

Physik-Marathon 2023

– Aufgabe 13/20 –



(04. September – 10. September)

In einem historischen Experiment zur Bestimmung des PLANCKSchen Wirkungsquantums h wurde eine Metalloberfläche mit Licht unterschiedlicher Wellenlänge bestrahlt. Die maximale Energie der emittierten Photoelektronen wird mithilfe eines elektrischen Gegenfeldes gemessen. Die Gegenspannung wird dabei so eingestellt, dass der gemessene Strom gerade so Null wird.

Folgende Tabelle enthält drei Messpunkte für die Wellenlänge (λ) und die entsprechende Gegenspannung (U_0):

λ (μm)	U_0 (Volt)
0,3	2,0
0,4	1,0
0,5	0,4

Bekannt seien weiterhin die Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ und die Elementarladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Berechne aus diesen Werten das PLANCKSche Wirkungsquantum in SI-konformen Einheiten!

 **Lösung** und **Punktverteilung** auf der Rückseite.

Lösung:

Die dem äußeren lichtelektrischen Effekt zugrunde liegende EINSTEIN-Gleichung lautet:

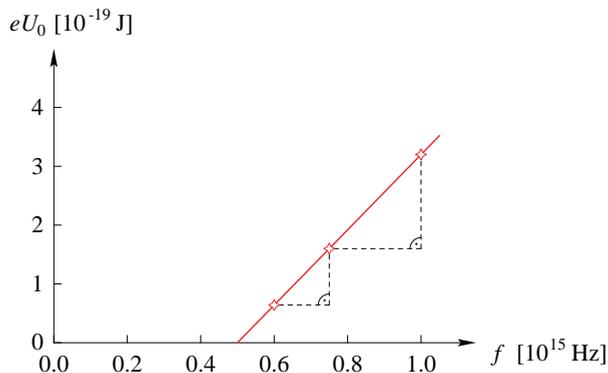
$$hf = eU_0 + W_a \quad \Leftrightarrow \quad eU_0 = hf - W_a, \quad (1)$$

wobei $f = \frac{c}{\lambda}$ die Frequenz des eingestrahlt Lichts und W_a die Austrittsarbeit (Ablösearbeit) der Photoelektronen aus dem Metall ist.

Die vorgegebene Tabelle lässt sich also noch um die Spalten f und eU_0 erweitern:

λ (μm)	f (10^{15} Hz)	U_0 (Volt)	eU_0 (10^{-19} J)
0,3	1,0	2,0	3,2
0,4	0,75	1,0	1,6
0,5	0,6	0,4	0,64

Üblicherweise werden nun die Messpunkte in folgendem Diagramm dargestellt:



Nach (1) wird also eine Gerade mit dem Anstieg h erwartet, die wegen $W_a > 0$ nicht durch den Ursprung geht. Für die drei Messpunkte muss also noch überprüft werden, ob sie tatsächlich auf einer Geraden liegen (falls das nicht der Fall ist, wäre die Aufgabe nicht ganz korrekt gestellt, weil dann nicht klar ist, ob die Ausgleichsgerade oder eine Gerade durch zwei der drei Punkte zu nehmen ist). Dazu kann der Anstieg zwischen den beiden unteren Punkten berechnet werden,

$$h_1 = \frac{1,6 - 0,64}{0,75 - 0,6} \cdot 10^{-34} \text{ J s} = 6,4 \cdot 10^{-34} \text{ J s},$$

und der zwischen den beiden oberen Messpunkten

$$h_2 = \frac{3,2 - 1,6}{1,0 - 0,75} \cdot 10^{-34} \text{ J s} = 6,4 \cdot 10^{-34} \text{ J s}.$$

Auf den Nachweis, dass, wenn zwei Anstiege gleich sind, dann ebenfalls der dritte Anstieg denselben Wert hat, wird verzichtet. Beide Anstiege sind hier also in der Tat gleich, sodass folgt:

$$h = \mathbf{6,4 \cdot 10^{-34} \text{ J s}}. \quad (2)$$

Bemerkungen:

1. Die Austrittsarbeit W_a der Elektronen aus dem Metall muss in (1) berücksichtigt werden, auch wenn sie zur Bestimmung von h in dieser Aufgabe nicht explizit gebraucht wird. Es ist

also falsch, wenn behauptet wird, dass $E(f) \sim f$ gilt (die Gerade ginge dann ja durch den Ursprung). Trotzdem hätten beide Geraden den gleichen Anstieg, nur darauf kommt es ja in der weiteren Rechnung an.

Wenn somit W_a gänzlich unberücksichtigt bleibt oder (1) nicht in der obigen Form benutzt wird, trotzdem aber richtige Ergebnisse herauskommen, führt dies zu 0,2 Punkten Abzug.

2. Die Aufgabenstellung beinhaltet immerhin drei Messwertpaare, die allesamt zu berücksichtigen sind. Es sollte also tatsächlich in einer vollständigen Lösung untersucht werden, welche Anstiege hier möglich sind. Werden zwei Anstiege per Ausrechnen als gleich erkannt, ist zwangsläufig auch der dritte gleich. Wird ein sauber gezeichnetes Diagramm gezeigt, aus dem klar zu erkennen ist, dass alle drei Messpunkte auf einer Geraden liegen, wird dies ebenfalls akzeptiert. Aber nur *einen* Anstieg aus nur einem Messwertepaar auszurechnen, um ihn als Ergebnis zu präsentieren, wird hier als zu wenig erachtet und führt zu 0,2 Punkten Abzug.

Punktverteilung:

- nur 0,8 Punkte, wenn die Ablösearbeit unberücksichtigt blieb, aber die weitere Rechnung auf das richtige Ergebnis führt (s. Bemerkung 1 oben)
- nur 0,8 Punkte, wenn nur ein richtiger Anstieg berechnet wurde (s. Bemerkung 2 oben)
- nur 0,6 Punkte, wenn Bemerkung 1 und 2 zutreffen
- 0,1 Punkte Abzug, wenn die Maßeinheit von h vergessen wurde oder die Zehnerpotenz falsch ist
- kommen drei völlig verschiedene (falsche) Ergebnisse heraus, gibt es 0,0 Punkte