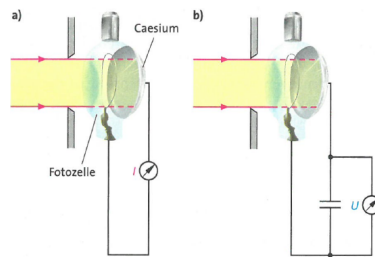


Übungen zur Theoretischen Physik 3 für das Lehramt L3 Lösungen zu Blatt 1

Aufgabe 1 [10 Punkte]: Photoeffekt

In dem unten gezeigten Versuch zum Photoeffekt fällt Licht von einer Quecksilberdampfampe durch verschiedene Filter, die jeweils nur Licht mit den Wellenlängen $\lambda_1 = 546 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 436 \text{ nm}$ und $\lambda_3 = 405 \text{ nm}$ durchlassen. Das Plancksche Wirkungsquantum ist $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$. Die Austrittsarbeit von Cs ist $1,87 \text{ eV}$.

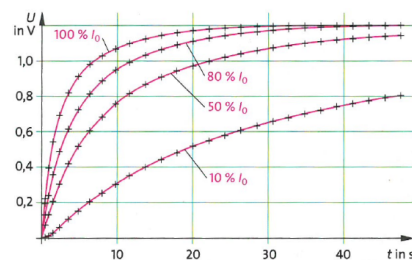
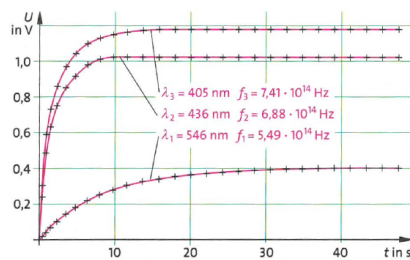


- (a) (2 Punkte) Wir betrachten zuerst den Versuchsaufbau (a): Licht von einer Quecksilberdampfampe fällt auf eine Photozelle mit aus Cäsium bestehender Anode und Kathode. Es werde bei diesem Aufbau der Strom I_0 gemessen. Erläutern Sie, wie im Photonenbild der gemessene Photostrom I_0 mit der Intensität des einfallenden Lichtes zusammenhängt.

Lösung: Die Lichtintensität ist durch die Energiestromdichte des elektromagnetischen Feldes bestimmt, also durch die Strahlungsenergie, die pro Zeiteinheit pro Fläche auf die Photokathode trifft. Im Photonenbild ist sie durch die Anzahl der Photonen pro Zeiteinheit und Fläche bestimmt. Die Anzahl der pro Zeiteinheit ausgelösten Elektronen und damit I_0 ist proportional zu dieser Photonenanzahl.

- (b) (3 Punkte) Wenden wir uns nun dem Versuchsaufbau (b) zu. Wie der folgende Plot (links) zeigt, lädt sich der Kondensator durch den Photostrom auf eine Maximalspannung U_{max} auf. Mittels Filtern wird dabei Licht mit den angegebenen Wellenlängen λ verwendet. Erklären Sie die gemessenen Werte von U_{max} .

Lösung: Der Ladestrom kommt zum Erliegen, wenn die kinetische Energie der aus der Kathode ausgelösten Elektronen der potentiellen Energie entspricht, die das Elektron benötigt, um auf die Anode zu treffen. Wie im Skript erläutert ist bei der entsprechenden Energiebilanz zu beachten, dass $hf = E_{\text{kin}} + \Phi_K$ ist und beim Eintritt des Elektrons in die Anode die entsprechende Austrittsarbeit Φ_A frei wird d.h. $eU_{\text{max}} = hf - \Phi_A$. Für die oben angegebenen Werte erhält man recht gut die im Plot gezeigten Maximalspannungen (der Wert für $\lambda = 436 \text{ nm}$ weicht allerdings etwas ab).



- (c) (5 Punkte) Wir betrachten nun den zeitlichen Verlauf der Aufladung des Kondensators, d.h. wir suchen die im Plot gezeigte Funktion $U(t)$. Beachten Sie dazu, dass die momentan im Kondensator gespeicherte Energie $E(t) = C U^2(t)/2$ ist, wobei C die Kapazität des Kondensators ist. Begründen Sie nun, warum aufgrund des Energieerhaltungssatzes die Energieänderung pro Zeiteinheit durch

$$\dot{E} = C U \dot{U} = I_0 (U_{\max} - U) \quad (1)$$

gilt, wobei I_0 der in Aufgabenteil (a) erwähnte Photostrom ist.

Lösung: Der Photostrom an der Kathode ist durch die Lichtintensität vorgegeben, d.h. die Energie pro Zeiteinheit der an der Kathode ausgelösten Elektronen ist durch $I_0 U_{\max}$ gegeben. Jedes dieser Elektronen läuft aber gegen das elektrische Feld im auf die Spannung U aufgeladenen Kondensator an, d.h. pro Zeiteinheit verlieren diese Elektronen die Energie $I_0 U$.

- (d) (3 Zusatzpunkte) Lösen Sie die eben aufgestellte Differentialgleichung und vergleichen Sie das Resultat (qualitativ) mit dem obigen rechten Plot, wo die „Ladepkurven“ für verschiedene Lichtintensitäten bzw. entsprechende Ladeströme I_0 gezeigt werden.

Bemerkung: Sie können die Lösung nur in „impliziter Form“ $t = t(U)$ erhalten. Eine Auflösung nach U ist mit „elementaren Funktionen“ nicht möglich.

Lösung: Durch Trennung der Variablen erhält man

$$\int_0^U dU' \frac{U'}{U_{\max} - U'} = \frac{I_0}{C} \int_0^t dt' = \frac{I_0 t}{C}. \quad (2)$$

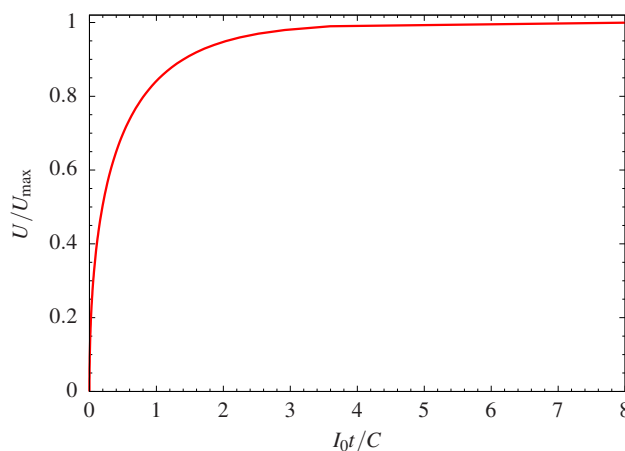
Das Integral auf der linken Seite berechnet sich einfach wie folgt

$$\int_0^U dU' \frac{U' - U_{\max} + U_{\max}}{U_{\max} - U'} = \int_0^U dU' \left(-1 + \frac{U_{\max}}{U_{\max} - U'} \right) = -U - U_{\max} \ln \left(\frac{U_{\max} - U}{U_{\max}} \right). \quad (3)$$

Wir erhalten also als implizite Lösung

$$\frac{I_0 t}{C} = U_{\max} \ln \left(\frac{U_{\max}}{U_{\max} - U} \right) - U. \quad (4)$$

Der entsprechende Plot gibt den zeitlichen Verlauf zumindest qualitativ gut wieder:



Homepage zu Vorlesung und Übungen:

<https://itp.uni-frankfurt.de/~hees/theo3-13-WS2425/index.html>