Physik IV – Atome und Moleküle

Sommer 2005, Prof. Wim de Boer, Universität Karlsruhe

Übungsleiter: Frank Hartmann, Forschungszentrum Karlsruhe,
Tel.: 07247 82 6330; Email: Frank.Hartmann@cern.ch
LÖSUNGEN Übung 2

1. Bragg-Reflexion: Lösung siehe Literatur.
2. Zyklotron
   (a) gekreutzte homogene elektrische und magnetische Felder wirken als Geschwindigkeitsfilter:
   $qE = Bqv \rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{U}{d}B$
   D.h. nur bei einer bestimmten Einstellung E/B werden die mit der Geschwindigkeit v in den Kondensator eintretenden Teilchen NICHT abgelenkt, da die beiden Feldstärken sich gerade aufheben.
   $v = \frac{8 \cdot 10^3 V}{4 \cdot 10^{-3} m \cdot 10^{-2} T} = 2 \cdot 10^8 m/s \rightarrow \beta = 2/3 \rightarrow \gamma = 1.34$ d.h. man muß relativistisch rechnen.

   (b) Ablenkung im Magnetfeld: Die Teilchen bewegen sich auf einer Kreisbahn mit $r^2 = L^2 + (r-a)^2 \rightarrow r = \frac{L^2+a^2}{2a}$ da $L \gg a$ gilt: $r \simeq \frac{L^2}{2a}$
   Bewegungsgleichung: $\frac{\gamma m_0 v^2}{r} = Bqv \rightarrow \frac{q}{m_0} = \frac{\gamma v}{rB} = \frac{\gamma E}{rB^2} = \frac{2\gamma Ua}{L^2 B^2 d} = \frac{2 \cdot 1.34 \cdot 8 \cdot 10^3 V \cdot 4.5 \cdot 10^{-3}}{(1.6m)^2 \cdot 10^{-4} T^2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 9.4 \cdot 10^7 C/kg$
   Dies entspricht ca. 1/2000 von $e/m_{e,0}$ des Elektrons $\Rightarrow$ es handelt sich um Protonen! (korrekter Wert: $e/m_{p,0} = 9.58 \cdot 10^7 C/kg$

   (c) Für die Gesamtenergie nach Verlassen des Zyklotrons gilt:
   $E_p = \sqrt{m_{p,0}^2 c^4 + p^2c^2}$ mit der Protonenmasse $m_{p,0}$ $m_{p,0}^2 c^4 = (0.94GeV)^2; p^2c^2 = (\gamma m_{p,0} vc)^2 = (\gamma\beta m_{p,0} c^2)^2 = (1.34 \cdot 2/3 \cdot (0.94GeV))^2 \rightarrow E_p = 0.94GeV(1 + (1.34 \cdot 2/3)^2)^{1/2} = 1.26GeV \rightarrow E_{kin} = E_p - m_{p,0}c^2 = 0.32GeV \rightarrow$ Anzahl der Umdrehungen: $n = \frac{0.32 \cdot ^9}{2 \cdot 20 \cdot 10^3} = 8000$

   (d) Umlauffrequenz der Protonen: $\omega_p = \frac{eB_Z}{m_p}$ (folgt aus $m\omega r = Ber$; mit $v = \omega r$) $\rightarrow$ Umlaufzeit: $T = \frac{2\pi}{eB} m_p = \frac{2\pi}{eB_z c^2}(E_{kin} + m_{p,0}c^2)$ d.h. T ist nur dann unabhängig von der Energie E_p, wenn $E_{kin} \ll m_{p,0}c^2$ gilt. $\rightarrow \omega = \omega(t) = \frac{eB_Z}{m_p} = \frac{eB_Z c^2}{E_p} \rightarrow \omega(t) \cdot (m_{p,0}c^2 + \frac{\tilde{E}}{\pi} \int \omega(t) dt) = eB_Z c^2 \rightarrow \frac{eBc^2}{\omega(t)} = m_{p,0}c^2 + \frac{\tilde{E}}{\pi} \int \omega(t) dt \qquad d/dt$
   $\rightarrow -eBc^2 \frac{\dot{\omega}}{\omega^2} = \frac{\tilde{E}}{\pi}\omega \rightarrow \frac{eBc^2}{\tilde{E}} \int \frac{d\omega}{\omega^3} = \int dt$ mit der Anfangsumlauffrequenz $\omega_0 \rightarrow \frac{eB_Z c^2 \pi}{2 \cdot \tilde{E}}(1/\omega^2 - 1/\omega_0^2) = t \rightarrow 1/\omega^2 = \frac{\tilde{E}t}{2 \cdot eB_Z c^2 \pi} + \frac{1}{\omega_0^2} \Rightarrow \omega(t) = \frac{2 \cdot \omega_0}{\sqrt{\frac{\tilde{E}\omega_0^2}{eB_Z c^2 \pi} t + 1}}$

3. Rutherford
   (a) Teilchen stoppt, wenn $E_{kin} = E_{Coul}; E_{kin} = E_0$ $E_{Coul} = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$;
   $Z_{Au} = 79 \rightarrow r = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 E_0}$

$E_0[MeV]$	1	10
r[m]	$1.14 \cdot 10^{-13}$	$1.14 \cdot 10^{-14}$

   $r_{Au} = 1.3A^{1/3} fm = 7.6fm$ (A:Nukleonenzahl $\cong M_{Au}$)
   Berühren bei $r = R_{Au} = 7.6fm \Rightarrow E_0 = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 R_{Au}} = 15MeV$

(b) Anomale Streuung: Kernpotential setzt ein; keine reine Coulombabstossung

(c) $b = 2.6 \cdot 10^{-13}m; Z_{Au} = 79$ Teilchen mit E=4MeV
$k = \frac{2Ze^2}{4\pi\varepsilon_0}; b = \frac{k}{mv_0^2}cotan(\theta/2) \rightarrow b = \frac{k}{2E}cotan(\theta/2)$ mit $cotan(\theta/2) = \frac{1}{tan(\theta/2)}$; $tan(\theta/2) = \frac{k}{2Eb} \Rightarrow \theta = 12,47^o$

4. Photoeffekt
a.) Klassische Wellentheorie des Lichts: Freie Elektronen im Metall werden durch das elektrische Feld der Lichtwelle beschleunigt.

- ihre Energie sollte mit der Lichtintensität wachsen
- unabh. von der Frequenz sollte bei genügend hoher Intensität es möglich sein Elektronen aus dem Metall herauszulösen
- Existenz einer Grenzfrequenz ist mit klassichem Wellenmodell des Lichts nicht zu erklären.

b.) $\nu_i = c/\lambda_i \rightarrow \nu_i = 13.88; 11.53; 9.46; 8.15; 7.44 \cdot 10^{14}Hz$
Ausgleichsgerade: $W_A = eU + h\nu \rightarrow W_A = 2.93eV, h = 4.15 \cdot 10^{-15}eVs$