| Code branche | Ministère de l'Education nationale, de l'Enfance et de la Jeunesse<br>EXAMEN DE FIN D'ETUDES SECONDAIRES TECHNIQUES<br>**Régime technique – Session 2015/2016** | |
|---|---|---|
| **PHYSI** | | |
| *Épreuve* **écrite** | *Branche* | *Division / Section* |
| *Durée épreuve* **2,5 h** | **Physique** | **GE** |
| *Date épreuve* | **Musterlösung** | |

# 1 Prismenspektrometer

Der brechende Winkel beträgt $\gamma = 48{,}5\,°$.

a) Bei Minimalablenkung gilt:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta = \frac{\gamma}{2}$$

$$\delta_{\min} = 2 \cdot \alpha - \gamma$$

Außerdem gilt das Brechungsgesetz an den beiden Grenzflächen des Prismas:

$$1 \cdot \sin\alpha = n \cdot \sin\beta$$

Aus der Gleichung der Minimalablenkung:

$$\alpha = \frac{\delta_{\min} + \gamma}{2}$$

Setzt man die Ausdrücke von $\alpha$ und $\beta$ im Brechungsgesetz ein:

$$\sin\left(\frac{\delta_{\min} + \gamma}{2}\right) = n \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{\min} + \gamma}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$$

b) Da der Ablenkungswinkel im Fall der Minimalablenkung bekannt ist, braucht nur in den Ausdruck von $\alpha$ eingesetzt zu werden:

$$\alpha = \frac{28{,}76° + 48{,}5°}{2} = 38{,}63°$$

c) Berechnung der Brechzahl des beschriebenen Prismas.

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{\min} + \gamma}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{28{,}76° + 48{,}5°}{2}\right)}{\sin\left(\frac{48{,}5°}{2}\right)} = 1{,}52$$

d) An der zweiten Grenzfläche gilt:

$$\sin\alpha_2 = n \cdot \sin\beta_2$$

$$\Leftrightarrow \sin\beta_2 = \frac{\sin\alpha_2}{n}$$

$$\Leftrightarrow \beta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin\alpha_2}{n}\right) = \arcsin\left(\frac{\sin 50°}{1{,}52}\right)$$

$$\Leftrightarrow \beta_2 = 30{,}26°$$

Da die Summe von $\beta_1$ und $\beta_2$ dem brechenden Winkel $\gamma$ entspricht:

$$\beta_1 = \gamma - \beta_2$$

$$= 48{,}5° - 30{,}26°$$

$$\beta_1 = 18{,}24°$$

Durch Anwendung des Brechungsgesetzes an der ersten Grenzfläche erhält man:

$$\sin\alpha_1 = n \cdot \sin\beta_1$$

$$\Leftrightarrow \alpha_1 = \arcsin(n \cdot \sin\beta_1)$$

$$\Leftrightarrow \alpha_1 = \arcsin(1{,}52 \cdot \sin 18{,}24°)$$

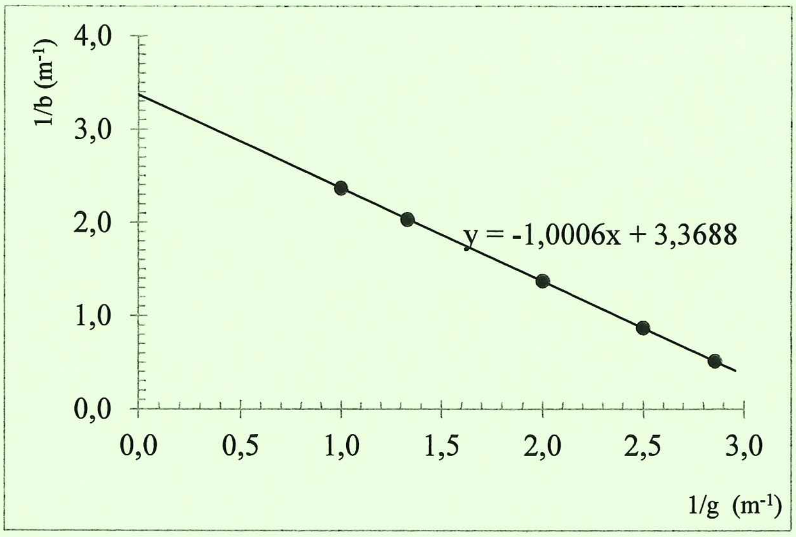
$$\Leftrightarrow \alpha_1 = 28{,}40°$$

Der gesuchte Einfallswinkel ist $\alpha_1 = 28{,}40°$.

# 2 Praktikum: Linsen

a) Die Tabelle wird um die Kolonnen für 1/g und 1/b erweitert

| $g$ (cm) | $b$ (cm) | $\frac{1}{g}$ ($m^{-1}$) | $\frac{1}{b}$ ($m^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| 35,0 | 196,1 | 2,86 | 0,51 |
| 40,0 | 115,3 | 2,50 | 0,87 |
| 50,0 | 73,1 | 2,00 | 1,37 |
| 75,0 | 49,2 | 1,33 | 2,03 |
| 100,0 | 42,2 | 1,00 | 2,37 |




Der Kehrwert der Brennweite entspricht dem Achsenabschnitt:

$$\frac{1}{f} = 3{,}37\ \mathrm{m}^{-1}$$

Daher hat die Linse eine Brennweite $f = 0{,}297\ \mathrm{m} = 297\ \mathrm{mm}$

b) Absolute Abweichung:

$$\Delta f = \left| f_{\text{theo}} - f_{\text{exp}} \right| = \left| 300\ \mathrm{mm} - 297\ \mathrm{mm} \right| = 3\ \mathrm{mm}$$

Relative Abweichung

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{theo}}} = \frac{\left| f_{\text{theo}} - f_{\text{exp}} \right|}{f_{\text{theo}}} = \frac{\left| 300\ \mathrm{mm} - 297\ \mathrm{mm} \right|}{300\ \mathrm{mm}} = 0{,}01 = 1\,\%$$

c) Wir die Linse von einem (fast) parallelen Lichtbündel bestrahlt, so schneiden sich die Strahlen im Brennpunkt. Konkret entsteht also zum Beispiel ein Bild der Sonne in der Brennebene der Linse.

Es gilt:

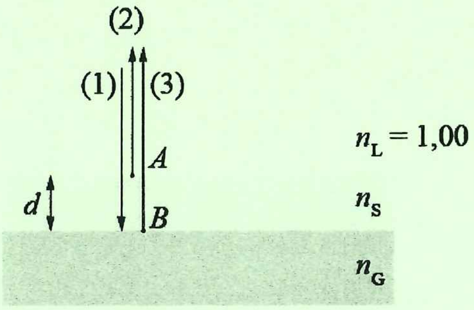
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \Leftrightarrow \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{g}$$

$$\Leftrightarrow \lim_{g \to +\infty} \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \underbrace{\frac{1}{g}}_{\to 0} = \frac{1}{f}$$

$$\Leftrightarrow b \simeq f$$

# 3 Wellenoptik

a) Berechnung des Gangunterschieds zwischen den beiden reflektierten Strahlen:




Geometrischer Wegunterschied:

$$\Delta s_{\text{geo}} = 2 \cdot d$$

Optischer Wegunterschied:

$$\Delta s_{\text{opt}} = 2 \cdot d \cdot n_S$$

Im Punkt $A$ wird der Strahl an einem optisch dichteren Medium reflektiert

$\Rightarrow$ Phasensprung von $\pi$ rad

$\Rightarrow$ räumlicher Sprung von $\pm \lambda/2$

Im Punkt $B$ wird der Strahl auch an einem optisch dichteren Medium reflektiert

$\Rightarrow$ Phasensprung von $\pi$ rad

$\Rightarrow$ räumlicher Sprung von $\pm \lambda/2$

Insgesamt haben die beiden reflektierten Wellen also einen Gangunterschied von $\pm\lambda$, der nicht beachtet werden muss, da er die Interferenzen nicht beeinflusst.

Daher beträgt der gesamte Wegunterschied:

$$\Delta s_{\text{ges}} = 2 \cdot d \cdot n_S$$

Für destruktive Interferenz:

$$2 \cdot d_k \cdot n_S = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2} \qquad \text{mit } k \in \mathbb{N}$$

$$d_k = \frac{(2k+1) \cdot \lambda}{4 \cdot n_S}$$

b) Minimale Dicke der Schicht:

$$d_k = \frac{(2k+1) \cdot \lambda}{4 \cdot n} \qquad k = 0$$

$$d_{\min} = \frac{(2 \cdot 0 + 1) \cdot 560 \text{ nm}}{4 \cdot 1{,}25}$$

$$d_{\min} = 112 \text{ nm}$$

c) Stellt man nach $\lambda$ um:

$$d_k = \frac{(2k+1)\cdot\lambda}{4\cdot n}$$

$$\lambda = \frac{4\cdot n\cdot d_k}{(2k+1)}$$

Für $k = 1$ findet man $\lambda = \dfrac{4\cdot 1{,}25\cdot 112\ \text{nm}}{2\cdot 1+1} = 186{,}7\ \text{nm}$

Diese Wellenlänge liegt im UV-Bereich, es werden also keine weiteren Wellenlängen im reflektierten Licht ausgelöscht.

## 4 Spezielle Relativitätstheorie

a) Grundgesetz der Dynamik (*relativistische Form*).

▷ *siehe Manuskript, Seiten R11 – R12*

b) Erforderliche Beschleunigungsspannung $U$ (für $v = 0{,}99 \cdot c$).

Die kinetische Energie des Protons entspricht der von der elektrischen Kraft verrichteten Arbeit:

$$\Delta m\cdot c^2 = q\cdot U \qquad \text{mit } q = e$$

$$(m - m_0)\cdot c^2 = e\cdot U$$

$$e\cdot U = \left(\underbrace{\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}_{m} - m_0\right)\cdot c^2$$

$$e\cdot U = \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right)\cdot m_0\cdot c^2$$

$$U = \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right)\cdot \frac{m_0\cdot c^2}{e}$$

$$= \left(\frac{1}{\sqrt{1-0{,}99^2}} - 1\right)\cdot \frac{1{,}673\cdot 10^{-27}\ \text{kg}\cdot\left(2{,}997\cdot 10^{8}\ \text{m/s}\right)^2}{1{,}602\cdot 10^{-19}\ \text{C}}$$

$$U = 5{,}71\cdot 10^{9}\ \text{V} = 5{,}71\ \text{GV}$$

# 5 Tritium

a) Zerfallsgleichung von Tritium.

$${}^{3}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}\beta^{-} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$$

b) Grundgleichung des radioaktiven Zerfalls

▷ *siehe Manuskript, Seite K8*

c) Die Aktivität ist proportional zur Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne:

$$\begin{aligned}
A_0 &= \lambda \cdot N_0 \\
&= \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_0 \\
N_0 &= \frac{A_0 \cdot T_{1/2}}{\ln 2} \\
&= \frac{2500\ \mathrm{Bq} \cdot (12{,}32 \cdot 365{,}25 \cdot 24 \cdot 3600)\ \mathrm{s}}{\ln 2} \\
N_0 &= 1{,}402 \cdot 10^{12}
\end{aligned}$$

Ist die Aktivität auf 1 % ihrer anfänglichen Aktivität gefallen, gilt:

$$\begin{aligned}
A(t) &= A_0 \cdot \mathrm{e}^{-\lambda \cdot t} \\
\mathrm{e}^{-\lambda \cdot t} &= \frac{A(t)}{A_0} \\
\mathrm{e}^{-\lambda \cdot t} &= 0{,}01 \\
-\lambda \cdot t &= \ln(0{,}01) \\
t &= \frac{\ln(0{,}01)}{-\lambda} = \frac{\ln(100)}{\lambda} \\
&= \frac{\ln(100)}{\ln(2)} \cdot T_{1/2} \\
&= \frac{\ln(100)}{\ln(2)} \cdot 12{,}32\ \mathrm{a} \\
t &= 81{,}85\ \mathrm{a}
\end{aligned}$$

# 6 Quantenmechanik

a) Für die Energieerhaltung beim fotoelektrischen Effekt gilt:

$$h \cdot f = W_{\mathrm{A}} + E_{\mathrm{kin}}$$

$$W_{\mathrm{A}} = h \cdot f - E_{\mathrm{kin}}$$

$$= \frac{h \cdot c}{\lambda} - E_{\mathrm{kin}}$$

$$= \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J\,s} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{8}\ \mathrm{m/s}}{589 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{m}} - 0{,}145 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}$$

$$W_{\mathrm{A}} = 3{,}14 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J} = 1{,}96\ \mathrm{eV}$$

b) Es gilt:

$$h \cdot f = W_{\mathrm{A}} + E_{\mathrm{kin}} \qquad \text{mit } E_{\mathrm{kin}} = e \cdot U_{\mathrm{G}}$$

$$h \cdot f = W_{\mathrm{A}} + e \cdot U_{\mathrm{G}}$$

Für zwei verschiedene Wellenlängen:

$$h \cdot f_1 = W_{\mathrm{A}} + e \cdot U_{\mathrm{G,1}}$$

$$h \cdot f_2 = W_{\mathrm{A}} + e \cdot U_{\mathrm{G,2}}$$

Zieht man die zweite Gleichung von der ersten ab, erhält man:

$$h \cdot f_2 - h \cdot f_1 = \left(W_{\mathrm{A}} + e \cdot U_{\mathrm{G,2}}\right) - \left(W_{\mathrm{A}} + e \cdot U_{\mathrm{G,1}}\right)$$

$$h \cdot \left(f_2 - f_1\right) = e \cdot U_{\mathrm{G,2}} - e \cdot U_{\mathrm{G,1}}$$

$$h = \frac{e \cdot \left(U_{\mathrm{G,2}} - U_{\mathrm{G,1}}\right)}{f_2 - f_1}$$

$$h = \frac{e \cdot \left(U_{\mathrm{G,2}} - U_{\mathrm{G,1}}\right)}{c \cdot \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)}$$

c) Setzt man die Messwerte ein:

$$h = \frac{1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C} \cdot \left(0{,}78\ \mathrm{V} - 0{,}61\ \mathrm{V}\right)}{2{,}998 \cdot 10^{8}\ \mathrm{m/s} \cdot \left(\frac{1}{4{,}50 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}} - \frac{1}{4{,}80 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}}\right)}$$

$$h = 6{,}54 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J\,s}$$