondensatorplatten und damit auch zwischen den Elektroden der Zelle baut sich ein elektrisches Feld auf. Es hat dann seine maximale Feldstärke erreicht, wenn keine weiteren Elektronen mehr das Gitter erreichen, weil hierzu ihre kinetische Energie nicht mehr ausreicht – sie können nicht gegen das elektrische Feld anlaufen. Mit dem Spannungsmesser kann man die Feldspannung U messen. $e \cdot U$ ist die kinetische Energie $\frac{1}{2} m_e v^2$, die die schnellsten Elektronen besitzen, die das Gitter noch zuletzt erreichen konnten. Die Photonen übertragen also insgesamt auf die schnellsten Elektronen die Energie $hf = eU + W_A$.

- (2) Werte die Versuchsergebnisse mit dem GTR aus und bestimme die Planck-Konstante sowie die Austrittsarbeit und die Grenzfrequenz der benutzten Fotozelle! Skizziere den grafischen Zusammenhang!

Nur die ersten drei Tabellenzeilen können sinnvoll ausgewertet werden, da bei den letzten beiden Zeilen Elektronen vermutlich nicht einmal ausgelöst werden.

$$\lambda \rightarrow L1; f = \frac{c}{\lambda} \rightarrow L2 \text{ (in Hz)}$$

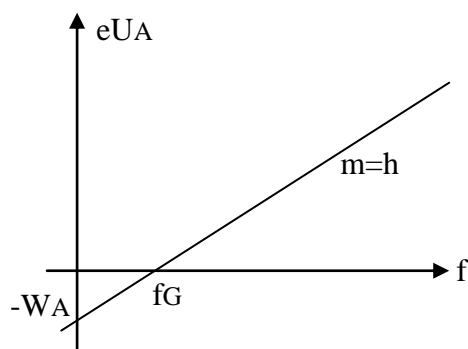
$$U \rightarrow L3; eU \rightarrow L4 \text{ (in J)}$$

$$\text{LinReg: } y = 7,2142 \cdot 10^{-34} \cdot x - 3,6409 \cdot 10^{-19}$$

$$\text{Physikalische Gleichung: } eU = 7,2142 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot f - 3,6409 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Rightarrow h = 7,2142 \cdot 10^{-34} \text{ Js}; W_A = 3,6409 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$\text{Grenzfrequenz: } 0 = hf_G - W_A \Rightarrow f_G = \frac{W_A}{h} \Rightarrow f_G = 5,0469 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$



- (3) Bestimme die Energie eines Photons, welches durch den ultravioletten Farbfilter gelangt und berechne daraus die maximale kinetische Energie und Geschwindigkeit eines ausgelösten Elektrons!

$$W = h \frac{c}{366 \text{ nm}} \approx 5,4276 \cdot 10^{-19} \text{ J}. \text{ Hiervon muss } W_A \text{ abgezogen werden.}$$

$$W_{\text{max}} \approx 1,7867 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{1}{2} m v^2. \Rightarrow v \approx 626308 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,2\% \cdot c.$$

- (4) Der zeitliche Verlauf der Spannung am Kondensator $U(t)$ bis zum Erreichen der gemessenen Spannung U wird bei zwei verschiedenen Wellenlängen $\lambda_1 < \lambda_2$ und zwei unterschiedlichen Blendenöffnungen $d_1 < d_2$ dargestellt (Abb.2). Ordne den dargestellten Kurven die Wellenlängen λ_1 bzw. λ_2 und die Blendenöffnungen d_1 bzw. d_2 begründet zu!

(b) und (c) entstehen bei gleicher Wellenlänge, aber unterschiedlicher Intensität, da die selbe Energie erreicht wird, aber unterschiedlich schnell; (b) erreicht die Maximalspannung später als (c)! Sie gehören zu λ_1 , da $\lambda_1 < \lambda_2 \Rightarrow h \cdot f_1 > h \cdot f_2$. (b) gehört wegen des langsameren Anstiegs zur geringeren Intensität, also zur kleineren Blende d_1 .

(c) gehört zu d_2 ; große Intensität, schneller Anstieg.

(a) gehört zu λ_2 , da $\lambda_1 < \lambda_2 \Rightarrow h \cdot f_1 > h \cdot f_2$; die erreichbare Spannung ist wegen der geringeren Photonenenergie geringer. Die Blende ist vermutlich d_1 ; der Verlauf ähnelt dem Verlauf von (b). Für eine genauere Aussage fehlt ein Vergleich mit identischer Maximalspannung.

2. Aufgabe

- (1) Zeige, dass zwischen λ_{min} und $\frac{1}{U_A}$ ein proportionaler Zusammenhang besteht und bestimme die Proportionalitätskonstante k !

Um die geforderte Proportionalität hinreichend zu zeigen, muss der Kehrwert von U_A , also $\frac{1}{U_A}$ auf die x-Achse und λ auf die y-Achse!

$$\lambda \rightarrow L1; U_A \rightarrow L2; \frac{1}{U_A} \rightarrow L3; [\lambda] = \text{m}; [U_A] = \text{V}$$

$$\text{LinReg (L3, L1, ...): } y = 1,1799 \cdot 10^{-6} \cdot x \quad \underbrace{-4,1 \cdot 10^{-12}}_{\text{entfällt, da Nullpunktfehler}}$$

$$\text{physikalisch: } \lambda = \underbrace{1,1799 \cdot 10^{-6} \text{ mV}}_{=k!} \cdot \frac{1}{U_A}$$

- (2) Leite begründet her: $k = \frac{h \cdot c}{e}$!

(h : Planck-Konstante, c : Lichtgeschwindigkeit, e : Elementarladung)

$$\text{Zu zeigen: } \lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{U_A} !$$

Günstigstenfalls wird die gesamte kinetische Energie des Elektrons eU_A in Bremsstrahlung $hf = h \frac{c}{\lambda_{\min}}$ umgewandelt, also zu Röntgenstrahlung maximaler Frequenz und damit minimaler Wellenlänge.

$$eU_A = hf = h \frac{c}{\lambda_{\min}} \Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{hc}{e \cdot U_A} \Rightarrow k = \frac{hc}{e}.$$

(3) Bestimme die prozentuale Abweichung des experimentell gefundenen Wertes für k vom theoretischen!

$$k_{\text{exp}} = 1,1799 \cdot 10^{-6} \text{ mV}; k_{\text{theo}} = 1,2398 \cdot 10^{-6} \text{ mV}. \Delta = \frac{k_{\text{exp}} - k_{\text{theo}}}{k_{\text{theo}}} \approx -4,8\%.$$

(4) Aus (1) und (2) folgt: $\lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U_A}$. Wie könnte man mit diesem Zusammenhang und den Messwerten

(Tab.2) die Planck-Konstante h bestimmen?

Wenn man $\lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U_A}$ umformt in $e \cdot U_A = \frac{h \cdot c}{\lambda_{\min}} = h \cdot f_{\max}$, kann man $e \cdot U_A$ auf der y-Achse und

f_{\max} auf der x-Achse darstellen. Man erhält eine Ursprungsgerade mit der Steigung $m = h$. Am besten lässt sich hierzu wieder der GTR einsetzen mit entsprechender Listenbelegung. Eine lineare Regression sollte einen guten Wert für das Plancksche Wirkungsquantum liefern.