LK Physik * K13 * 1. Klausur am 10.11.2004

1. Lichtelektrischer Effekt (Fotoeffekt)

a) Welche physikalische Erscheinung bezeichnet man als lichtelektrischen Effekt? Welche Beobachtungen stehen hierbei im Widerspruch zur Wellentheorie des Lichts?

Mit Hilfe der so genannten Gegenfeldmethode wird der lichtelektrische Effekt quantitativ untersucht.

b) Skizzieren Sie den Versuchsaufbau und beschreiben Sie die Versuchsdurchführung.

Bei einem Versuch mit der Wellenlänge 436 nm kommt der Fotostrom bei einer Gegenspannung von 0,59 V zum Erliegen.

c) Bestimmen Sie die Austrittsarbeit des Kathodenmaterials in eV ! Aus welchem Material kann die Kathode bestehen?

d) Prüfen Sie, ob sich bei dieser Fotozelle mit Licht der Wellenlänge 579 nm Fotoelektronen auslösen lassen!

2. Comptoneffekt

Zur Untersuchung des Comptoneffekts wird eine Graphit-Probe mit harter Röntgenstrahlung bestrahlt. Die hierbei verwendete Röntgenröhre wird mit einer Beschleunigungsspannung von 180 kV betrieben. ($\lambda_c = 2,43\,pm$ darf verwendet werden!)

a) Berechnen Sie die kleinste Wellenlänge der auftretenden Röntgenbremsstrahlung. Warum treten auch größere Wellenlängen auf?

Zu einem gestreuten Röntgenquant der Wellenlänge 9,30 pm gehört ein Rückstoßelektron der kinetischen Energie 36,8 keV.

b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit und den Impuls des Rückstoßelektrons!

(Ergebnisse: $1,08 \cdot 10^8 \dfrac{m}{s}$; $1,05 \cdot 10^{-22}\,Ns$)

c) Welche Wellenlänge hatte das primäre Röntgenquant? (Ergebnis: 7,29 pm)

d) Bestimmen Sie den Winkel zwischen den Bewegungsrichtungen des gestreuten Röntgenquants und des Rückstoßelektrons!

3. Materiewellen

Mit einem Geschwindigkeitsfilter (Wien-Filter) wird ein Elektronenstrahl mit Elektronen einheitlicher Geschwindigkeit v erzeugt.

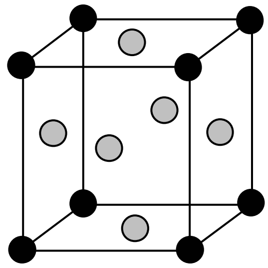
a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit v und die Materiewellenlänge der Elektronen, wenn am Plattenkondensator mit dem Plattenabstand d = 5,00 mm eine Spannung von 80,0V anliegt und das Magnetfeld eine Flussdichte von 1,56 mT hat.

(Teilergebnis: $v = 1,03 \cdot 10^7 \dfrac{m}{s}$)

Diese Elektronen treffen nun auf einen Kupfereinkristall. Unter bestimmten Glanzwinkeln tritt hierbei ein Maximum der Reflexion auf. Der kleinste Glanzwinkel beträgt $5,62^o$.

b) Ermitteln Sie den Netzebenenabstand für den Kupferkristall. (Ergebnis: $3,61 \cdot 10^{-10}\,m$)

c) Kupfer besitzt ein kubisch-flächenzentriertes Gitter. (Die Atome an den Seitenflächen sind zur Verdeutlichung grau eingezeichnet!)



Die Dichte von Kupfer beträgt $8,93\,\dfrac{g}{cm^3}$.

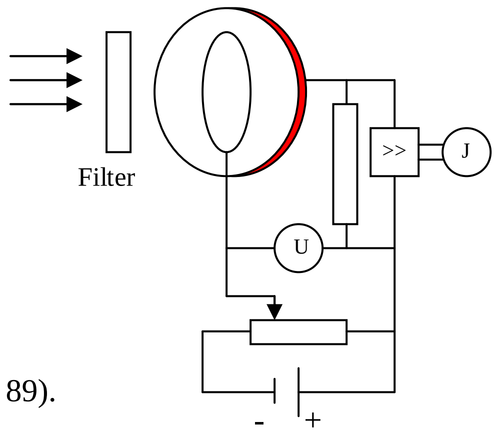
Bestimmen Sie daraus den Wert der Avogadro-Konstanten.

Aufgabe	1a	b	c	d	2a	b	c	d	3a	b	c	Σ
Punkte	5	8	5	4	4	7	4	7	5	3	6	58

Lösung:

1. a) Lichtelektrischer Effekt:
   Durch Bestrahlung mit Licht kann man Elektronen aus Metallen ablösen.
   Widersprüche zur Wellentheorie des Lichts:
   - Effekt hängt von der Frequenz ab:
     Bei Licht mit Frequenzen unterhalb der Grenzfrequenz tritt der Effekt unabhängig von der Lichtintensität überhaupt nicht auf.
     Die kinetische Energie der ausgelösten Fotoelektronen hängt von der Frequenz ab.
   - Der Effekt setzt sofort ein!

   b) Die Fotozelle wird mit monochromatischem Licht unterschiedlicher Frequenzen f bestrahlt (Filter).
   Die Gegenspannung U wird so lange erhöht, bis der Fotostrom J bei $U = U_g$ verschwindet.
   ($e\,U_g$ gibt dann die maximale kinetische Energie der ausgelösten Fotoelektronen an.)
   U_g wird in Abhängigkeit von f bestimmt.



   c) $hf = W_A + eU_g \quad \Rightarrow$

   $$W_A = \frac{hc}{\lambda} - eU_g = \frac{1,24\cdot 10^{-6}\,eVm}{436\cdot 10^{-9}\,m} - e\cdot 0,59V = 2,25eV$$

   Kathode kann aus Kalium bestehen (Formelsammlung S. 89).

   d) $hf_{grenz} = W_A \quad \Rightarrow \quad \lambda_{grenz} = \frac{hc}{W_A} = \frac{1,24\cdot 10^{-6}\,eVm}{2,25eV} = 551nm < 579nm$

   Mit Licht der Wellenlänge 579 nm können also keine Fotoelektronen ausgelöst werden.

2. a) $eU = h\,f_{grenz} = \frac{hc}{\lambda_{grenz}} \quad \Rightarrow \quad \lambda_{grenz} = \frac{hc}{eU} = \frac{1,24\cdot 10^{-6}\,eVm}{e\cdot 180000V} = 6,89\cdot 10^{-12}m$

   Werden die Elektronen mehrfach abgebremst, so verteilt sich ihre kinetische Energie eU auf mehrere Röntgenquanten mit entsprechend größeren Wellenlängen.

   b) $E = E_o + E_{kin} = 511keV + 36,8keV = 547,8keV$

   $$\frac{547,8keV}{511keV} = \frac{mc^2}{m_oc^2} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \Rightarrow 1-\beta^2 = \frac{511^2}{547,8^2} \Rightarrow v = c\cdot\sqrt{1-\frac{511^2}{547,8^2}} = 1,08\cdot 10^8\,\frac{m}{s}$$

   $$p = mv = \frac{547,8}{511}m_o\,v = \frac{547,8}{511}\cdot 9,11\cdot 10^{-31}\,kg\cdot 1,08\cdot 10^8\,\frac{m}{s} = 1,05\cdot 10^{-22}\,Ns$$

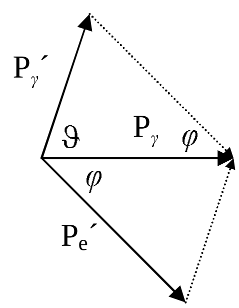
   c) $hf = hf' + E_{e,kin} \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + E_{e,kin} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda'} + \frac{E_{e,kin}}{hc} = \frac{1}{9,30\cdot 10^{-12}m} + \frac{36,8\cdot 10^3 eV}{1,24\cdot 10^{-6}eVm}$

   $$\frac{1}{\lambda} = 1,372\cdot 10^{11}\,\frac{1}{m} \Rightarrow \lambda = 7,29\cdot 10^{-12}m$$

   d) $\lambda' - \lambda = \lambda_c\cdot(1-\cos\vartheta) \Rightarrow \cos\vartheta = 1 - \frac{\lambda'-\lambda}{\lambda_c} = 1 - \frac{9,30-7,29}{2,43} = 0,1728... \Rightarrow$

   $$\vartheta = \cos^{-1}(0,1728...) = 80,0^o$$

   Aus dem Impulsdiagramm entnimmt man:



   $$\frac{\sin\varphi}{\sin\vartheta} = \frac{p_\gamma{}'}{p_e{}'} = \frac{h}{\lambda'\cdot p_e{}'} \Rightarrow \sin\varphi = \frac{h\cdot\sin\vartheta}{\lambda'\cdot p_e{}'} = \frac{6,63\cdot 10^{-34}\,Js\cdot\sin 80,0^o}{9,30\cdot 10^{-12}m\cdot 1,05\cdot 10^{-22}Ns}$$

   $\sin\varphi = 0,6686... \Rightarrow \varphi = 42,0^o \Rightarrow \varphi + \vartheta = 122^o$

   Der gesuchte Winkel beträgt 122^o.

3. a) $evB = eE \quad \Rightarrow \quad v = \frac{E}{B} = \frac{U}{d \cdot B} = \frac{80{,}0\,V}{0{,}00500\,m \cdot 0{,}00156\,T} = 1{,}03 \cdot 10^7\,\frac{m}{s}$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,Js}{9{,}11 \cdot 10^{-31}\,kg \cdot 1{,}03 \cdot 10^7\,\frac{m}{s}} = 7{,}07 \cdot 10^{-11}\,m = 70{,}7\,pm$$

b) Bragg-Reflexion:

$$1 \cdot \lambda = 2d \sin\alpha_1 \quad \Rightarrow \quad d = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin\alpha_1} = \frac{7{,}07 \cdot 10^{-11}\,m}{2 \cdot \sin 5{,}62^o} = 3{,}61 \cdot 10^{-10}\,m$$

c) Auf jede Elementarzelle mit dem Volumen $V = d^3$ kommen $8{:}8 + 6{:}2 = 4$ Atome.
Ein Kilomol Kupfer entspricht 63,5 kg und hat damit ein Volumen V_{kmol} von

$$V_{kmol} = 63{,}5\,kg : 8{,}93\,\frac{kg}{dm^3} = \frac{63{,}5}{8{,}93}\,dm^3 = 7{,}11\,dm^3 = 0{,}00711\,m^3.$$

Ein Kilomol Kupfer enthält also $N = 4 \cdot \frac{0{,}00711\,m^3}{(3{,}61 \cdot 10^{-10}\,m)^3} = 6{,}05 \cdot 10^{26}$ Atome.

(Vergleich mit dem Tabellenwert: $N_A = 6{,}0221 \cdot 10^{26}\,kmol^{-1}$)