Nachklausur in Experimentalphysik 3
Lösung

Prof. Dr. L. Fabbietti
Wintersemester 2018/19
15. April 2019

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 Doppelseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

Die Bearbeitungszeit beträgt 90 Minuten. Es müssen nicht alle Aufgaben vollständig gelöst sein, um die Note 1,0 zu erhalten.

Aufgabe A (10 Punkte)

(a) Ab welchem Abstand eines Objektes vom Auge fokusiert das Auge entspannt?

(b) Was passiert mit dem Interferenzmuster, wenn man die Spaltanzahl (bei gleicher Spaltbreite) des Gitters erhöht?

(c) Wie wird der Himmel der Venus aussehen, wenn bekannt ist, dass deren Atmosphäre dichter (mehr Teilchen pro Volumen) ist, als die der Erde?

(d) Was ist die fundamentale Aussage der Fourieranalysis?

(e) Was versteht man unter "chromatische Aberration"?

(f) Aus welchem Gesetz lassen sich das Stefan-Boltzmann-Gesetz und das Wiensche Verschiebungsgesetz herleiten?

(g) Welche Größen sind für die Compton-Streuung erhalten?

(h) Erklären Sie den Begriff der Kohärenz.

(i) Was versteht man unter sphärischer Abberation?

(j) Warum kann man bei dicken Schichten keine Interferenzfarben bei Reflexion mehr beobachten?

Lösung

(a) Das Objekt muss 25 cm entfernt vom Auge sein.

[1]

(b) Es gibt immer mehr Nebenmaxima zwischen zwei Hauptmaxima, die aber mit steigender Spaltanzahl immer kleiner werden. Oder die Hauptmaxima werden schmaler.

[1]

(c) Da die Atmosphäre der Venus dichter ist als die der Erde, wird der blaue Lichtanteil, der bei uns auf der Erde tagsüber das Auge erreicht, schon im oberen Bereich der Atmosphäre gestreut.

[**1**]

(d) Laut dem Fourier-Theorem kann man jede Funktion durch eine Überlagerungen von periodischen Funktionen darstellen.

[**1**]

(e) Der Brechungsindex n hängt von der Wellenlänge ab, wobei blaues Licht stärker gebrochen wird, als rotes. Die unterschiedlichen Wellenlängen bilden also nicht im gleichen Punkt ab.

[**1**]

(f) Aus der Planckschen Strahlungsformel lassen sich diese Gesetze herleiten.

[**1**]

(g) Die Energierhaltung und die Impulserhaltung sind für die Streuung nötig.

[**1**]

(h) In der Optik definiert man die Kohärenz als feste/konstante Phasenbeziehung zwischen zwei Wellen.

[**1**]

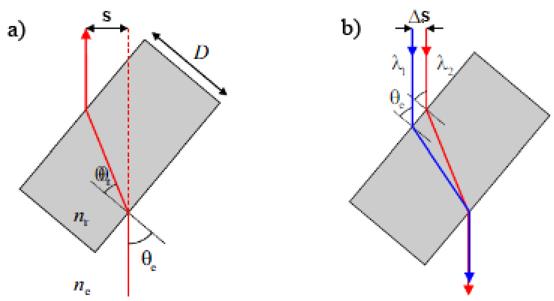
(i) Bei sphärischen Linsen hängt der Abstand des Brennpunktes vom Abstand der Strahlen von der optischen Achse ab. Achsenferne Strahlen werden stärker gebrochen, als (paraxiale) Strahlen nahe der Achse.

[**1**]

(j) Die Phasendifferenz der beiden reflektierten Wellen muss konstant sein, was bedingt, dass das doppelte der Dicke der Schicht kleiner als die Kohärenzlänge sein muss.

[**1**]

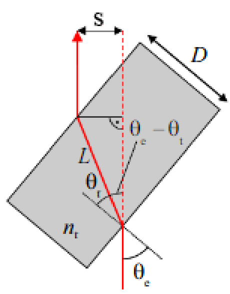
Aufgabe 1 (9 Punkte)



(a) Leiten Sie einen Ausdruck für den lateralen Strahlenversatz s für eine Glasplatte mit Brechungsindex n und Dicke D (in Luft: $n = 1$) her. Geben Sie ihn nur in Abhängigkeit von θ_e, n und D an (d.h. ersetzen Sie θ_t entsprechend).
Hinweis: $\tan\left(\sin^{-1}(x)\right) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}}$ $\qquad \sin(\alpha - \beta) = \sin\alpha\cos\beta - \sin\beta\cos\alpha$

(b) Sie wollen diesen Effekt in der entgegengesetzten Richtung nutzen, um zwei parallele Strahlen mit den Wellenlängen $\lambda_1 = 300$ nm und $\lambda_2 = 600$ nm zu überlagern (siehe Abbildung b). Berechnen Sie die nötige Plattendicke D unter der Annahme eines anfänglichen Strahlabstands $\Delta d = 1$ mm, eines Einfallswinkels von $\theta_e = 45°$ und einer Flintglas Platte mit den wellenlängenabhängigenn Brechungsindex $n_1 = n(\lambda_1) = 1,878$ und $n_2 = n(\lambda_2) = 1,720$.

Lösung



(a) Es gelten die folgenden geometrischen Zusammenhänge (siehe Abbildung):

$$s = L\sin\left(\theta_e - \theta_t\right), \quad L = \frac{D}{\cos\theta_t} \tag{1}$$

[1]

Daraus erhält man

$$s = \frac{\sin\left(\theta_e - \theta_t\right)}{\cos\theta_t} D = \frac{\sin\theta_e\cos\theta_t - \cos\theta_e\sin\theta_t}{\cos\theta_t} D = \left(\sin\theta_e - \cos\theta_e\tan\theta_t\right) D \tag{2}$$

[1]

mit

$$\sin\theta_e = n\sin\theta_t \tag{3}$$

[1]

folgt für $\tan\theta_t$:

$$\tan\theta_t = \tan\left\{\sin^{-1}\left(\frac{\sin\theta_e}{n}\right)\right\} = \frac{\frac{1}{n}\sin\theta_e}{\sqrt{1-\left(\frac{1}{n}\sin\theta_e\right)^2}} \tag{4}$$

[1]

Unter Verwendung von

$$\tan\left(\sin^{-1}(x)\right) = \frac{x}{\sqrt{1-x^3}} \tag{5}$$

erhält man für den Strahlversatz s:

$$s = \left(\sin\theta_e - \cos\theta_e \frac{\frac{1}{n}\sin\theta_e}{\sqrt{1-\left(\frac{1}{n}\sin\theta_e\right)^2}}\right) D = \sin\theta_e\left(1 - \frac{\cos\theta_e}{\sqrt{n^2-\sin^2\theta_e}}\right) D \tag{6}$$

[1]

(b) Aus (a):

$$s_j = \sin\theta_e\left(1 - \frac{\cos\theta_e}{\sqrt{n_j^2-\sin^2\theta_e}}\right) D, \qquad j = 1, 2 \tag{7}$$

Damit gilt für die Differenz

$$\Delta s = s_1 - s_2 = \sin\theta_e\left(1 - \frac{\cos\theta_e}{\sqrt{n_1^2-\sin^2\theta_e}}\right) D - \sin\theta_e\left(1 - \frac{\cos\theta_e}{\sqrt{n_2^2-\sin^2\theta_e}}\right) D \tag{8}$$

$$= \sin\theta_e\cos\theta_e\left(\frac{1}{\sqrt{n_2^2-\sin^2\theta_e}} - \frac{1}{\sqrt{n_1^2-\sin^2\theta_e}}\right) D \tag{9}$$

Aufgelöst nach der Plattendicke D ergibt sich

$$D = \left(\frac{1}{\sqrt{n_2^2-\sin^2\theta_e}} - \frac{1}{\sqrt{n_1^2-\sin^2\theta_e}}\right)^{-1} \frac{\Delta s}{\sin\theta_e\cos\theta_e} \tag{10}$$

$$= \left(\frac{1}{1.740} - \frac{1}{1.568}\right)^{-1} 10^{-3}\ \mathrm{m}\cdot 2 = 0{,}032\ \mathrm{m} = 3{,}2\ \mathrm{cm} \tag{11}$$

[4]

Aufgabe 2 (9 Punkte)

(a) Wasserwellen haben eine Phasengeschwindigkeit, die proportional zur Wurzel der Tiefe des Wassers ist. In tiefem Wasser verhalten sich Wasserwellen allerdings so, dass die Tiefe proportional zur Wellenlänge λ ist. Zeigen Sie, dass die Phasengeschwindigkeit in tiefem Wasser doppelt so groß wie die Gruppengeschwindigkeit ist.

(b) In der Quantenmechanik wird ein freies Teilchen der Masse m, das sich in x-Richtung ausbreitet, durch die Wellenfunktion

$$\Psi(x,t) = A \cdot e^{i(px-Et)/\hbar}$$

beschrieben. Dabei ist p der Impuls und $E = \frac{p^2}{2m}$ die kinetische Energie des Teilchens. Berechnen Sie die Gruppen- und die Phasengeschwindigkeit des Teilchens.

Lösung

(a) Die Phasengeschwindigkeit ist proportional zur Wurzel aus der Wellenlänge:

$$v_{ph} = \alpha\sqrt{\lambda} \tag{12}$$

Es gilt:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \quad \text{und} \quad v_{ph} = \frac{\omega}{k} \tag{13}$$

[**1**]

und damit:

$$\omega = \alpha k\sqrt{\frac{2\pi}{k}} = \alpha\sqrt{2\pi k} \tag{14}$$

[**1**]

Für die Gruppengeschwindigkeit gilt:

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} = \alpha\sqrt{2\pi}\frac{1}{2\sqrt{k}} = \frac{1}{2}\alpha\sqrt{\frac{2\pi}{k}} = \frac{1}{2}\alpha\sqrt{\lambda} = \frac{1}{2}v_{ph} \tag{15}$$

[**2**]

(b) Für den Exponenten in der Wellenfunktion gilt:

$$\frac{i(px-Et)}{\hbar} = i(kx-\omega t) \tag{16}$$

und daraus erhält man die Wellenzahl sowie die Frequenz:

$$k = \frac{p}{\hbar} \quad \text{und} \quad \omega = \frac{E}{\hbar} = \frac{p^2}{2m\hbar} = \frac{\hbar k^2}{2m} \tag{17}$$

[**2**]

Damit folgt für die Gruppen- und die Teilchengeschwindigkeit:

$$v_{ph} = \frac{\omega}{k} = \frac{E}{p} = \frac{p}{2m} = \frac{\hbar k^2}{2m} \tag{18}$$

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{2\hbar k}{2m} = \frac{\hbar k}{m} = \frac{p}{m} \tag{19}$$

$$v_{ph} = \frac{1}{2}v_g \tag{20}$$

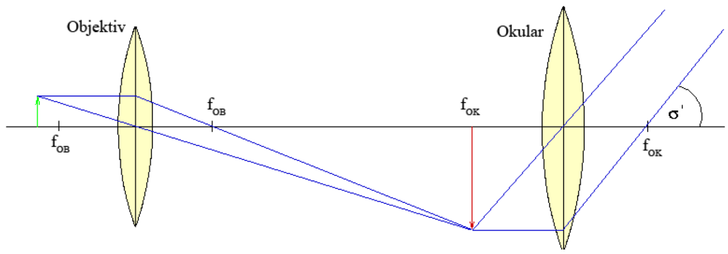
[**3**]

Aufgabe 3 (8 Punkte)

Ein Mikroskop hat die Gesamtvergrößerung $V_M = 600$. Sein Okular hat die Winkelvergrößerung $V_{Ok} = 15,0$. Die Linse seine Objektivs ist $22,0$ cm vom Okular entfernt. Berechnen Sie

(a) die Brennweite des Okulars f_{Ok}

(b) den Abstand g des Gegenstands vom Objektiv, wenn das Bild mit normalsichtigem, entspanntem Auge betrachtet werden kann und die Brennweite des Objektivs.



Lösung

(a) Die Brennweite f_{Ok} des Okulars erhält man aus der Vergrößerung V_{Ok}:

$$V_{Ok} = \frac{25\text{ cm}}{f_{Ok}} \quad \Rightarrow \quad f_{Ok} = \frac{25\text{ cm}}{V_{Ok}} = \frac{25\text{ cm}}{15} = 1,67\text{ cm}. \tag{21}$$

[2]

(b) Die Gegenstandsweite g am Objektiv erhalten wir aus der Vergrößerung V_{Ob}:

$$V_{Ob} = \frac{-b}{g} \quad \Rightarrow \quad g = -\frac{b}{V_{Ob}} \tag{22}$$

[1]

Die Bildweite beim Objektiv ist

$$b = 22\text{ cm} - f_{Ok} = 20,33\text{ cm} \tag{23}$$

[1]

Seine Vergrößerung V_{Ob} ergibt sich aus der Beziehung

$$V_M = V_{Ob}V_{Ok} \quad \Rightarrow \quad V_{Ob} = \frac{V_M}{V_{Ok}} \tag{24}$$

[1]

Damit erhalten wir für die Gegenstandsweite

$$g = -\frac{b}{V_{Ob}} = -\frac{bV_{Ok}}{V_M} = \frac{-(20,33\text{ cm}) \cdot 15}{-600} = 0,508\text{ cm} \tag{25}$$

[1]

(c) Die Brennweite des Objektivs ergibt sich direkt aus der Abbildungsgleichung für dünne Linsen:

$$f_{OB} = \frac{bg}{b+g} = \frac{20,33 \cdot 0,508 \text{ cm}^2}{(20,33 + 0,508) \text{ cm}} = 0,496 \text{ cm} \tag{26}$$

[**2**]

Aufgabe 4 (8 Punkte)

Auf einen Spalt der Breite a fällt Licht der Wellenlänge $\lambda = 750$ nm. Man beobachtet auf einem $L = 4$ m entferten Schirm eine Beugungsfigur.

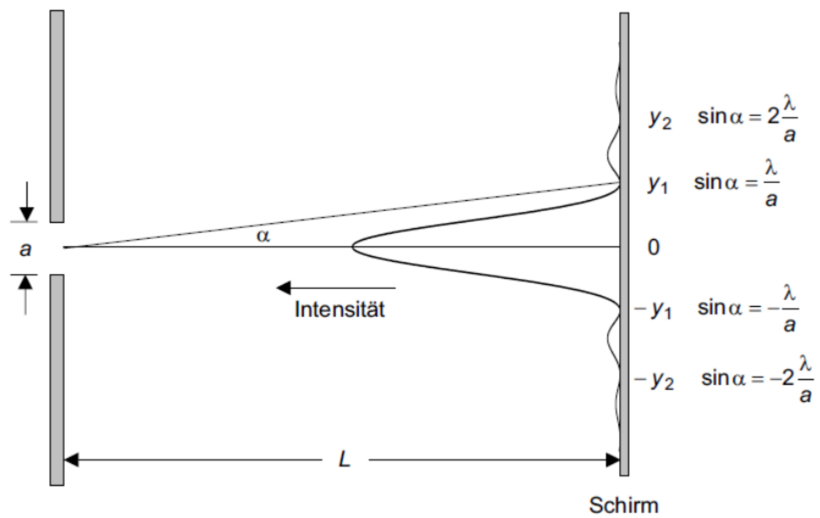
(a) Welche Breite muss der Spalt haben, damit die beiden Minima 1. Ordnung links und rechts von der hellen Mitte den Abstand $d = 12$ mm voneinander haben?

(b) Bestimmen Sie die Anzahl der Minima, die auf dem Schirm insgesamt zu sehen sind.

(c) Betrachten Sie jetzt nur die eine Seite der Beugungsfigur, rechts von der hellen Mitte. Zeigen Sie für kleine Winkel, dass der Abstand zweier aufeinanderfolgender Minima (m und $m+1$) konstant ist.

Lösung

(a) Bei einem Einzelspalt sieht die Beugungsfigur auf einem Schirm folgendermaßen aus: Aus



der Geometrie ist folgender Sachverhalt bekannt:

$$\frac{y_m}{L} = \tan \alpha_m \tag{27}$$

[**1**]

Darüber hinaus gilt für $L >> a$ näherungsweise $\tan\alpha_m \approx \sin\alpha_m$ Für die ersten beiden symmetrischen Dunkelstreifen (destruktive Interferenz am Einzelspalt) gilt für $m = \pm 1$ für die Ablenkwinkel

$$\sin\alpha_m = m\frac{\lambda}{a} \tag{28}$$

[**1**]

und mit der obigen Näherung

$$\frac{y_{\pm 1}}{L} = \pm\frac{\lambda}{a} \tag{29}$$

und die Forderung

$$d = y_{+1} - y_{-1} = L\frac{\lambda}{a}\left(1 - (-1)\right)) = 2L\frac{\lambda}{a}. \tag{30}$$

[**1**]

Daraus erhält man

$$a = \frac{2L\lambda}{d} = 5 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m} = 0,5\ \mathrm{mm} \tag{31}$$

[**1**]

(b) Es genügt zunächst, sich nur die rechte Seite der hellen Mitte zu betrachten.

Die Sinusfunktion ist nach oben beschränkt auf $\sin\alpha_m \neq 1$. Nützt man die Symmetrie der Dunkelstreifen aus, so folgt damit für die Ordnung auf der rechten Seite der hellen Mitte:

$$\sin\alpha_m = m\frac{\lambda}{a} \neq 1 \quad\Rightarrow\quad m \neq \frac{a}{\lambda} = 666 \tag{32}$$

Wegen der Symmetrie sind auf der linken Seite der hellen Mitte genauso viele Dunkelstellen. Insgesamt sind also 1332 Dunkelstellen zu sehen.

[**3**]

Anmerkung: Dies wäre jedoch nur theoretisch auf einem unendlich ausgedehnten Schirm zu sehen, zumal die Intensität ebenfalls nach außen hin stark abnimmt.

(c) Für den Abstand zweier benachbarter Dunkelstellen gilt

$$\sin\alpha_m = m\frac{\lambda}{a} \quad m = \pm 1, \pm 2, ... \tag{33}$$

und mit obiger Näherung $\frac{y_m}{L} = \tan\alpha \approx \sin\alpha_m$ für kleine Ablenkungswinkel folgt

$$\frac{y_m}{L} = m\frac{\lambda}{a} \quad\Rightarrow\quad y_m = mL\frac{\lambda}{a}, \quad m = \pm 1, \pm 2, ... \tag{34}$$

Der Abstand zweier benachbarter Dunkelstellen ist also

$$d = y_{m+1} - y_m = L\frac{\lambda}{a}\left((m+1) - m\right) = L\frac{\lambda}{a} \tag{35}$$

[**2**]

also unabhängig von der Ordnung und somit konstant.

Aufgabe 5 (9 Punkte)

Linear polarisiertes Licht der Wellenlänge λ fällt senkrecht auf ein planparalles Kalksptplättchen der Dicke d. Die Polarisationsrichtung bildet dabei einen Winkel von 45° mit der optischen Achse des Plättchens.
Der Brechungsindex für den ordentlichen Strahl ist $n_o = 1,6584$, der Brechungsindex für den außerordentlichen Strahl ist $n_{ao} = 1,4864$. Hinter der Platte befindet sich ein Polarisationsfilter, dessen Durchlassrichtung mit der optischen Achse einen Winkel Θ bildet.

(a) Wie groß ist die Intensität des Lichtes nach dem Polarisationsfilter, wenn die einfallende Intensität I_0 ist?

(b) Was ergibt sich für $\lambda = 500$ nm und $d = 6,541\ \mu m$? Wie ist in diesem Fall das die Platte verlassende Licht polarisiert?

Lösung

(a) Zerlegen wir den elektrischen Feldvektor in seine Komponenten parallel zur optischen Achse des Mediums (außerordentlich) und senkrecht dazu (ordentlich), so erhalten wir:

$$\vec{E} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}(\vec{e}_x + \vec{e}_y)e^{i\omega t} \tag{36}$$

[1]

wobei $\vec{e}_x$ und $\vec{e}_y$ die Einheitsvektoren in x- und y-Richtung sind und die optische Achse parallel zur y-Richtung steht. Die Phasenverschiebung für beide Komponenten beim Durchgang durchs Plättchen ist:

$$\phi_{ao} = \frac{2\pi}{\lambda} d n_{ao} \tag{37}$$

$$\phi_o = \frac{2\pi}{\lambda} d n_o \tag{38}$$

$$\Rightarrow \Delta\phi = \phi_o - \phi_{ao} = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_o - n_{ao}) \tag{39}$$

[1]

Nach dem Durchgang ergibt sich der Feldvektor zu:

$$\vec{E} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} e^{i\omega t} \left(\vec{e}_x e^{i\phi_o} + \vec{e}_y e^{i\phi_{ao}}\right) \tag{40}$$

[1]

Nach Durchgang durch den Polarisator erhält man:

$$\vec{E} = \vec{e}_{pol} \frac{E_0}{\sqrt{2}} e^{i\omega t} \left(e^{i\phi_o} \sin\Theta + e^{i\phi_{ao}} \cos\Theta\right) \tag{41}$$

[1]

Die Intensität ist das Betragsquadrat:

$$
\begin{aligned}
I &= \frac{E_0^2}{2}\left(\sin\Theta e^{i\phi_o} + \cos\Theta e^{i\phi_{ao}}\right)\left(\sin\Theta e^{-i\phi_o} + \cos\Theta e^{-i\phi_{ao}}\right) && (42)\\
&= \frac{E_0^2}{2}\left(\sin^2\Theta + \cos^2\Theta + \sin\Theta\cos\Theta\left(e^{i(\phi_o-\phi_{ao}} + e^{-i(\phi_o-\phi_{ao})})\right)\right) && (43)\\
&= \frac{E_0^2}{2}\left(1 + \sin\Theta\cos\Theta\cos\Delta\phi\right) && (44)\\
&= \frac{I_0}{2}\left(1 + 2\sin 2\Theta\cos\phi\right) && (45)
\end{aligned}
$$

[2]

(b) Man erhält

$$\Delta\phi = 4,5\pi \tag{46}$$

[1]

und somit

$$I = \frac{I_0}{2} \tag{47}$$

[1]

Die Intensität ist unabhängig von Θ! Das Licht ist zirkular polarisiert nach Verlassen des Kalkspatplättchens. Es handelt sich also um ein $\frac{\lambda}{4}$-Plättchen.

Aufgabe 6 (11 Punkte)

Die mit Barium (Austrittsarbeit $W_A = 2,52$ eV) beschichtete Kathode einer Vakuum-Fotozelle wird mit monochromatischem Licht der Wellenlänge 397 nm bestrahlt.

(a) Wenden Sie den Energieerhaltungssatz auf diesen Vorgang an und leiten Sie daraus eine Gleichung zur Berechnung des Plankschen Wirkungsquantums her.

(b) Die Fotoelektronen verlassen mit der kinetischen Energie $9,66 \cdot 10^{-20}$ J die Kathodenoberfläche. Anschließend werden sie im elektrischen Feld zwischen Kathode und Anode auf die Geschwindigkeit Null abgebremst. Berechnen Sie die Anfangsgeschwindigkeit der Elektronen und die zwischen Kathode und Anode mindestens anzulegende Spannung.

(c) Die Kathode wird jetzt mit Licht größerer Wellenlänge bestrahlt. Ermitteln Sie die Grenzwellenlänge des eingestrahlten Lichts, ab der keine Fotoelektronen mehr emittiert werden.

(d) Stellen Sie die Abhängigkeit der kinetischen Energie emittierter Elektronen von der Frequenz des eingestrahlten Lichts grafisch dar und interpretieren Sie diesen Zusammenhang.

Lösung

(a) Die Photonen treffen auf das Metall und lösen Elektronen heraus. Dazu ist Austrittsarbeit notwenig. Die restliche Energie wird zum Beschleunigen der Elektronen eingesetzt:

$$E_{Ph} = h \cdot f = W_A + E_{kin} \quad \Rightarrow \quad h = \frac{W_A + E_{kin}}{f} \tag{48}$$

Dabei ist $E_{kin} = 9,66 \cdot 10^{-20}$ J (siehe (b)), $W_A = 2,52$ eV und die Frequenz f erhält man aus $c = \lambda \cdot f$.

[2]

(b) Die Geschwindigkeit erhält man aus der kinetischen Energie:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{kin}}{m}} = 460 \cdot 10^3 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \tag{49}$$

Die Spannung erhält man durch Gleichsetzen der kinetischen Energie mit der Energie des elektrischen Feldes:

$$e \cdot U = E_{kin} \quad \Rightarrow U = \frac{E_{kin}}{e} = 0,603 \ \mathrm{V} \tag{50}$$

[2]

(c) Bei der gesuchten Wellenlänge wird keinem Elektron eine kinetische Energie übertragen, sondern die gesamte Energie des Photons wird gerade für die Ablösearbeit verwendet.

$$h \cdot f = W_A \quad \Rightarrow f = \frac{W_A}{h} = 6,09 \cdot 10^{14} \ \mathrm{Hz} \tag{51}$$

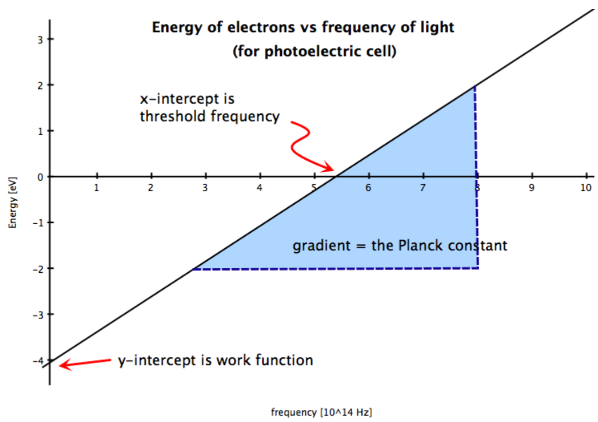
[2]

Daraus erhält man die Wellenlänge

$$c = \lambda \cdot f \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{c}{f} = 492 \ \mathrm{nm} \tag{52}$$

[2]

(d) Die Kurve ist eine Einstein-Kurve. Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen beiden Größen. Werden Photonen mit einer Frequenz größer als die Grenzfrequenz benutzt, besitzen die heraus gelösten Elektronen die entsprechende Energie, die an der Energieachse abzulesen ist.



[3]

Aufgabe 7 (4 Punkte)

Welche Temperatur hat eine schwarze Kugel von $0,1$ m Radius, die insgesamt 123 W thermisch abstrahlt? Wie groß ist der Massenverlust pro Jahr?

Lösung

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz liefert

$$P = 4\pi r^2 \sigma T^4 \tag{53}$$

[1]

wobei r der Radius der Kugel und σ die Stefan-Boltzmann-Konstante ist. Damit erhält man:

$$P = \pi \cdot (0,1\ \mathrm{m})^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{Wm^{-2}K^{-4}T^4} = 1,78 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{WK^{-4}} \tag{54}$$

Daraus ergibt sich:

$$T = 362\ \mathrm{K} \tag{55}$$

[1]

Der Massenverlust ist:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{Pt}{c^2} = \frac{123\ \mathrm{W} \cdot (365 \cdot 24 \cdot 3600)\ \mathrm{s}}{c^2} = 4,3\ \cdot 10^{-8}\ \mathrm{kg} = 43\ \mu\mathrm{g} \tag{56}$$

[2]

Konstanten

Elektrische Feldkonstante:	$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}\mathrm{CV^{-1}m^{-1}}$
Elementarladung:	$e = 1.60 \cdot 10^{-19}\mathrm{C}$
Planck'sche Konstante:	$h = 6.63 \cdot 10^{-34}\mathrm{Js} = 4,14 \cdot 10^{-15}\mathrm{eVs}$
Lichtgeschwindigkeit:	$c = 3 \cdot 10^8\mathrm{ms^{-1}}$
Elektronenruhemasse:	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\mathrm{kg}$
Stefan Boltzmann Konstante:	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2K^4}}$
Wiensche Verschiebungskonstante:	$b = 2,9 \cdot 10^{-3}\mathrm{mK}$