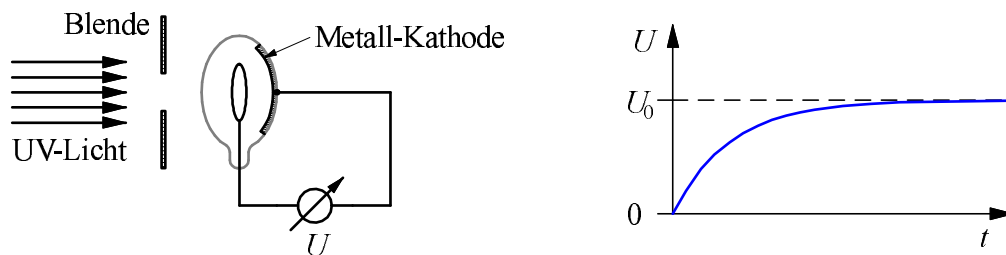


## 1. Photoeffekt

1888 bestrahlte W. Hallwachs eine geladene, auf einem Elektroskop sitzende Metallplatte mit UV-Licht.

- 3 BE a) Aus welchen Beobachtungen konnte Hallwachs folgern, dass bei der Lichteinstrahlung nur negative Ladungsträger aus dem Metall austreten?

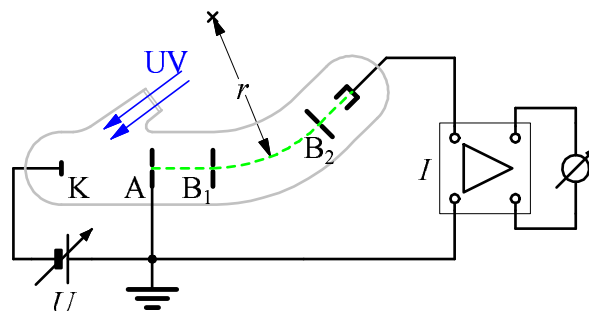
Die skizzierte Vakuumphotozelle wird über ein extrem hochohmiges Voltmeter kurzgeschlossen. Nach dem Einschalten der Beleuchtung registriert man den dargestellten Spannungsverlauf.



- 6 BE b) Erkläre das Zustandekommen des Spannungsverlaufs.
- 4 BE c) Wie verändern sich  $U_0$  und die Anfangssteigung der  $t$ - $U$ -Kurve, wenn man bei unveränderter Wellenlänge die Intensität der Bestrahlung erhöht? (Begründung!)
- 4 BE d) Berechne  $U_0$ , falls als Kathodenmaterial Kupfer verwendet wird, und das einfallende Licht monochromatisch von der Wellenlänge  $\lambda = 40,0 \text{ nm}$  ist.

## 2. Versuch nach Lenard

Durch einen Versuch nach Lenard (1900) kann man Rückschlüsse ziehen, welche Art von Ladungsträgern beim lichtelektrischen Effekt aus dem Metall ausgelöst werden. Man bestrahlt eine metallische Kathode K mit UV-Licht und beschleunigt die austretenden Ladungsträger mittels der Spannung  $U$  gegen eine Lochanode A. Der Teilchenstrahl durchläuft anschließend in einem homogenen magnetischen Feld der Flussdichte  $B = 0,300 \text{ mT}$  den Teil einer Kreisbahn mit Radius  $r = 0,800 \text{ m}$ . Bei  $U = 5,00 \text{ kV}$  registriert der Messverstärker einen maximalen Strom vom Faraday-Becher her.



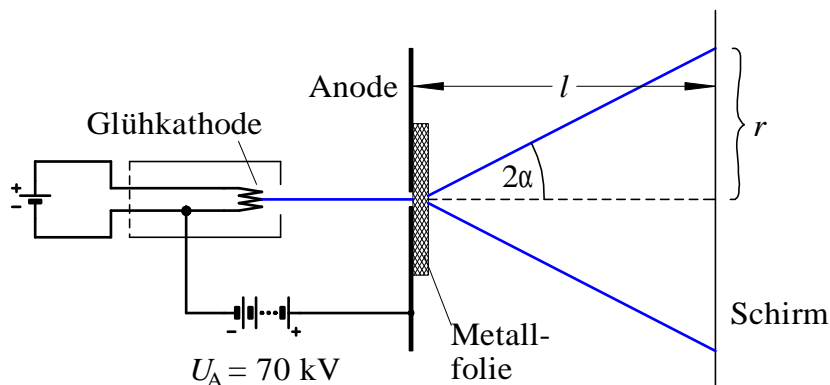
- 6 BE a) Zeige, dass die Ladungsträger (Masse  $m$ , Ladung  $q$ ) nur dann in den Faraday-Becher gelangen können, wenn die Anodenspannung  $U$  die nachfolgende Gleichung erfüllt:

$$2Um = qB^2r^2$$

- 5 BE b) Identifiziere anhand dieser Gleichung und der gegebenen Größen die Teilchenart.

## 3. Elektronenbeugung

Elektronen werden durch eine Spannung von 70,0 kV beschleunigt. Der Elektronenstrahl wird auf eine Metallfolie gelenkt, welche sich unmittelbar hinter der als Lochblende ausgeführten Anode befindet.



Im Abstand  $l = 60$  cm hinter der Folie befindet sich parallel zu ihr ein Leuchtschirm. Darauf kann man konzentrische helle Kreise beobachten, deren kleinster einen Radius von  $r = 7,4$  mm aufweist.

- 6 BE a) Zeige, dass die Elektronen nach Durchlaufen der Spannung einen Impuls von  $1,47 \cdot 10^{-22}$  N s besitzen.
- 8 BE b) Erkläre das Zustandekommen der Kreisringe anhand aussagekräftiger Skizzen.
- 8 BE c) Bestimme mittels Berechnungen ein mögliches Material der Metallfolie.

| Material                                  | Aluminium | Kupfer | Nickel |
|---|-----------|--------|--------|
| Größter Netzebenenabstand in $10^{-10}$ m | 4,05      | 3,61   | 2,15   |

## 1. Photoeffekt

- 3 BE a) Die Metallplatte wird einmal positiv und einmal negativ geladen. Die positiv geladene Platte entlädt sich im Gegensatz zur negativ geladenen kaum. Als treten wohl nur negative Ladungen aus.
- 6 BE b) Aus der Kathode treten nach Einschalten der Beleuchtung Elektronen aus, so dass diese allmählich positiv geladen wird. Einige der austretenden Elektronen gelangen zur Ringanode und laden diese negativ auf. Zwischen den beiden Elektroden baut sich demnach eine Spannung auf, die diesem Vorgang entgegenwirkt, da die Elektronen von der Ringanode abgestoßen werden. Nur noch die schnellsten austretenden Elektronen mit der richtigen Richtung gelangen schließlich zur Anode. Die Spannung geht also in die Sättigung.
- 4 BE c) Bei Erhöhung der Lichtintensität steigt die Anzahl der pro Zeiteinheit austretenden Elektronen. Die Spannung geht schneller in die Sättigung. Die maximale Geschwindigkeit der Elektronen ändert sich nicht, da sie nur von der Wellenlänge abhängt. Somit bleibt  $U_o$  wie bisher. Die anfängliche Steigung ist deshalb größer.
- 4 BE d) geg.:  $\lambda = 40,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

Austrittsarbeit für Kupfer:

$$W_a = 4,84 \text{ eV}$$

Energie der Photonen:

$$\begin{aligned} E_{\text{Ph}} &= hf = \frac{hc}{\lambda} \\ &= \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{40,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 31,05 \text{ eV} \end{aligned}$$

Maximale Energie der Photoelektronen:

$$E_e = E_{\text{Ph}} - W_a = 31,05 \text{ eV} - 4,84 \text{ eV} = 26,2 \text{ eV}$$

Die Spannung beträgt dann

$$U_o = 26,2 \text{ V}$$

## 2. Versuch nach Lenard

geg.:  $U = 5000 \text{ V}$ ,  $r = 0,800 \text{ m}$ ,  $B = 0,300 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ 

- 6 BE a)

$$\begin{aligned} F_Z &= F_L \\ \frac{mv^2}{r} &= qvB \\ mv &= qBr \end{aligned}$$

Mit

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv^2 &= Uq \\ v &= \sqrt{\frac{2Uq}{m}} \end{aligned}$$

folgt

$$\begin{aligned} m\sqrt{\frac{2Uq}{m}} &= qBr \\ \sqrt{2Uqm} &= qBr \\ 2Uqm &= q^2B^2r^2 \\ 2Um &= qB^2r^2 \end{aligned}$$

5 BE b) Löse auf nach  $\frac{q}{m}$

$$\begin{aligned} 2Um &= qB^2r^2 \\ \frac{q}{m} &= \frac{2U}{B^2r^2} = \frac{2 \cdot 5000 \text{ V}}{(0,300 \cdot 10^{-3} \text{ T})^2 \cdot (0,800 \text{ m})^2} \\ &= 1,74 \cdot 10^{11} \frac{\text{A s}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Die Übereinstimmung mit  $\frac{q}{m}$  für Elektronen:

$$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{A s}}{\text{kg}}$$

legt nahe, dass es sich um Elektronen handelt.

### 3. Elektronenbeugung

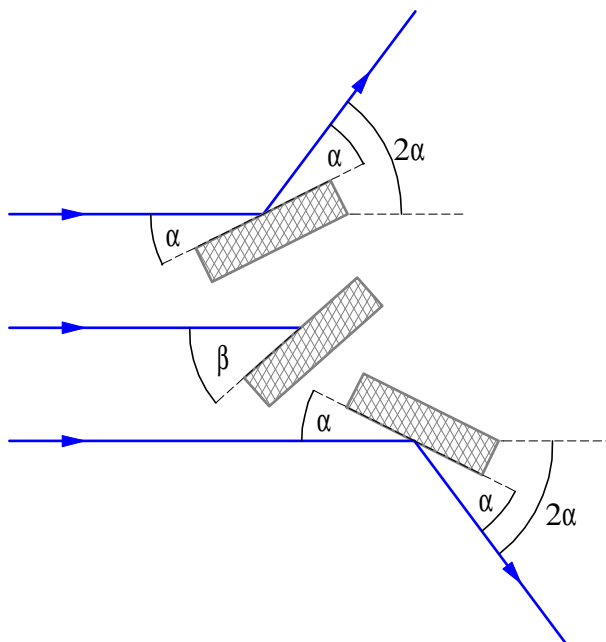
geg.:  $U = 70,0 \text{ kV}$ ,  $\ell = 0,60 \text{ m}$ ,  $r = 7,4 \text{ mm} = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

6 BE a) Energie-Impulsbeziehung für die Elektronen:

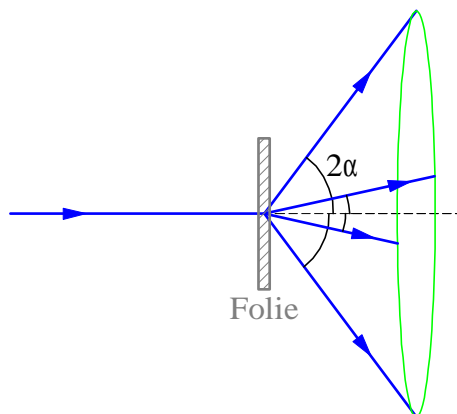
$$\begin{aligned} E_{\text{ges}}^2 &= E_o^2 + p^2c^2 \\ p &= \frac{1}{c}\sqrt{E_{\text{ges}}^2 - E_o^2} = \frac{1}{c}\sqrt{(E_{\text{kin}} + E_o)^2 - E_o^2} = \frac{1}{c}\sqrt{E_{\text{kin}}^2 + 2E_oE_{\text{kin}}} \\ &= \frac{1}{c}\sqrt{E_{\text{kin}}(E_{\text{kin}} + 2E_o)} = \frac{1}{3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}\sqrt{70,0(70,0 + 2 \cdot 511) \cdot 1000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \\ &= 1,47 \cdot 10^{-22} \text{ N s} \end{aligned}$$

8 BE b) Die Elektronen treffen in der Folie auf sehr viele Kristallite in den unterschiedlichsten Ausrichtungen. Es sind immer sehr viele dabei, bei denen sie unter einem Glanzwinkel  $\alpha$  auftreffen, welcher die Bragg-Bedingung für eine konstruktive Interferenz erfüllt. Diese Kristallite streuen die Elektronen um den Winkel  $2\alpha$  aus

der ursprünglichen Richtung.



Die gestreuten Elektronen befinden sich daher alle auf einem Kegel mit Spitze im Streuzentrum und Öffnungswinkel  $4\alpha$ .



Auf dem Schirm sieht man den Schnitt des Kegels mit der Schirmebene, also in unserem Fall einen Kreis. Für die verschiedenen Netzebenenabstände und die verschiedenen Ordnungen ergeben sich unterschiedliche Kreisradien.

8 BE

c) De-Broglie-Wellenlänge der Elektronen

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s}}{1,47 \cdot 10^{-22} \frac{\text{kg m}}{\text{s}}} = 4,50 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Ablenkwinkel  $2\alpha$  :

$$\tan 2\alpha = \frac{r}{l} = \frac{7,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,60 \text{ m}} = 1,23 \cdot 10^{-2}$$

$$2\alpha = \arctan(1,23 \cdot 10^{-2}) \cdot \frac{180}{\pi} = 6,1497 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha = 0,352^\circ$$

Die Strahlen werden um den Winkel  $2\alpha$  abgelenkt, wobei  $\alpha$  der Bragg-Beziehung genügt:

$$2d \sin \alpha = k\lambda$$

$$d = \frac{k\lambda}{2 \sin \alpha} = \frac{1 \cdot 4,47 \cdot 10^{-12} \text{ m}}{2 \cdot \sin 0,352^\circ} = 3,63 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Die Folie ist damit wohl aus Kupfer.