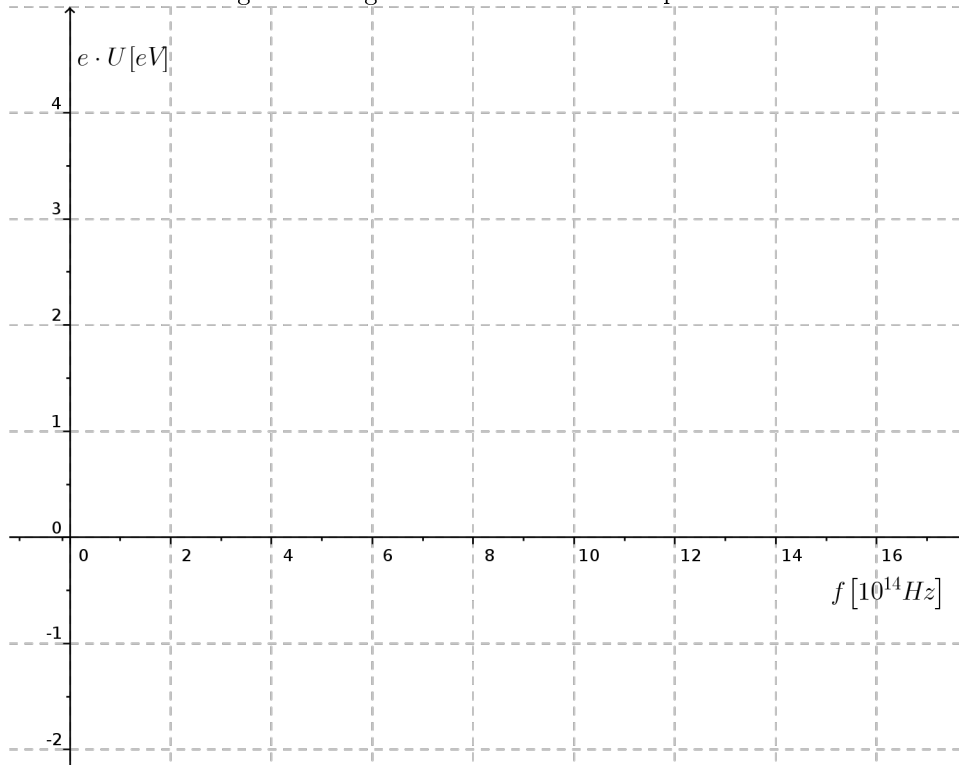


Der Photoeffekt

Eine Photozelle mit einer Caesium-Kathode ($W_A = 1,94\text{eV}$) wird mit Licht verschiedener Wellenlängen bestrahlt ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s} = 4,135 \cdot 10^{-15}\text{eV} \cdot \text{s}$).

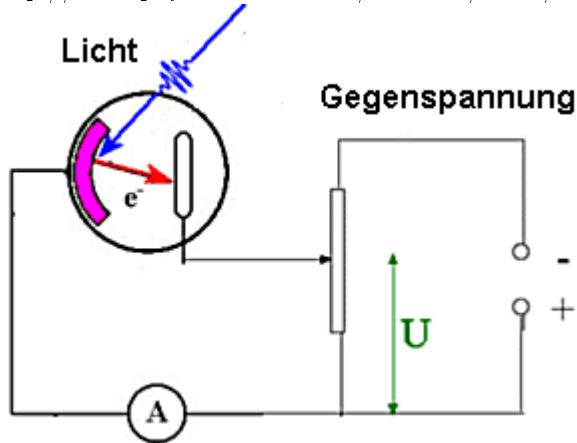
1. Beschreiben Sie den Aufbau eines Versuchs, bei dem eine Spannung U gemessen wird, aus der das Plancksche Wirkungsquantum und die Austrittsarbeit bestimmt werden können.
2. Skizzieren Sie in folgendes Diagramm die aus diesem Experiment resultierende Kurve:



3. Das Experiment wird nun mit Licht der Frequenz $f = 1,4 \cdot 10^{15}\text{Hz}$ durchgeführt, der einfallende Lichtstrahl habe eine Intensität von 100 W/m^2 .
 - (a) Wie groß ist die Energie eines jeden einzelnen Photons?
 - (b) Welche Energie trifft pro Sekunde auf eine Fläche von 1cm^2 ? Wie viele Photonen sind dies?
 - (c) Zeigen Sie mittels zweier expliziter Rechnungen (relativistisch und klassisch), dass für diesen Fall die relativistische Massenzunahme des Elektrons keine Rolle spielt (Ruheenergie des Elektrons: $m_e c^2 \approx 511\text{keV}$)!

Lösung

1. Bild und Text (für den ersten Aufgabenteil) stammen von <http://www.physik.tu-berlin.de/institute/IFFP/amos/Subsites/themenseiten/photoeffekt/photoeffektindex.html>



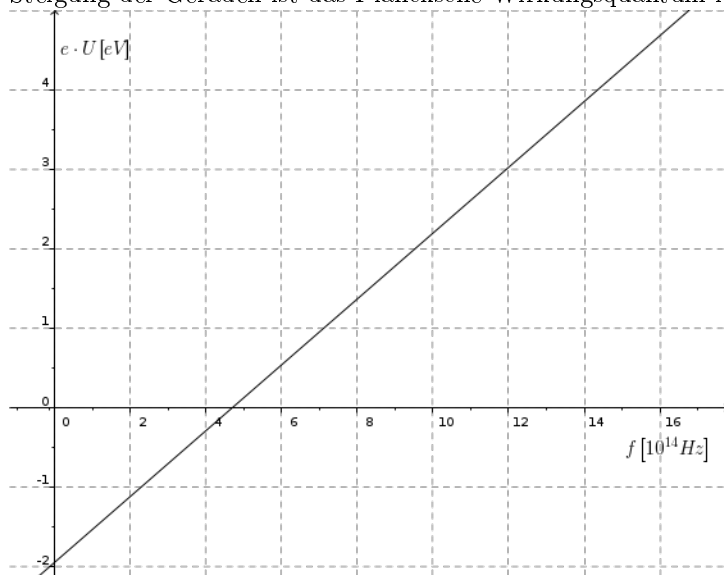
In einem evakuierten Gaskolben befindet sich eine Metallplatte (Photokathode, im Bild rosa eingefärbt) und gegenüberliegend eine ringförmige Anode. Wird nun die Kathode mit Licht bestrahlt, werden Elektronen aus dem Metall herausgelöst und gelangen zur Anode. Dort können sie mit einem Amperemeter A als Anodenstrom nachgewiesen werden. Um die Energie der emittierten Elektronen zu ermitteln kann zwischen Kathode und Anode eine Gegenspannung angelegt werden. Mit dieser Spannung kann die maximale kinetische Energie der emittierten Elektronen bestimmt werden, es gilt

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU.$$

Nach der Photonenhypothese und Einsteins Erklärung des Photoeffekts resultiert diese kinetische Energie aus der Absorption eines einzelnen Photons der Energie $h \cdot f$ abzüglich der Austrittsarbeit W_A , also

$$eU = hf - W_A.$$

2. Die resultierenden Messwerte liegen auf einer Geraden; der y-Achsenabschnitt entspricht der Austrittsarbeit in eV, die Nullstelle entspricht der Frequenz, ab der Photonen emittiert werden (Schwelfrequenz) und die Steigung der Geraden ist das Plancksche Wirkungsquantum in $eV \cdot s$.



3. Für die gegebene Werte erhält man:

(a) Jedes Photon trägt die Energie $E_{ph} = hf = 1,4 \times 10^{15} \frac{1}{s} \cdot 4,135 \cdot 10^{-15} eV \cdot s \approx 5,8 eV = 9,3 \times 10^{-19} J$

- (b) Die auffallende Energie beträgt $E_{abs} = I \cdot A = 100 \frac{W}{m^2} \cdot 0,0001 m^2 \cdot 1 s = 0,01 J$. Dies sind $N = E_{abs}/E_{ph} = \frac{10^{-2} J}{9,3 \times 10^{-19} J} \approx 1,1 \times 10^{16}$ Photonen.
- (c) Ein bei dieser Frequenz emittiertes Elektron hat eine kinetische Energie von $E_{kin} = 5,789 eV - 1,94 eV \approx 3,85 eV$.

i. klassisch bestimmt man diese Geschwindigkeit mittels folgender Rechnung

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m_e v^2 &= \frac{1}{2} m_e c^2 \frac{v^2}{c^2} \\ \left(\frac{v}{c}\right) &= \sqrt{\frac{2 \cdot E_{kin}}{m_e c^2}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 3,85 eV}{511000 eV}} \\ &\approx 0,0039. \end{aligned}$$

Bereits aus diesem Wert ist ersichtlich, dass in diesem Fall relativistische Effekte keine Rolle spielen werden.

ii. relativistisch ist die kinetische Energie aus der Differenz der Gesamt- und der Ruheenergie bestimmt:

$$\begin{aligned} E_{kin} &= mc^2 - m_e c^2 \\ &= (\gamma - 1) m_e c^2, \end{aligned}$$

woraus folgt:

$$\begin{aligned} (\gamma - 1) m_e c^2 &= E_{kin} \\ \gamma &= \frac{E_{kin}}{m_e c^2} + 1 \\ \gamma &\approx 1,0000075 \end{aligned}$$

und mit $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$

$$\begin{aligned} \left(\frac{v}{c}\right) &= \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} \\ &= 0,0039. \end{aligned}$$

Es ergibt sich also derselbe Wert wie in der klassischen Betrachtung.