1re session 2011
7 juin 2011

MUSTERLÖSUNG

Theorie: 20 P
Aufgaben: 30 P
Praktikum: 10 P

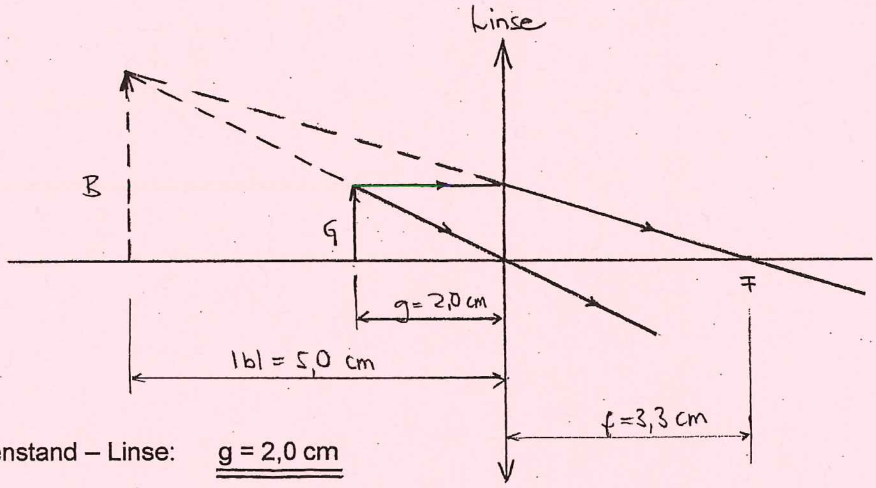
1. Linse

10 P (2 + 3 + 5)

Gegenstandsgröße: G = 1,0 cm
Bildgröße: B = – 2,5 cm (aufrechtes ⇒ virtuelles Bild)
Abstand Gegenstand – Bild: g + b = –3,0 cm (g > 0; b < 0 und g < $|b|$)

1.1 Das Bild ist **aufrecht**, also es ist **virtuell**. Sammellinsen und Zerstreuungslinsen erzeugen virtuelle Bilder. Da das **virtuelle Bild größer als der Gegenstand** ist, kann nur eine **Sammellinse** dieses Bild erzeugen.

1.2



Abstand Gegenstand – Linse: g = 2,0 cm

Brennweite der Linse: f = 3,3 cm

1.3 Abbildungsmaßstab: $\frac{B}{G} = \frac{-2,5\,cm}{1,0\,cm} = -2,5 = \frac{b}{g} \Rightarrow b = -2,5g$ (1)

$$g + b = -3,0\,cm \quad (2)$$

(1) in (2):

$$g + (-2,5g) = -3,0\,cm$$
$$-1,5g = -3,0\,cm$$
$$g = \frac{-3,0\,cm}{-1,5\,cm}$$
$$g = 2,0\,cm$$

in (1): $b = -2,5g = -2,5 \cdot 2,0\,cm = -5,0\,cm$

oder in (2):

$$g + b = -3,0\,cm \Rightarrow b = -3,0\,cm - g$$
$$b = -3,0\,cm - 2,0\,cm$$
$$b = -5,0\,cm$$

Abbildungsgleichung: $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{2,0\,cm} + \frac{1}{-5,0\,cm} = 0,3\frac{1}{cm}$

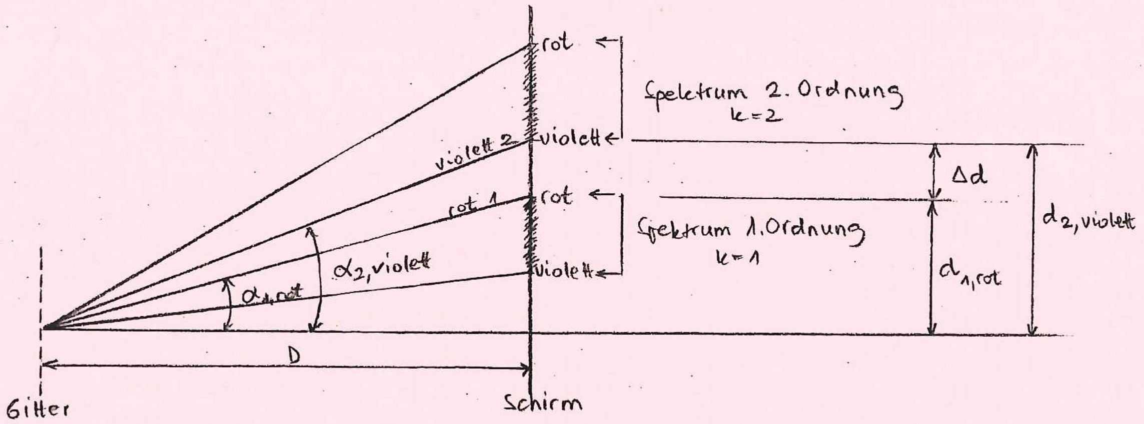
Brennweite : $f = 3,3\,cm$

2. Beugungsgitter

9 P (6 + 3)

Zahl der Spalte auf 1 mm: n = 500
Abstand Gitter – Schirm: D = 1,5 m
Wellenlänge: $\lambda_{violett}$ = 400 nm
λ_{rot} = 750 nm

2.1. Gitterkonstante : $g = \frac{1\,mm}{n} = \frac{1\,mm}{500} = \frac{10^{-3}\,m}{500} = 2 \cdot 10^{-6}\,m$



Maximum beim Gitter : $g \cdot \sin\alpha = k \cdot \lambda \implies \sin\alpha = \frac{k \cdot \lambda}{g}$

* Ende des Spektrums 1. Ordnung : rotes Licht (λ_{rot}) und $k = 1$

$$\sin\alpha_{1,rot} = \frac{1 \cdot \lambda_{rot}}{g} = \frac{750 \cdot 10^{-9}\,m}{2 \cdot 10^{-6}\,m} = 0{,}375$$

$$\alpha_{1,rot} = 22{,}02°$$

* Anfang des Spektrums 2. Ordnung : violettes Licht (λ_v) und $k = 2$

$$\sin\alpha_{2,v} = \frac{2 \cdot \lambda_v}{g} = \frac{2 \cdot 400 \cdot 10^{-9}\,m}{2 \cdot 10^{-6}\,m} = 0{,}400$$

$$\alpha_{2,violett} = 23{,}58°$$

$tg\,\alpha_{1,r} = \frac{d_{1,r}}{D} \implies d_{1,rot} = D \cdot tg\,\alpha_{1,r}$

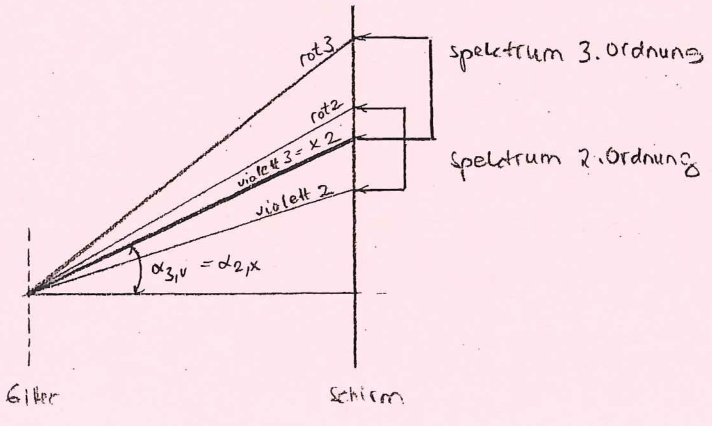
$tg\,\alpha_{2,v} = \frac{d_{2,v}}{D} \implies d_{2,violett} = D \cdot tg\,\alpha_{2,v}$

* Entfernung : $\Delta d = d_{2,v} - d_{1,r} = D \cdot (tg\,\alpha_{2,v} - tg\,\alpha_{1,r})$

$$\Delta d = 1{,}5\,m \cdot (tg\,23{,}58° - tg\,22{,}02°)$$

$$\Delta d = 4{,}8 \cdot 10^{-2}\,m = 4{,}8\,cm$$

2.2



Bedingung : $\alpha_{3,v} = \alpha_{2,x}$

$$\sin\alpha_{3,v} = \sin\alpha_{2,x}$$

$$\frac{3 \cdot \lambda_v}{g} = \frac{2 \cdot \lambda_x}{g}$$

$$\implies \lambda_x = \frac{3 \cdot \lambda_v}{2}$$

$$\lambda_x = \frac{3 \cdot 400\,nm}{2}$$

$$\lambda_v = 600\,nm$$

3. Relativitätstheorie und De-Broglie-Wellenlänge — 8 P (3 + 4 + 1)

Beschleunigungsspannung: U = 150 kV
Ruhemasse des Elektrons: $m_0 = 9{,}11.10^{-31}$ kg

Dynamische Masse: m =?
Geschwindigkeit: v = ?
De-Broglie-Wellenlänge: λ = ?

3.1 Erreichte kinetische Energie des Elektrons beim Durchlaufen der Spannung U:

$$E_{kin} = e \cdot U$$
$$E_{kin} = e \cdot 150\ kV = 150\ keV = 2{,}40 \cdot 10^{-14}\ J$$

Gesamtenergie:

$$E = E_0 + E_{kin} = m_0 \cdot c^2 + E_{kin}$$
$$= 9{,}11 \cdot 10^{-31} kg \cdot \left(3 \cdot 10^8 m/s\right)^2 + 2{,}40 \cdot 10^{-14} J$$
$$E = 1{,}06 \cdot 10^{-13} J$$

Dynamische Masse:

$$m = \frac{E}{c^2}$$
$$\underline{\underline{m}} = \frac{1{,}06 \cdot 10^{-13} J}{\left(3 \cdot 10^8 m/s\right)^2} = \underline{\underline{1{,}18 \cdot 10^{-30} kg}}$$

3.2 Dynamische Masse:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \Rightarrow \quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0}{m}$$

Geschwindigkeit:

$$v = c \cdot \sqrt{1 - \frac{m_0^2}{m^2}} = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{9{,}11 \cdot 10^{-31}}{1{,}18 \cdot 10^{-30}}\right)^2}$$

$$\underline{\underline{v = 0{,}636 \cdot c = 1{,}91 \cdot 10^8 m/s}}$$

3.3 De-Broglie-Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

$$\underline{\underline{\lambda}} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} Js}{1{,}18 \cdot 10^{-30} kg \cdot 1{,}91 \cdot 10^8 m/s} = \underline{\underline{2{,}94 \cdot 10^{-12} m}}$$

4. Radioaktivität — 9 P (6 + 1 + 2)

4.1 Manuskript 2008/09: Seite K8 - K9 (Grundgesetz des radiaktiven Zerfalls)
4.2 Manuskript 2008/09: Seite K8 (Zeile 26 -27)
4.3 Manuskript 2008/09: Seite K9 (Halbwertszeit $T_{1/2}$)

5. Wasserstoffatom 6 P

Manuskript 2008/09: S. QM 15 – 16 und QM 19

6. Fotoeffekt 8 P (1 + 4 + 3)

6.1 Der Fotoeffekt behandelt das Freisetzen von Elektronen aus einem Metall, wenn dieses von Licht (sichtbarem oder ultraviolettem) getroffen wird.

6.2 Der Fotoeffekt tritt nur ein, wenn die Frequenz des eingestrahlten Lichtes größer als die Grenzfrequenz des Metalls ist. Die Grenzfrequenz ist charakteristisch für jedes Metall.

Erklärung:

Licht besteht aus einzelnen Teilchen, den Photonen oder Lichtquanten, deren Energie proportional zur Frequenz des Lichts ist.

Energie eines Photons: $E = h \cdot f$ h = 6,63 . 10^{-34} Js: Planck-Konstante
f: Frequenz des Lichtes

Treffen Photonen auf eine Metallplatte, so gibt **ein** Photon seine Energie $h \cdot f$ an **ein** Elektron ab. Dieses Elektron tritt aus der Platte, wenn die vom Photon übertragene Energie einen für das Material charakteristischen Mindestwert hat. Man nennt **Ablösearbeit** W_A die Mindestarbeit, die benötigt wird, um ein Elektron aus dem Metall lösen zu können.
Diese Mindestarbeit entspricht einer **Mindestfrequenz (Grenzfrequenz)** f_G, die das Photon besitzen muss, um ein Elektron aus der Platte „herausschlagen" zu können.

6.3 Wellenlänge: λ_1 = 600 nm
λ_2 = 500 nm
Ablösearbeit: W_A = 2,25 eV

Energie des Photons, das zum Licht der Wellenlänge λ_1 = 600 nm gehört: $E_1 = hf_1 = hc/\lambda_1$

$$\underline{\underline{E_1}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}\,Js \cdot 3 \cdot 10^8\,m/s}{6 \cdot 10^{-7}\,m} = 3,315 \cdot 10^{-19}\,J = \frac{3,315 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}}\,eV = \underline{\underline{2,07\,eV}}$$

Energie des Photons, das zum Licht der Wellenlänge λ_2 = 500 nm gehört: $E_2 = hf_2 = hc/\lambda_2$

$$\underline{\underline{E_2}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}\,Js \cdot 3 \cdot 10^8\,m/s}{5 \cdot 10^{-7}\,m} = 3,978 \cdot 10^{-19}\,J = \frac{3,978 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}}\,eV = \underline{\underline{2,49\,eV}}$$

Energie des Photons E_1 < Ablösearbeit $W_A \Rightarrow$ Kann keine Elektronen herauslösen.

Energie des Photons E_2 > Ablösearbeit $W_A \Rightarrow$ Fotoeffekt.

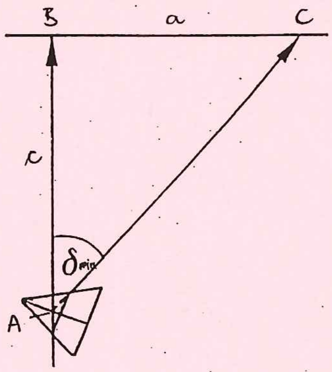
Oder: Berechnung der Grenzfrequenz f_G, f_1 und f_2 ...

7. Praktikum: Prisma　　　　　　10 P (4 + 6)

7.1 Versuchsdurchführung

- Man setzt vor die Lichtquelle einen dünnen Spalt und markiert auf dem Schirm die Position des nicht abgelenkten Lichtstrahls (Punkt B).
- Dann bringt man das Glasprisma in den Strahlengang und sucht durch Drehen des Prismas den Winkel der minimalen Ablenkung δ_{min}. Dieser Winkel wird durch zwei Längenmessungen ermittelt.
- Man misst möglichst genau
  - die Entfernung c = AB zwischen dem Scheitelpunkt des Ablenkungswinkels A im Prisma und Schirm und
  - die Entfernung a = BC zwischen nicht abgelenktem und abgelenktem Bild für jede Farbe.

Aus der Messung der beiden Entfernungen a und c lässt sich der Winkel der minimalen Ablenkung δ_{min} berechnen:



$$\tan\delta_{min} = \frac{a}{c} \Leftrightarrow \delta_{min} = \arctan\frac{a}{c}$$

Die Gesamtablenkung δ eines Lichtstrahls ist minimal, wenn der Strahl das Prisma symmetrisch durchläuft. In diesem Fall gilt:

$$\alpha_1 = \alpha_2 \text{ und } \boxed{\beta_1 = \beta_2 = \frac{\gamma}{2}} \quad (1)$$

Die Gesamtablenkung für diesen Fall ist: $\delta_{min} = \alpha_1 + \alpha_2 - \gamma = 2\alpha_1 - \gamma \Rightarrow \boxed{\alpha_1 = \frac{\delta_{min} + \gamma}{2}}$ (2)

Das Brechungsgesetz: $\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1} = n$ nimmt mit (1) und (2) die Form: $n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min}+\gamma}{2}\right)}{\sin\frac{\gamma}{2}}$ an.

7.2 a) Da $n_{rot} < n_{violett}$ erfährt das **rote** Licht die **kleinste**, das **violette** die **größte Ablenkung**: $a_{rot} < a_{violett}$.
Die Abhängigkeit der Brechzahl von der Farbe (Wellenlänge) des Lichts nennt man **Dispersion.**

b) Abstand c = 27,4 cm
Brechender Winkel: γ = 50 °

Farbe	Abstand a (cm)	$\tan\delta_{min} = \frac{a}{c}$	δ_{min} (°)	$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min}+50^\circ}{2}\right)}{\sin 25^\circ}$
Rot	14,3	0,5219	27,56	1,48
Gelb	15,1	0,5511	28,86	1,50
Blau	15,4	0,5620	29,34	1,51
Violett	15,8	0,5766	29,97	1,52