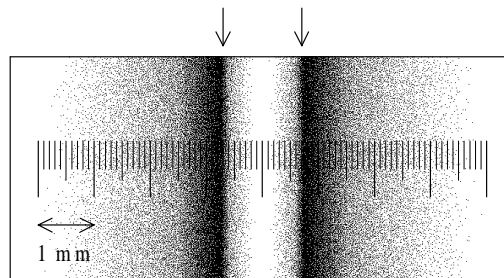


1. Versuch nach Stern

12 BE

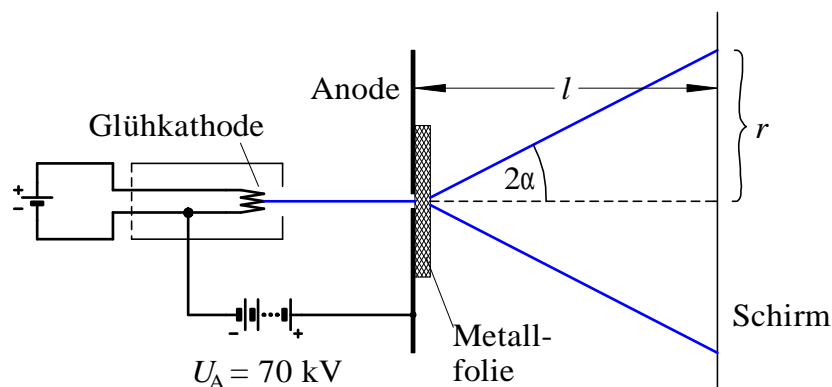
Die kinetische Deutung der Temperatur wird durch den Sternschen Atomstrahl-Versuch von 1920 gestützt. Bei einem Versuch nach Stern mit versilbertem Platindraht beträgt der Abstand des Schirmes vom Draht $R = 6,0 \text{ cm}$, die Blende befindet sich exakt in der Mitte zwischen Draht und Schirm. Die Anordnung rotiert mit 40 Umdrehungen pro Sekunde. Auf dem Schirm entsteht folgendes Bild:



Berechne die Temperatur des Drahtes aus den gegebenen Daten und obigem Schwärzungsbild. Gehe davon aus, dass die eingetragenen Pfeile die zu $\sqrt{v^2}$ gehörigen Schwärzungsstellen markieren. (Zwischenergebnis: $\sqrt{v^2} = 650 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

2. Elektronenbeugung

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



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

6 BE

a) Zeige, dass die Elektronen durch die Spannung auf eine Geschwindigkeit von $1,43 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ beschleunigt werden.

5 BE

b) Erkläre das Zustandekommen der Kreisringe anhand aussagekräftiger Skizzen.

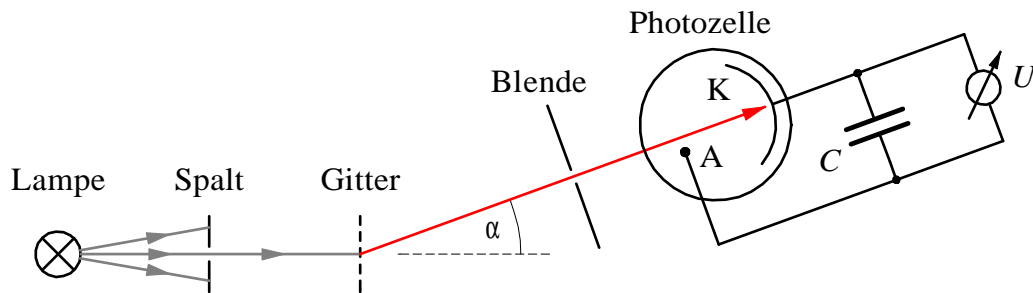
12 BE

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

3. Experimente mit der Vakuumphotozelle

Das Licht einer Quecksilberhochdrucklampe wird durch ein senkrecht im Strahlengang stehendes Strichgitter spektral zerlegt. Eine Blende filtert einen kleinen Wellenlängenbereich heraus, bevor das Licht auf die Kathode einer Photozelle trifft. Blende und Photozelle sind dazu drehbar auf einem Schwenkarm angebracht, dessen Drehachse durch die Symmetrieachse des Gitters verläuft. Das Gitter weist 600 Striche pro mm auf.



Das Quecksilberlicht enthält u. a. folgende Farben:

Farbe	UV	violett	blau	grün	gelb
Wellenlänge in nm	366	405	436	546	578

- 4 BE a) Um welchen Winkel α muss man den Schwenkarm drehen, um für die UV-Linie das Maximum erster Ordnung auf die Photozelle zu lenken?
- 2 BE b) Wie könnte man im Experiment überprüfen, ob das UV-Licht auf die Photozelle trifft, ohne diese in Betrieb zu nehmen?

Durch Beleuchten der Photozelle mit den oben genannten Spektralfarben stellen sich am Kondensator folgende Spannungen ein:

Farbe	UV	violett	blau	grün	gelb
Spannung in V	1,62	1,38	1,10	0,56	0,46

- 4 BE c) Begründe, wie es zu diesen Spannungen kommt.
- 8 BE d) Zeichne das f - U -Diagramm und bestimme damit die Plancksche Konstante (in der Einheit eV s)
- 2 BE e) Bestimme die Grenzwellenlänge λ_0 der verwendeten Photoschicht. Welche physikalische Bedeutung hat sie?
- 5 BE f) Bei einem **anderen Kathodenmaterial** der Photozelle beträgt die Grenzwellenlänge $\lambda'_0 = 345$ nm. Welche Austrittsarbeit W'_0 berechnet sich daraus für dieses Material?

1. Versuch nach Stern

12_{BE}Abstand der Schwärzungslinien von der Mittellinie: $\Delta s = \frac{1}{2} \cdot 1,4 \text{ mm} = 0,70 \text{ mm}$.Zeit Δt für den Weg Blende-Schirm $l = \frac{R}{2}$:

$$\Delta t = \frac{l}{v} = \frac{R}{2v}.$$

Für die Ablenkung Δs kann folgende Proportion aufgestellt werden

$$\frac{\Delta s}{2\pi R} = \frac{\Delta t}{T},$$

$$\frac{\Delta s}{2\pi R} = \Delta t \cdot f.$$

Mit $\Delta t = \frac{R}{2v}$:

$$\frac{\Delta s}{2\pi R} = \frac{R}{2v} \cdot f,$$

$$v = \frac{2\pi R^2 f}{2\Delta s} = \frac{\pi R^2 f}{\Delta s} = \frac{\pi \cdot (0,060 \text{ m})^2 \cdot 40 \frac{1}{\text{s}}}{7,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}} = 646 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Die Temperatur erhält man für $\overline{v^2} = v^2$ und der Massezahl für Silber von $A = 108$ mittels:

$$E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} kT,$$

$$T = \frac{2E_{\text{kin}}}{3k} = \frac{2 \cdot \frac{1}{2} m \overline{v^2}}{3k} = \frac{mv^2}{3k} = \frac{108 \text{ u} \cdot v^2}{3k}$$

$$= \frac{108 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot \left(646 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ K} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Elektronenbeugung

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

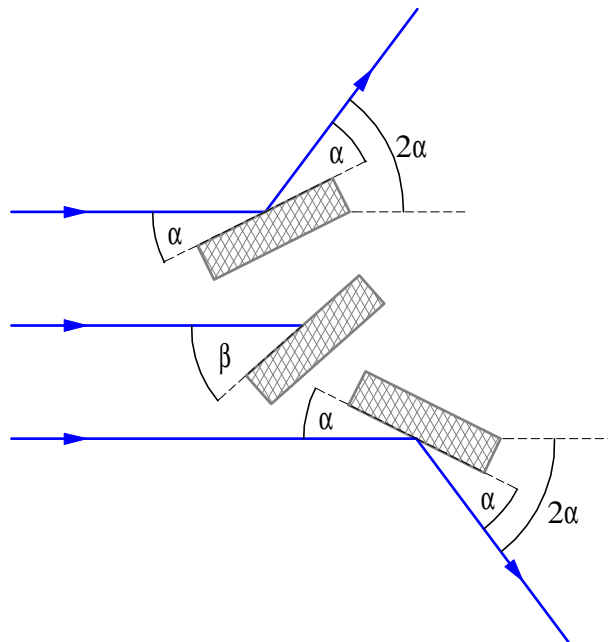
6 BE

a) Geschwindigkeit der Elektronen aus der Energiebilanz:

$$\begin{aligned}
 E_0 + E_{\text{kin}} &= \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\
 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} &= \frac{E_0}{E_0 + E_{\text{kin}}} \\
 1 - \frac{v^2}{c^2} &= \left(\frac{E_0}{E_0 + E_{\text{kin}}} \right)^2 \\
 \frac{v^2}{c^2} &= 1 - \left(\frac{E_0}{E_0 + E_{\text{kin}}} \right)^2 \\
 v &= \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E_0 + E_{\text{kin}}} \right)^2} \cdot c = \sqrt{1 - \left(\frac{511 \text{ keV}}{511 \text{ keV} + 70,0 \text{ keV}} \right)^2} = 0,476 \cdot c \\
 &= 0,476 \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,43 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

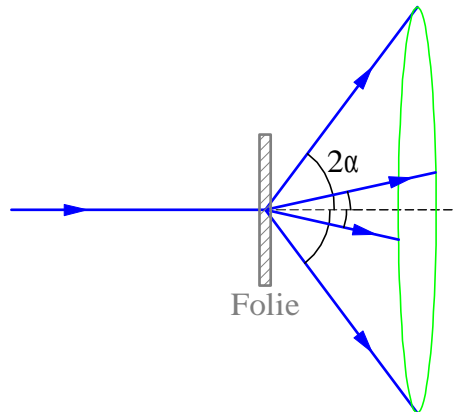
5 BE

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 α auftreffen, welcher die Bragg-Bedingung für eine konstruktive Interferenz erfüllt. Diese Kristallite streuen die Elektronen um den Winkel 2α aus der ursprünglichen Richtung.



Die gestreuten Elektronen befinden sich daher alle auf einem Kegel mit Spitze

im Streuzentrum und Öffnungswinkel 4α .



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.

12 BE

c) De-Broglie-Wellenlänge der Elektronen

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{mv} = \frac{h}{\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}v} = \frac{h\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{m_0v} \\ &= \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot \sqrt{1 - (0,476)^2}}{9,10 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,43 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4,47 \cdot 10^{-12} \text{ m}\end{aligned}$$

Ablenkwinkel 2α :

$$\begin{aligned}\tan 2\alpha &= \frac{r}{l} = \frac{7,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,60 \text{ m}} = 1,23 \cdot 10^{-2} \\ 2\alpha &= \arctan(1,23 \cdot 10^{-2}) \cdot \frac{180}{\pi} = 6,1497 \cdot 10^{-3} \\ \alpha &= 0,352^\circ\end{aligned}$$

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

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

Die Folie ist damit wohl aus Kupfer.

3. Experimente mit der Vakuumphotozelle

geg.: $b = \frac{1}{600} \text{ mm} = 1,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}$, $\lambda = 366 \text{ nm} = 3,66 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

4 BE a) Bedingung für Maximum erster Ordnung:

$$b \sin \alpha = 1 \cdot \lambda$$

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{b} = \frac{3,66 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{1,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 0,219$$

$$\alpha = 12,7^\circ$$

2 BE b) Man kann das UV-Licht durch einen Fluoreszenzschirm sichtbar machen (z. B. LiF-Schirm). Mit diesem kann man die Blende vor der Photozelle halb abdecken und erkennt, ob der Strahl dort auftrifft.

4 BE c) Aus der Kathode treten Photoelektronen aus und gelangen zur Anode.

Der Stromfluss durch die Bewegung der Elektronen lädt den Kondensator auf.

Irgendwann baut der Kondensator eine so hohe Gegenspannung auf, dass auch die Photoelektronen mit der höchsten Geschwindigkeitskomponente in Richtung Anode diese gerade nicht mehr erreichen.

8 BE d)

Farbe	UV	violett	blau	grün	gelb
Spannung in V	1,62	1,38	1,10	0,56	0,46
Frequenz in 10^{14} Hz	8,2	7,4	6,9	5,5	5,2

(Diagramm siehe unten!)

Aus dem Diagramm entnimmt man eine Steigung von $4,0 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$.

2 BE e) Aus der Grenzfrequenz von $f_0 = 4,0 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ ergibt sich:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,0 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{s}}} = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ m} \approx 750 \text{ nm}$$

Oberhalb dieser Wellenlänge vermag Licht keine Photoelektronen mehr aus dem Material herauszulösen.

5 BE f) geg.: $\lambda'_0 = 3,45 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Aus dem durch den 4. Quadranten gegebenen Steigungsdreieck entnimmt man:

$$h = \frac{W_0}{f'_0} = \frac{W_0 \lambda'_0}{c}$$

$$W_0 = \frac{hc}{\lambda'_0}$$

$$= \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,45 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 5,76 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,6 \text{ eV}$$

zu d)

