Lösungen Abitur Grundkurs Physik
Mecklenburg Vorpommern 2000

Die Lösungsvorschläge wurden erarbeitet von Referendarinnen und Referendaren des Landesinstituts für Schule und Ausbildung, Pädagogisches Regionalinstitut Rostock, Studienseminar für Gymnasien.

Doris Hansen	Aufgaben A2, B2 und 3.1
Steffen Pieth	Aufgaben A1 und 3.2
Reinhard Schulze	Aufgaben B1 und 3.3

Aufgabe 1: Bewegungsvorgänge

Zu 1: Die Durchschnittsgeschwindigkeit $\bar{v}$ ist die Geschwindigkeit, mit der ein Körper eine Strecke Δs in der Zeit Δt zurücklegt. Sie berechnet sich als Quotient aus dem gesamten durch den Körper zurückgelegten Weg und der dafür benötigten Zeit, also nach der Formel: $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist der Anstieg der Gerade durch die Punkte $(t_1; s_1)$ und $(t_2; s_2)$ im *s(t)*-Diagramm der Bewegung.

Die Momentangeschwindigkeit v, die ein Körper zum Zeitpunkt *t* besitzt, ist der Grenzwert der Durchschnittsgeschwindigkeit $\bar{v}$ für $\Delta t \to 0$.

Es gilt: $v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$.

Die Momentangeschwindigkeit $v(t_0) = v_0$, die ein Körper zum Zeitpunkt $t = t_0$ besitzt, ist der Anstieg der Tangente an den Graphen der Funktion $s = s(t)$ im $s(t)$-Diagramm an der Stelle $t = t_0$. Einheit der Geschwindigkeit: $[v] = 1\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Die Beschleunigung a, die ein Körper zum Zeitpunkt t besitzt, ist der Grenzwert $a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$; sie gibt an, wie groß die Geschwindigkeitsänderung pro Zeit ist.

Die Beschleunigung $a(t_0) = a_0$, die ein Körper zum Zeitpunkt $t = t_0$ besitzt, ist der Anstieg der Tangente an den Graphen der Funktion $v = v(t)$ im $v(t)$-Diagramm an der Stelle $t = t_0$.

Einheit der Beschleunigung: $[a] = 1\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Bei der geradlinig, gleichförmigen Bewegung sind Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt t der Bewegung gleich groß, da diese Bewegung durch die zeitliche Konstanz der Geschwindigkeit gekennzeichnet ist.

Bei der geradlinig, gleichmäßig beschleunigten Bewegung sind Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit zum Zeitpunkt t im allgemeinen verschieden, da diese Bewegung durch die gleichmäßige Zu- oder Abnahme der Momentangeschwindigkeit gekennzeichnet ist. Es gibt nur genau einen Zeitpunkt $t_0 \in [t_1; t_2]$, für den Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit gleich sind, für den also gilt: $\bar{v} = v(t_0)$.

Zu 2: Die beschriebene Messanordnung ist gut geeignet, die Momentangeschwindigkeit des Gleiters zu bestimmen, falls die Blendenbreite Δs hinreichend klein ist und die elektronische Stoppuhr kleine Zeiten ausreichend genau messen kann. Unter diesen Voraussetzungen kann man Momentangeschwindigkeit $v(t)$ und Durchschnittsgeschwindigkeit $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

näherungsweise gleichsetzen. Mit zunehmender Blendenbreite Δs weichen Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit immer stärker voneinander ab.

Zu 3:

(a) Der Gleiter führt eine geradlinig, gleichmäßig beschleunigte Bewegung aus; die beschleunigende Kraft F_B ist die Gewichtskraft des Hakenkörpers, es gilt also nach dem NEWTONschen Grundgesetz $F_B = m_2 \cdot g$. Durch diese Kraft werden der Hakenkörper sowie der Gleiter gleichmäßig beschleunigt; die Kraft F_S des beschleunigten Systems (Gleiter und Hakenkörper) berechnet sich nach dem NEWTONschen Grundgesetz nach der Formel $F_S = (m_1 + m_2) \cdot a$.

(b) Diese Kräfte sind gleich groß (Reibung vernachlässigt). Da die Massen und die Fallbeschleunigung konstant sind, folgt, dass auch die Beschleunigung a konstant ist; der Gleiter vollführt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.

Beschleunigende Kraft: $F_B = m_2 \cdot g$

Kraft des beschleunigten Systems (Gleiter und Hakenkörper): $F_S = \left(m_1 + m_2\right) \cdot a$

$$F_S = F_B$$

$$\left(m_1 + m_2\right) \cdot a = m_2 \cdot g \quad \left|: \left(m_1 + m_2\right)\right.$$

$$a = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot g = \frac{5{,}00\text{g}}{200\text{g} + 5{,}00\text{g}} \cdot 9{,}81\,\tfrac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

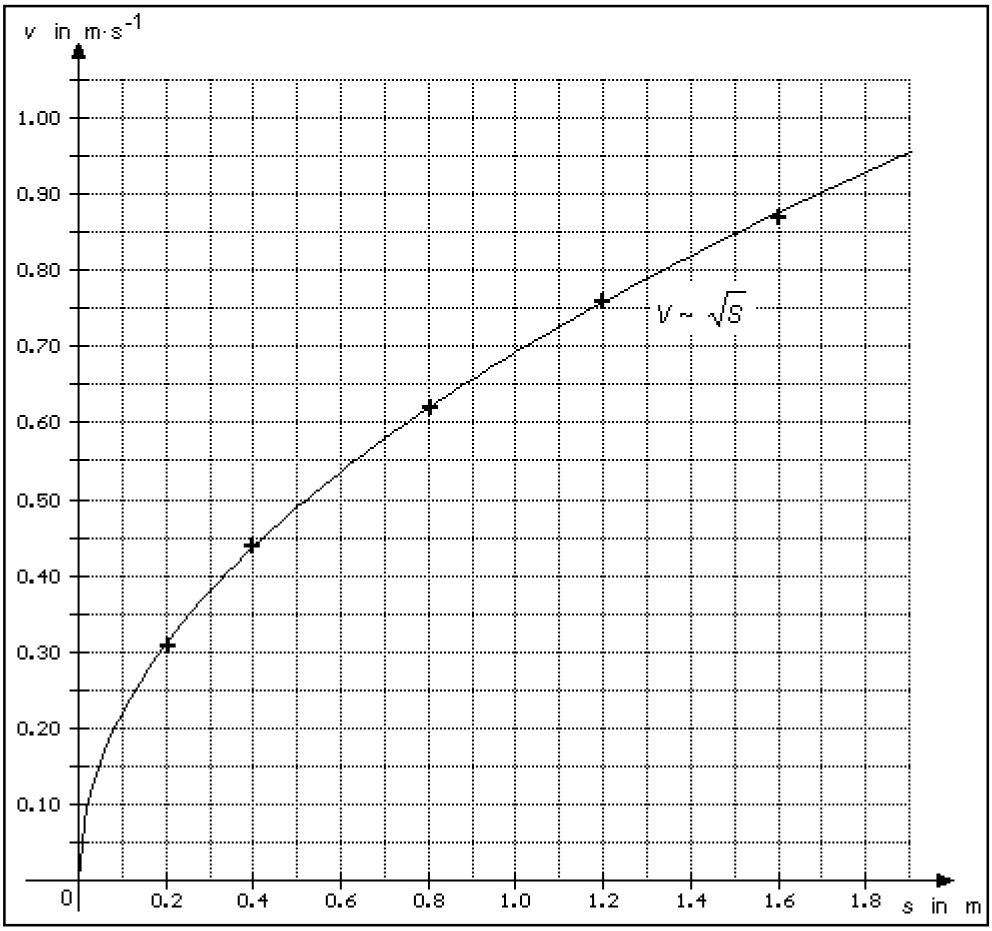
$$\underline{\underline{a = 0{,}239\,\tfrac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

(b) Berechnung der Momentangeschwindigkeiten nach

$v \approx \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0{,}02\text{m}}{\Delta t}$; Δs...Spaltbreite

Messort	1	2	3	4	5
Strecke s in m	0,20	0,40	0,80	1,20	1,60
Dunkelzeit Δt in 10^{-3} s	64,5	45,7	32,3	26,4	23,0
Momentangeschw. v in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0,310	0,438	0,619	0,758	0,870

$v(s)$ - Diagramm



(c) Geschwindigkeit-Zeit Gesetz: $v = a \cdot t \Rightarrow t = \frac{v}{a}$

Einsetzen in das Weg-Zeit-Gesetz:

$$s = \frac{a}{2} t^2 \Rightarrow s = \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{v}{a}\right)^2 \Rightarrow s = \frac{v^2}{2a} \Rightarrow \underline{\underline{v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}}}$$

Berechnung der Beschleunigungen nach $a = \frac{v^2}{2s}$

Messort	1	2	3	4	5
Strecke s in m	0,20	0,40	0,80	1,20	1,60
Dunkelzeit Δt in 10^{-3} s	64,5	45,7	32,3	26,4	23,0
Momentangeschw. v in $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$	0,310	0,438	0,619	0,758	0,870
Beschleunigung a in $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$	0,240	0,240	0,239	0,239	0,237

Um den Einfluss zufälliger Fehler bei der Aufnahme der Messwerte zu minimieren, wird in nachfolgenden Betrachtungen für die Beschleunigung das arithmetische Mittel der berechneten Einzelbeschleunigungen zugrunde gelegt.

$$\overline{a} = \frac{0{,}240 + 0{,}240 + 0{,}239 + 0{,}239 + 0{,}237}{5} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

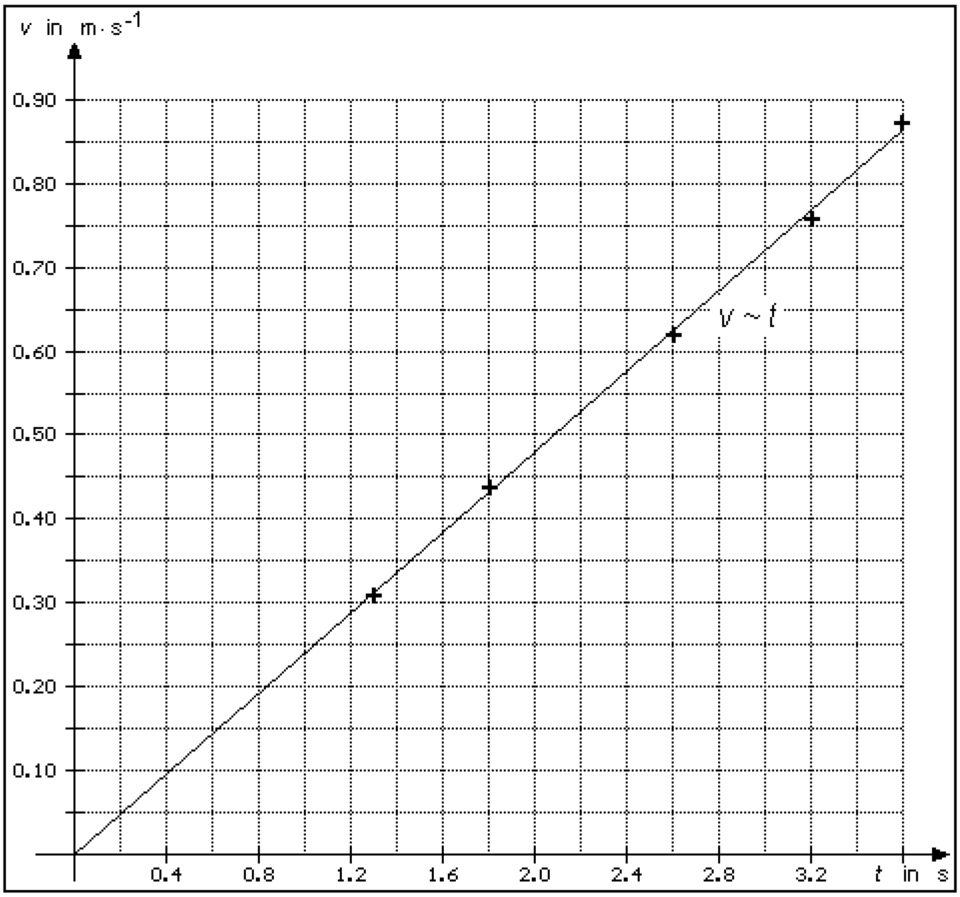
$$\underline{\underline{\overline{a} = 0{,}239 \tfrac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

Der experimentell ermittelte Wert der Beschleunigung stimmt mit dem theoretisch ermittelten sehr gut überein.

(d) Berechnung der Zeiten nach $t = \dfrac{v}{\overline{a}}$.

Messort	1	2	3	4	5
Strecke s in m	0,20	0,40	0,80	1,20	1,60
Dunkelzeit Δt in 10^{-3} s	64,5	45,7	32,3	26,4	23,0
Momentangeschw. v in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0,310	0,438	0,619	0,758	0,870
Beschleunigung a in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	0,240	0,240	0,239	0,239	0,237
t in s	1,3	1,8	2,6	3,2	3,6

$v(t)$- Diagramm



Zu 4: Man kann die Bewegung des Gleiters nach dem Aufprall auf die Feder als gleichmäßig beschleunigt mit der im Experiment ermittelten (negativen) Beschleunigung $-a = -0{,}239\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, der Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 0{,}830\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ und der Endgeschwindigkeit $v_E = 0$ auffassen.

Es gilt die Beziehung $v(t) = -a \cdot t + v_0$. Daraus folgt $v_E = v(t_E) = -a \cdot t_E + v_0$ und mit $v_E = 0$ ergibt sich $0 = -a \cdot t_E + v_0$ sowie $t_E = \frac{v_0}{a}$.

Setzt man diese Gleichung in das Weg-Zeit-Gesetz $s(t) = \frac{a}{2} \cdot t^2$ ein, so erhält man $s(t_E) = \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{v_0}{a}\right)^2 = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{\left(0{,}830\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \cdot 0{,}239\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = \underline{\underline{1{,}44\,\mathrm{m}}}$ als die Entfernung von der Feder, in der der Gleiter nach dem Rückstoß zum Stillstand kommt.

Ein alternativer Ansatz folgt aus der Anwendung des Energieerhaltungssatzes auf diesen Vorgang. Die kinetische Energie des Gleiters und des Hakenkörpers unmittelbar nach dem Abstoß an der Feder ist gleich der potentiellen Energie des Hakenkörpers zu den Zeitpunkt wenn das System zum Stillstand kommt

Es ergibt sich $\frac{1}{2}(m_1 + m_2) \cdot v^2 = m_2 \cdot g \cdot h$.

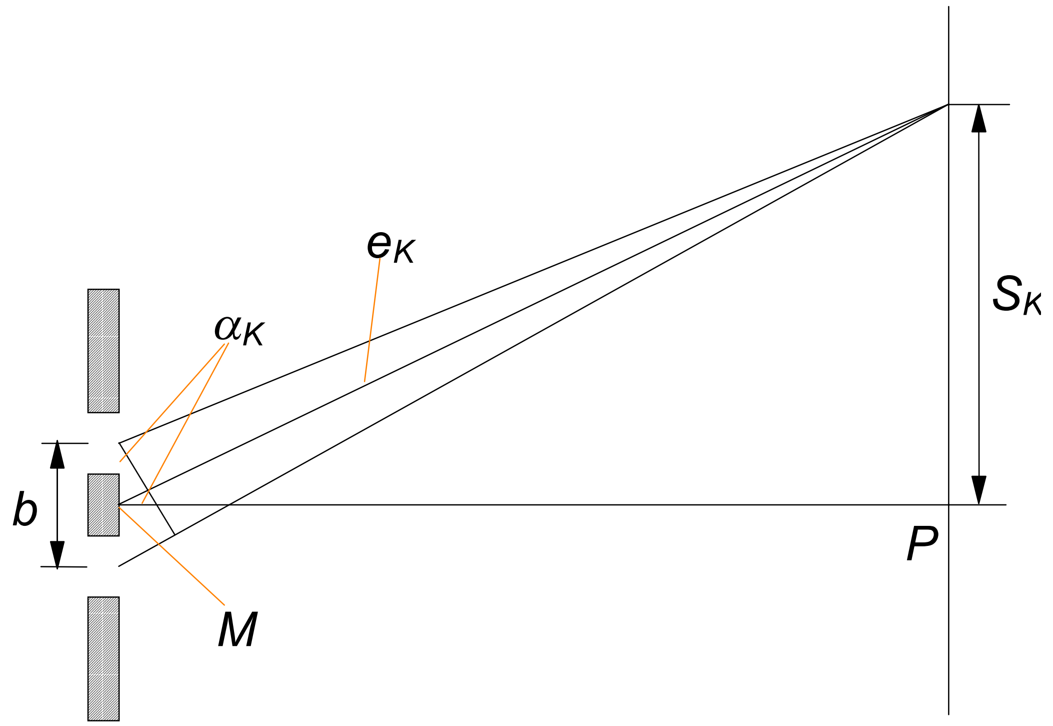
$$h = \frac{\frac{1}{2}(m_1 + m_2) \cdot \mathrm{v}^2}{m_2 \cdot g} = \frac{\frac{1}{2}(0{,}200\,\mathrm{kg} + 0{,}005\,\mathrm{kg}) \cdot (0{,}83\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}})^2}{0{,}005\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = 1{,}44\,\mathrm{m}$$

<u>Aufgabe 2</u>: Wellenoptik

Zu 1:

(a) Auf die Spalte des Doppelspalts fällt das monochromatische Licht des Lasers. Die Spalte wirken als Lichtquellen, die kohärentes Licht aussenden (Kohärentes Licht weist dieselbe Frequenz auf und die emittierten Wellenzüge besitzen eine feste Phasenbeziehung). An den Spaltöffnungen wird das Licht gebeugt. Dadurch erfüllt das Licht den gesamten Raum hinter dem Doppelspalt. Hier kommt es zur Überlagerung des Lichts.
Jeder Punkt in der Ebene hat einen bestimmten Abstand zu beiden Spaltöffnungen. Dadurch besteht zwischen den Wellenzügen des Lichts aus den Spalten ein bestimmter Gangunterschied. Bis auf die Strecke $\overline{MP}$ sind die Abstände von einem Punkt der Ebene zu beiden Spalten unterschiedlich groß. Das Licht aus den beiden Spalten interferiert miteinander und erzeugt auf dem Schirm die in der Aufgabenstellung skizzierte Beobachtung.

(b)



$k \in N$ gilt:

konstruktive Interferenz (Maxima k-ter Ordnung):

$$\frac{k \cdot \lambda}{b} = \sin\alpha_k \quad \text{und} \quad \frac{s_k}{e_k} = \sin\alpha_k$$

destruktive Interferenz (Minima k-ter Ordnung):

$$\frac{(2k+1)\cdot\lambda}{2\cdot b} = \sin\alpha_k$$

Für die Betrachtung des Einflusses der Veränderung des Spaltabstandes werden die Veränderungen der Lagen der Maxima 1. und 2. Ordnung betrachtet.

Für den Abstand des Maximums 1. Ordnung vom Maximum 0. Ordnung (P) gilt: $s_1 = e_1 \cdot \frac{1 \cdot \lambda}{b}$, da $s_0 = 0$. Nun wird mit der Näherung $e_1 \approx e_0$ gerechnet. Diese beinhaltet, dass der Sinus- und der Tangenswert eines Winkels gleichgesetzt werden. Damit erhält man die Formel: $s_1 \approx e_0 \cdot \frac{1 \cdot \lambda}{b}$. Wird die Spaltbreite b vergrößert, aber die Wellenlänge λ und der Abstand von Doppelspalt und Schirm e_0 nicht verändert, so wird der Wert des Quotienten auf der rechten Seite der Gleichung kleiner und somit sinkt der Wert für den Abstand des Maximums 1. Ordnung vom Maximum 0. Ordnung s_1, d.h. sie liegen näher zusammen.
Für die Berechnung des Abstandes des Maximums 2. Ordnung vom Maximum 0. Ordnung gilt : $s_2 \approx e_0 \cdot \frac{2 \cdot \lambda}{b}$. Bei Vergrößerung der Spaltbreite b vergrößert sich dieser Abstand.
Der Abstand des Maximums 2. Ordnung vom Maximum 1. Ordnung berechnet sich näherungsweise durch: $s_2 - s_1 \approx e_0 \cdot \frac{2 \cdot \lambda}{b} - e_0 \cdot \frac{1 \cdot \lambda}{b} = e_0 \cdot \frac{1 \cdot \lambda}{b}$, so dass sich auch dieser verringert, wenn die Spaltbreite größer gewählt wird. Das bedeutet, dass die Maxima 2. und 1. Ordnung näher zusammenliegen.
Nach der Betrachtung dieses Spezialfalls schließt sich eine allgemeine Untersuchung der Lage der Maxima an.

Wenn der Spaltabstand b verändert wird und alle anderen Bedingungen (Wellenlänge: λ, Abstand Doppelspalt-Schirm: e_0) konstant gehalten werden, verändern sich die Lagen der Minima und Maxima der Interferenzerscheinung. Je größer der Spaltabstand b, desto näher liegen die Maxima am Punkt P des Schirms und desto geringer ist der gegenseitige Abstand der Maxima. Dies wird im Folgenden anhand der Formel für die Lage des k-ten Maximums erläutert. Wenn die Spaltbreite b vergrößert wird, so wird der Quotient $\frac{k \cdot \lambda}{b}$ kleiner und damit auch der Winkel α_k ($0° \leq \alpha_k \leq 90°$). Dies führt dazu, dass der Abstand des 1. Maximums zum Punkt P kleiner wird. Nun wird der Abstand des k-ten vom $(k+1)$-ten Maximum untersucht: $\frac{(k+1) \cdot \lambda}{b} - \frac{k \cdot \lambda}{b} = \frac{1 \cdot \lambda}{b} = \sin \alpha_{k+1} - \sin \alpha_k$
Wird der Spaltabstand b vergrößert, so wird $\frac{1 \cdot \lambda}{b}$ kleiner und damit sinkt $\sin \alpha_{k+1} - \sin \alpha_k$ und damit auch $\alpha_{k+1} - \alpha_k$, so dass der Abstand zweier Maxima abnimmt.

Zu 2: In der Berechnung wird die Näherung $e_1 \approx e_0$ genutzt, d. h. es wird nicht zwischen dem Sinus- und dem Tangenswert eines Winkels unterschieden. Die Wellenlänge berechnet nach der Formel: $\lambda = b \cdot \frac{s_1}{e_0}$.

Gitter-Nr.	b in m	s_1 in m	λ in nm
1	$5{,}00 \cdot 10^{-5}$	0,0127	635
2	$2{,}50 \cdot 10^{-6}$	0,2620	655

Unter der Annahme, dass der in Aufgabe 2 beschriebene Laser für dieses Experiment genutzt wird, so gibt es bei der Benutzung des 2. Gitters eine nennenswerte Abweichung der experimentell ermittelten Wellenlänge von der vorgegebenen ($\lambda = 633\text{nm}$). Diese beruht nicht auf einem Messfehler. Die Näherung, die hier genutzt wurde, kann nur für kleine Winkel (Richtwert: $\alpha_k \leq 5°$) genutzt werden, für größere Winkelbeträge sind die Abweichungen zu groß und der Fehler, mit der die Wellenlänge bestimmt wird, steigt ebenfalls. Dies ist beim 2. Gitter der Fall, beim 1. Gitter ist die Näherung dagegen gerechtfertigt und der ermittelte Wert für die Wellenlänge stimmt gut mit dem gegebenen Wert überein.
Wenn die oben genannte Näherung nicht benutzt wird, ergibt sich die folgende Berechnung der Wellenlängen.

$e_1 = \sqrt{e_0^{\,2} + s_1^{\,2}}$ $\qquad \sin\alpha_1 = \dfrac{s_1}{e_1}$ $\qquad \lambda = b \cdot \sin\alpha_1$

Gitter-Nr.	b in m	s_1 in m	e_1 in m	α in °	λ in nm
1	$5{,}00 \cdot 10^{-5}$	0,0127	1,000	0,7	635
2	$2{,}50 \cdot 10^{-6}$	0,262	1,034	14,68	634

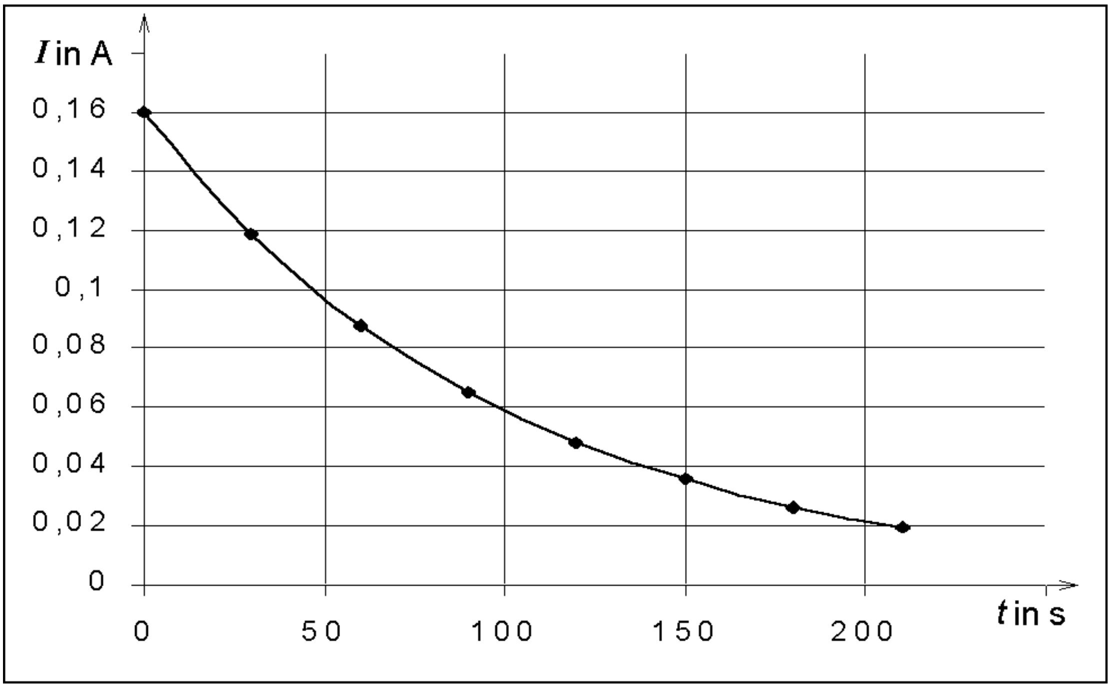
Bei dieser Berechnung wird von der obigen Näherung kein Gebrauch gemacht, so dass die aus den Messwerten berechnete Wellenlänge gut mit der gegebenen übereinstimmt.

Aufgabe 1 Kondensatoren mit höchster Kapazität

zu 1:
(a) graphische Darstellung der Messreihe

geg.: Diagramm $I(t)$, U = 16V, R = 100Ω
ges.: Ladung Q des Kondensators

Lös.: ***I*(*t*) – Diagramm des Entladens des Kondensators**



Die Ladung eines Kondensators lässt sich durch die Gleichung $C = \frac{Q}{U}$ bestimmen, dabei ist Q die aufgebrachte Ladung und U die verwendete Spannung. Die Spannung U ist bekannt. Die aufgebrachte Ladung Q ist die Ladung, die über den Widerstand beim Öffnen des Schalters abfließt. Sie lässt sich durch $Q = \int_{t_1}^{t_2} I\mathrm{d}t$ näherungsweise aus dem Diagramm mit t_1=0 und t_2=210s durch Auszählen der Kästchen bestimmen. Um den Inhalt der Fläche zu bestimmen, zählt man die Anzahl der Kästchen unterhalb der Kurve aus. Diese sind ein Maß für die Ladung. Jedes (volle) Kästchen entspricht einer Ladung von 0,02A·50s = 1As = 1C. Das Auszählen der Kästchen bis I = 0 ist nicht möglich. Es sind rund 14 Kästchen, damit beträgt die Ladung etwa 14C.

Die Kapazität ergibt sich aus $C = \frac{Q}{U} = \frac{14\text{C}}{16\text{V}}; C = 0{,}875\text{F}; \underline{\underline{C \approx 0{,}9\text{F}}}$. Dieser Wert stimmt mit dem gegebenen Intervall der Herstellerwerte (Toleranz ist 10% von 1F wurde erfüllt) überein.

Die Entladung eines Kondensators lässt sich mit Hilfe einer exponentiellen Funktion der Form $I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ beschreiben. I_0 ist die Stromstärke zum Zeitpunkt t = 0s, d.h. der Kondensator war voll geladen, τ ist die Zeitkonstante,

$\tau = R \cdot C$. Speziell ist hier der Zusammenhang gegeben durch $I_0 = I(0) = 0{,}16\text{A}$ und die Gleichung lautet $I(t) = 0{,}16A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ mit einem noch zu bestimmenden τ. Durch Umstellen gelangt man zur Gleichung in τ:

$$\tau = -\frac{t}{\ln\frac{I(t)}{0{,}16\text{A}}};\ \tau = -\frac{30s}{\ln\frac{0{,}1185\text{A}}{0{,}16\text{A}}} = 100\text{s}$$

$$\text{analog } \tau = -\frac{210s}{\ln\frac{0{,}0196\text{A}}{0{,}16\text{A}}} = 100\text{s}$$

Die spezielle Gleichung lautet $I(t) = 0{,}16\text{A} \cdot e^{-\frac{t}{100\text{s}}}$.

(b) geg.: $I(t) = 0{,}16\text{A} \cdot e^{-\frac{t}{100\text{s}}}$

ges.: t_H mit $I(t_H) = \frac{1}{2} I_0 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}16\text{A} = 0{,}08\text{A}$

Lös.:

$$I(t_H) = 0{,}08\text{A}$$

$$I(t_H) = 0{,}16\text{A} \cdot e^{-\frac{t_H}{100\text{s}}} \Rightarrow 0{,}08\text{A} = 0{,}16Ae^{-\frac{t_H}{100\text{s}}}$$

$$\frac{1}{2} = 0{,}16\text{A} \cdot e^{-\frac{t_H}{100\text{s}}}$$

Nach dem Logarithmieren beider Gleichungsseiten und dem Vertauschen der Seiten ergibt sich:

$$-\frac{t_H}{100\text{s}} = \ln\frac{1}{2} \Rightarrow t_H = \left(-100 \cdot \ln\frac{1}{2}\right)\text{s};\ t_H = 69{,}3\text{s}.$$

Die Zeit, nach dem der Anfangswert der Stromstärke auf die Hälfte gesunken ist, beträgt rund 70s.

(c) Der Kondensator gibt seine gesamte in ihm gespeicherte Energie an den Motor ab, da der Wirkungsgrad der elektronischen Regelung 100% beträgt. Die Energie des Kondensators wandelt der Motor von elektrischer Energie in mechanische Energie um. Der Motor läuft aber nur solange, wie die Spannung des Kondensators 10V beträgt bzw. größer ist. Die Spannung des Kondensators bestimmt die in ihm gespeicherte Energie; gibt der Kondensator also Energie ab, so fällt seine Spannung.

Damit ergibt sich zur Berechnung folgender Energieansatz:

$$E_{\text{E}} - E_{\text{A}} = W_{\text{M}} \text{ mit } E_{\text{E}} = \frac{1}{2} C \cdot U_E^2;\ E_{\text{A}} = \frac{1}{2} C \cdot U_A^2;\ W_{\text{M}} = U \cdot I \cdot t_{\text{E}}.$$

Es bedeuten:

E_A: Energie des Kondensators am Anfang des Vorganges, d.h. der Kondensator ist voll geladen, seine Spannung beträgt 16V

E_E: Energie des Kondensators am Ende der Laufzeit des Motors, d.h. die Spannung des Kondensators beträgt 10V

W_A: vom Motor umgesetzte elektrische Energie, die der Kondensator liefert

Die Zeit, die der Motor läuft, ist damit die Zeit t_E.
Nach dem Einsetzen der einzelnen Ausdrücke der Energien und der Arbeit erhält man eine Gleichung in t_E, die nach t_E umgestellt wird:

$$\frac{1}{2}C\cdot U_E^2-\frac{1}{2}C\cdot U_A^2=U\cdot I\cdot t_E \Rightarrow t_E=\frac{\frac{1}{2}C\cdot U_E^2-\frac{1}{2}C\cdot U_A^2}{U\cdot I} \text{ vereinfacht zu } t_E=\frac{C\cdot\left(U_E^2-U_A^2\right)}{2U\cdot I}$$

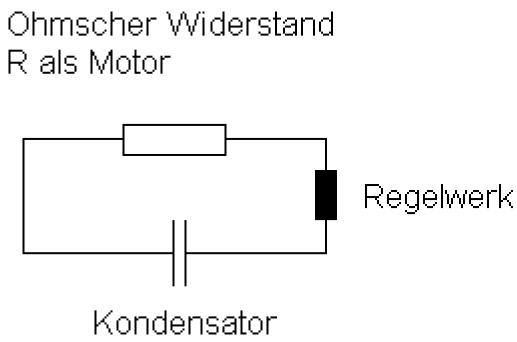
U_E ist die Spannung am Ende der Laufzeit des Motors, also U_E = 10V,
U_A ist die Spannung des voll aufgeladenen Kondensators, also U_A = 16V,
C ist die Kapazität des Kondensators, C = 1F,
U ist die am Motor anliegende Spannung, U = 10V
I ist die am Motor anliegende Stromstärke, I = 1A.
Nach dem Einsetzen der Zahlen ergibt sich für die gesuchte Zeit folgender Wert:

$$t_E=\frac{C\cdot\left(U_E^2-U_A^2\right)}{2U\cdot I}=\frac{1\mathrm{F}\cdot\left((10\mathrm{V})^2-(16\mathrm{V})^2\right)}{2\cdot 10\mathrm{V}\cdot 1\mathrm{A}};\ [t_E]=1\frac{\mathrm{F}\cdot\mathrm{V}^2}{\mathrm{V}\cdot\mathrm{A}}=1\frac{\frac{\mathrm{A}\cdot\mathrm{s}}{\mathrm{V}}\mathrm{V}^2}{\mathrm{V}\cdot\mathrm{A}}=1\frac{\mathrm{A}\cdot\mathrm{s}\cdot\mathrm{V}}{\mathrm{V}\cdot\mathrm{A}}=1\mathrm{s};$$

$$\text{mit } 1\,\mathrm{F}=1\frac{\mathrm{A}\cdot\mathrm{s}}{\mathrm{V}}$$

$$\underline{\underline{t_E=7{,}8\mathrm{s}}}$$

Der Motor kann rund 8s laufen, wenn der Wirkungsgrad des Reglers 100% beträgt.



Aufgabe 2: HERTZsche Wellen

Zu 1:

(a) Eine Ausbreitungseigenschaft HERTZscher Wellen ist die Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit. Weiterhin können diese Wellen reflektiert werden. Sie zeigen ebenfalls Beugungs- und Interferenzerscheinungen. Die HERTZschen Wellen benötigen zur Ausbreitung kein Medium, sondern können sich auch im Vakuum ausbreiten. Beim Durchgang durch Materie tritt eine Dämpfung der Wellen auf (Energieverlust).

(b) HERTZsche Wellen breiten sich im Vakuum mit der Vakuumlichtgeschwindigkeit aus. Bei der technischen Anwendung breiten sich die HERTZschen Wellen in einem Medium aus, und zwar mit der jeweiligen Medienlichtgeschwindigkeit, vorausgesetzt der Sender ist nicht mit einer Abschirmung umgeben.

Zu 2:

(a) D-Netz: 820MHz bis 880MHz

Wellenlänge: $\lambda = \frac{c}{f}$

Grenzwellenlängen: $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{880 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}}} = 0{,}341\,\text{m}$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{820 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}}} = 0{,}366\,\text{m}$$

(b) Optimale Antennenlänge $l = \frac{\lambda}{4}$

Die optimale Länge der Antenne liegt zwischen 0,085m und 0,091m.

$$r = \sqrt{\frac{k \cdot P_0}{P_E}} = \sqrt{\frac{0{,}9\text{m}^2 \cdot 1\text{W}}{2 \cdot 10^{-9}\,\text{W}}} = 21{,}2\text{km}$$

Ursachen für kleinere Reichweiten:

Durch Hindernisse (Gebäude usw.), die sich zwischen dem Sender und dem Empfänger befinden, wird die Reichweite verringert, denn es kommt zu einer teilweisen Abschirmung der Signale.

Die Reichweite kann durch Wettereinfluss (z. B. starker Regen) beeinträchtigt werden.

Durch den Einfluss anderer leistungsstarker Sendequellen, die sich im Bereich von Sender und Empfänger befinden, kann die Reichweite ebenfalls eingeschränkt werden.

<u>Aufgabe 3.1:</u> Kernphysik

Zu 1: Die für die Wirkung auf den menschlichen Organismus wesentlichen Eigenschaften der radioaktiven Strahlung sind die Ionisation und die Anregung von Atomen und Molekülen. Durch diese physikalischen Vorgänge treten in der Folge chemische und biologische Effekte im Gewebe auf.

Durch die Energieübertragung durch die radioaktive Strahlung kommt es zu Veränderungen in der Atomhülle, die die chemischen Bindungen aufbrechen können. Dabei entstehen Molekülbruchstücke, die chemisch anders reagieren als ihre Ausgangsprodukte. In der Folge kann die Zelle, in der solche chemischen Umwandlungen auftreten, nicht mehr in der selben Weise für den Organismus arbeiten, wie es vorher möglich war. Es besteht teilweise die Möglichkeit, dass die Zelle diese Schäden beheben kann. Wenn das Ausmaß der Schäden zu groß ist, können diese nicht durch das Abwehrsystem des Organismus behoben werden und es kommt zur Ausbildung von Krankheitsbildern.

Es werden zwei Arten von Schäden unterschieden: somatische Schäden (treten nur beim bestrahlten Individuum auf) und genetische Schäden (Veränderungen an den Chromosomen der Keimzellen, treten erst bei Nachkommen des bestrahlten Individuums auf).

Zur Beschreibung der Wirkung der Strahlung auf umgebende Körper wird die physikalische Größe der Energiedosis D verwendet. Sie gibt an, wie viel Strahlungsenergie von 1kg der Masse eines Körpers absorbiert wird.

Bei der Belastung eines Organismus durch radioaktive Strahlung muss zwischen den drei radioaktiven Strahlungsarten (α-, β- und γ- Strahlung) unterschieden werden. So ist die schädigende Wirkung von α–Strahlung am größten und die von γ–Strahlung am geringsten, vorausgesetzt, dass die Energiedosis aller Strahlungen gleich groß ist. Diese unterschiedliche Wirkung der radioaktiven Strahlungsarten wird durch einen Qualitätsfaktor Q beschrieben, der in der physikalischen Größe der Äquivalentdosis ($H = Q \cdot D$) auftritt.

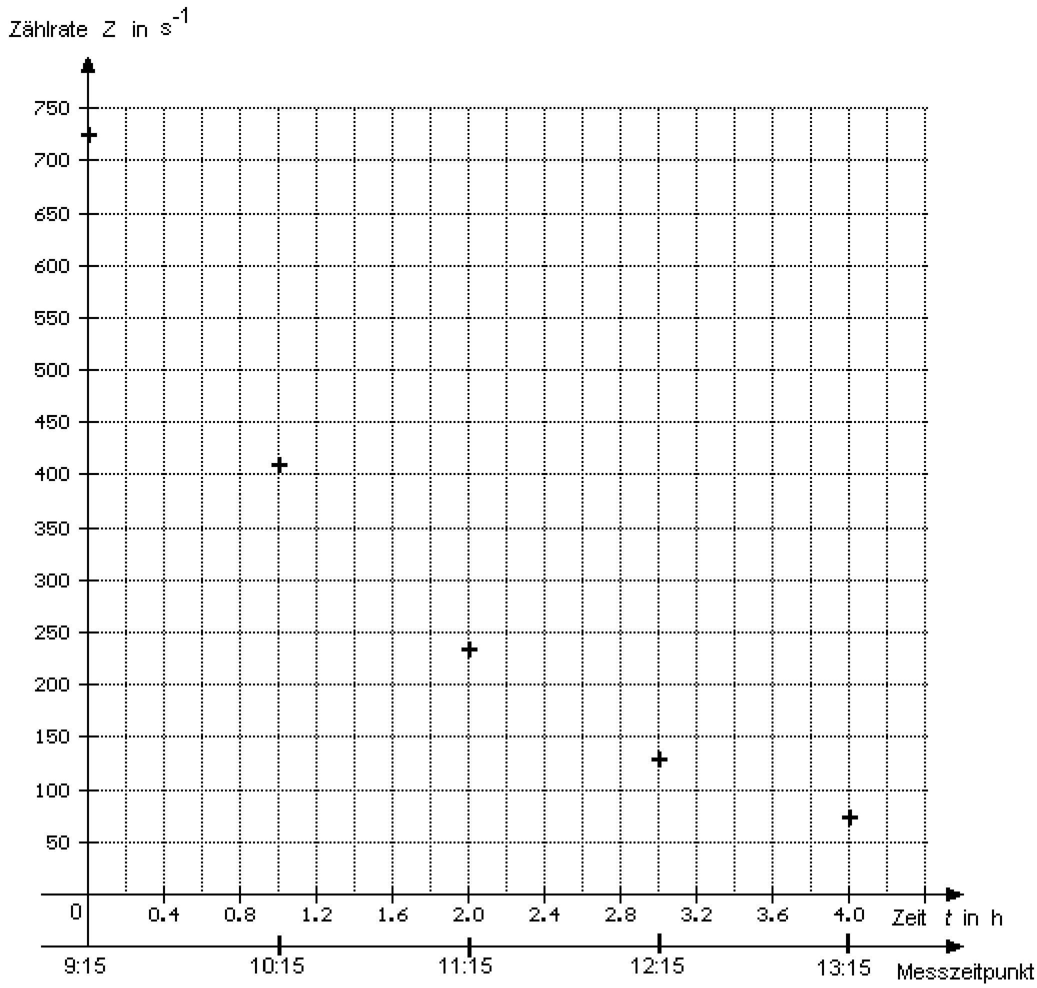
Die Zunahme der radioaktiven Strahlung in unserer Umgebung führt zur Zunahme der Wahrscheinlichkeit genetischer Schäden. Für somatische Schäden gibt es einen Schwellenwert, das bedeutet, dass medizinisch nachweisbare Schäden erst bei Bestrahlungen mit dieser Mindestdosis auftreten. Bei genetischen Schäden gibt es keinen Schwellenwert, denn schon kleinste Dosen radioaktiver Strahlung können zu diesen Schäden führen.

Zu 2:

(a) *spontan*: der Vorgang des radioaktiven Zerfalls ist durch äußere Bedingungen (z.B. Druck, Temperatur) nicht beeinflussbar

stochastisch: es kann nicht vorhergesagt werden, ob ein spezieller Kern in einem Zeitintervall zerfällt oder nicht. Für einen Kern sind nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich, für eine sehr große Anzahl von Kernen sind statistische Aussagen möglich, d.h. in der jeweiligen Halbwertszeit zerfällt ungefähr die Hälfte der Kerne.

(b)



Wenn man in der grafischen Darstellung von einer bestimmten Teilchenzahl ausgeht und die Länge des Zeitintervalls bestimmt, bis nur noch die Hälfte der Teilchenzahl vorhanden ist, so stellt man fest, dass diese unabhängig ist von der gewählten Ausgangsteilchenzahl. Daraus kann man folgern, dass dem radioaktiven Zerfall ein Exponentialgesetz zu Grunde liegt.

Alternative Erklärung:
In der Aufgabenstellung ist bereits vorgegeben, dass es sich um den radioaktiven Zerfall handelt. Damit liegt diesem Vorgang das Zerfallsgesetz zu Grunde, dass die gesetzmäßige Abnahme der Radionuklide beschreibt: $Z(t) = Z_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_H}}$. Die physikalische Größe $Z(t)$ beschreibt die Zählrate. Das ist die Anzahl der vom Messgerät registrierten Impulse in einer Sekunde. Sie gibt ungefähr die Anzahl der radioaktiven Zerfälle in einer Sekunde wieder.

Zerfallsgesetz: $Z(t) = Z_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_h}}$

(c) In der folgenden Berechnung wird dem Messzeitpunkt 9:15 Uhr die Zeit $t = 0\,\text{h}$ zugeordnet. Des weiteren gilt: $Z(0\text{h}) = Z_0$.

Umstellen des Zerfallsgesetz nach der Halbwertszeit T_H und Einsetzen der Messwerte: $T_h = 1\text{h} \cdot \dfrac{\lg 0{,}5}{\lg \dfrac{Z(1\text{h})}{Z_0}} = 1\text{h} \cdot \dfrac{\lg 0{,}5}{\lg \dfrac{409\text{s}^{-1}}{723\text{s}^{-1}}} = 1{,}2\text{h}$

Der Messzeitpunkt 8:15 Uhr liegt vor der Zeit $t = 0\,\text{h}$, daher ist die zugeordnete Zeit negativ: 8:15 Uhr $\longrightarrow t = -1\,\text{h}$. Mit dieser Zeit wird das Zerfallsgesetz angewendet, um die Zählrate zu bestimmen:

8:15 Uhr: $Z(-1\text{h}) = 723 \cdot \left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{-1\text{h}}{1{,}2\text{h}}} \approx 1288\text{s}^{-1}$

Zu 3: Physikalisch-technische Probleme, die sich bei der Lagerung radioaktiver Stoffe ergeben: langlebige Nuklide erfordern Lagerung, deren Sicherheit über sehr große Zeiträume gewährleistet werden muss, radioaktive Strahlung schädigt das Material, das den radioaktiven Stoff umgibt und macht es spröde
Physikalisch-technische Probleme, die sich beim Transport radioaktiver Stoffe ergeben: Abschirmung muss bei Transportbehältern gewährleistet werden, Gefährdung der Sicherheit durch mögliche Unfälle auf dem Transportweg.

Aufgabe 3.2: Wärmelehre

Zu 1: Für die Lösung der Teilaufgabe (a) gibt es unterschiedliche Lösungswege.

(a) Variante I :

Die Dichte der Luft beträgt unter Normbedingungen ($\vartheta_0 = 0°C$; $p_0 = 0{,}1013\,\text{MPa}$) $\rho = 1{,}29\,\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Formelsammlung).
Im Zustand A nimmt die eingeschlossene Luftmenge bei einem Druck von $p_A = 0{,}20\,\text{MPa}$ ein Volumen von $V_A = 5{,}0\,\text{dm}^3 = 5 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3$ ein.
Für beide Zustände (Normzustand und Zustand A) gilt die allgemeine Gasgleichung: $p_0 \cdot V_0 = n \cdot R \cdot T_0$ bzw. $p_A \cdot V_A = n \cdot R \cdot T_A$.
Teilt man diese Gleichungen durch einander, so erhält man:
$\frac{p_0 \cdot V_0}{p_A \cdot V_A} = \frac{T_0}{T_A}$. Stellt man diese Gleichung nach V_0 um und setzt die gegebenen Werte ein, so ergibt sich das Volumen, das die Luftmenge unter Normbedingungen einnimmt.

$$V_0 = \frac{p_A \cdot V_A \cdot T_0}{p_0 \cdot T_A} = \frac{0{,}20\,\text{MPa} \cdot 5 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3 \cdot 273\,\text{K}}{0{,}1013\,\text{MPa} \cdot 303\,\text{K}} = 8{,}89 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3$$

Über die Beziehung $\rho = \frac{m}{V_0}$ berechnet sich die Masse der Luft nach $m = \rho \cdot V_0 = 1{,}29\,\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 8{,}89 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3 \approx 0{,}0114\,\text{kg} \approx \underline{\underline{11{,}4\,\text{g}}}$.

Zustand B: $\vartheta_B = \vartheta_A = 30°C \mathrel{\hat{=}} T_B = 303\,\text{K}$ (isotherme Zustandsänderung)
$p_B = 2p_A = 0{,}40\,\text{MPa}$ (doppelter Druck)

$p_B \cdot V_B = p_A \cdot V_A$ (T = konstant)

$$V_B = \frac{p_A \cdot V_A}{p_B} = \frac{p_A \cdot V_A}{2p_B} = \frac{1}{2}V_A = 2{,}5\,\text{dm}^3$$

Zustand C: $V_C = V_B = 2{,}5\,\text{dm}^3$ (isochore Zustandsänderung)
$\vartheta_C = \vartheta_B + 180°C = 210°C$
$\Rightarrow T_C = 483\,\text{K}$ (Temperaturerhöhung ΔT = 180K)

$\frac{p_C}{T_C} = \frac{p_B}{T_B}$ (V = konstant)

$$p_C = \frac{p_B \cdot T_C}{T_B} = \frac{0{,}4\,\text{MPa} \cdot 483\,\text{K}}{303\,\text{K}} \approx 0{,}64\,\text{MPa}$$

Zustand D: $\vartheta_D = \vartheta_C = 210°C \mathrel{\hat{=}} T_D = 483\,\text{K}$ (isotherme Zustandänderung)
$p_D = p_A = 0{,}20\,\text{MPa}$ (Anfangsdruck)

$$p_D \cdot V_D = p_C \cdot V_C \qquad (T = \text{konstant})$$

$$V_D = \frac{p_C \cdot V_C}{p_D} = \frac{0{,}64\,\text{MPa} \cdot 2{,}5\,\text{dm}^3}{0{,}20\,\text{MPa}} = 8{,}0\,\text{dm}^3$$

Variante II :

Für das ideale Gas gilt: $p \cdot V = n \cdot R_S \cdot T$. Zudem ist die universelle Gaskonstante R_S gleich der Differenz aus der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck und der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Volumen, es gilt also $R_S = c_p - c_v$. Setzt man nun diese Beziehung in obige Gleichung ein, stellt anschließend nach der Masse m um und berücksichtigt die gegebenen Werte, so erhält man schrittweise:

$$p \cdot V = m \cdot (c_p - c_v) \cdot T$$

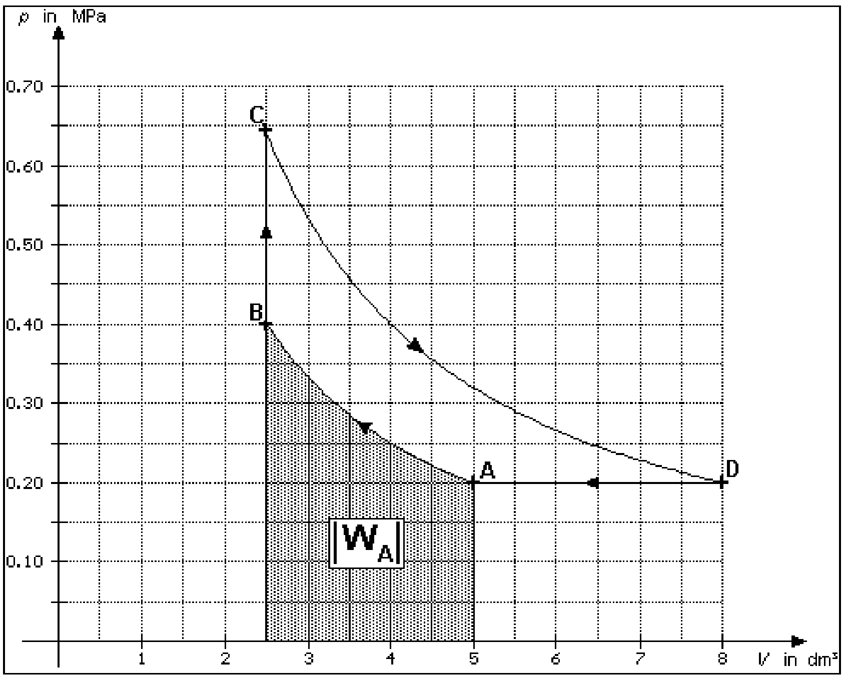
$$m = \frac{p \cdot V}{(c_p - c_v) \cdot T}$$

$$m = \frac{0{,}20 \cdot 10^6 \,\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3}{(1{,}010 - 0{,}723) \cdot 10^3 \,\frac{\text{Nm}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 303\,\text{K}}$$

$$\underline{\underline{m = 0{,}0115\,\text{kg} = 11{,}5\,\text{g}}}$$

Die weiteren Berechnungen entsprechen der Variante I .

(b) $p(V)$ - Diagramm



(c) Die zum Vorgang I (Zustand A $\rightarrow$ Zustand B) gehörige Volumenarbeit W_A ist im Diagramm als Fläche gekennzeichnet.
Der Inhalt dieser Fläche ist ein Maß für die verrichtete Volumenarbeit. Die Volumenarbeit kann man also durch bestimmte Integration wie folgt ermitteln:
(Da die Zustandsänderung isotherm ist, gilt $T = konst.$)

$$W_A = -\int_{V_A}^{V_B} p(V)dV \text{ . Mit } p \cdot V = n \cdot R_S \cdot T \text{ folgt } p(V) = n \cdot R_S \cdot T \cdot \frac{1}{V}$$

und

$$W_A = -\int_{V_A}^{V_B} n \cdot R_S \cdot T \cdot \frac{1}{V} dV = -n \cdot R_S \cdot T \cdot [\ln V]_{V_A}^{V_B} = -n \cdot R_S \cdot T \cdot \ln\frac{V_B}{V_A}$$

Mit $n \cdot R_S \cdot T = p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B$ ergibt sich

$$W_A = -p_A \cdot V_A \cdot \ln\frac{V_B}{V_A} = -0{,}2 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3 \cdot \ln\frac{2{,}5 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3}{5{,}0 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3} = 693\,\text{Nm} = \underline{\underline{693\,\text{J}}}$$

Während der Zustandsänderung I wird am System eine Volumenarbeit von etwa $693\,\text{Nm}$ verrichtet.
Da die Temperatur während der Zustandsänderung I konstant bleibt, ändert sich die innere Energie des Gases nicht, es gilt also $\underline{\underline{\Delta U = 0}}$.

Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik gilt $\Delta U = Q + W_A$. Mit den zuvor ermittelten Werten für W_A und ΔU ergibt sich $0 = Q + 693\,\text{J}$ und daraus für die übertragene Wärme $\underline{\underline{Q = -693\,\text{J}}}$, d.h. es wird vom Gas Wärme abgegeben.

Zu 2: Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass es unmöglich ist, ein Perpetuum mobile zweiter Art zu konstruieren; das heißt, es gibt keine periodisch arbeitende Maschine, die Wärme aufnimmt und diese restlos in mechanische Arbeit umwandelt.

Fällt eine Kugel zu Boden, so wandelt sie ihre potentielle Energie vollständig in Wärme um und gibt diese an die Umgebung ab.

Umgekehrt gelingt es einer auf dem Boden liegenden Kugel nicht, der Umgebung Wärme zu entziehen und diese wieder in potentielle Energie umzuwandeln, d.h. spontan hochzuspringen.

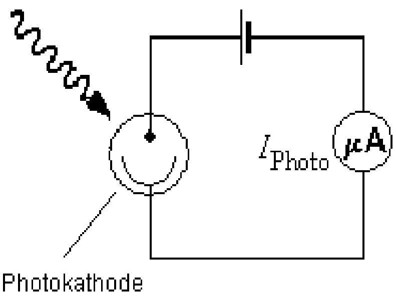
Aufgabe 3.3 Quantencharakter elektromagnetischer Strahlung

zu 1:

(a) Im Photonenmodell betrachtet man das Licht als ein Strom von Teilchen, den Photonen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Jedes von ihnen besitzt die Energie $E = h \cdot f$. Die Energie eines Photons ist somit nur von der Frequenz des Lichts abhängig.
Das Auslösen von Elektronen aus einem festen Stoff durch Einwirkung von Licht nennt man den äußeren lichtelektrischen Effekt.
Dieser Vorgang lässt sich durch die EINSTEINsche Gleichung $h \cdot f = W_A + \frac{1}{2} m_e v^2$ beschreiben.
Die Energie $h \cdot f$ eines Photons, wandelt sich bei einem unelastischen Stoß mit einem Elektron vollständig um: es wird die Austrittsarbeit W_A am Elektron verrichtet und die restliche Energie wird in kinetische Energie des Elektrons $\frac{1}{2} m_e v^2$ umgewandelt. Die Austrittsarbeit dient dem Elektron zum Verlassen des Stoffes. Sie ist stoffabhängig. Die Energie eines Photons muß also mindestens so groß sein wie die Austrittsarbeit des Stoffes, d.h. $h \cdot f \geq W_A$, damit Elektronen aus dem Stoff gelöst werden. Damit dürfen die Photonen eine bestimmte Frequenz, die sogenannte Grenzfrequenz $f_G = \frac{W_A}{h}$ nicht unterschreiten, um Elektronen frei zu setzen.

<u>Es sind 3 Fälle zu unterscheiden:</u>

1. $h \cdot f > W_A$ bzw. $f > f_G$: die Energie der Photonen wird in die Austrittsarbeit der Elektronen und in deren kinetische Energie $\frac{1}{2} m_e v^2$ der freien Elektronen umgewandelt.
2. $h \cdot f = W_A$ bzw. $f = f_G$: die Energie der Photonen wird nur in die Austrittsarbeit der Elektronen umgewandelt. Die freien Elektronen haben keine kinetische Energie, sie sammeln sich um die Kathode und bilden eine Raumladungswolke.
3. $h \cdot f < W_A$ bzw. $f < f_G$: die Energie der Photonen ist zu gering, um die Austrittsarbeit zu verrichten. Es werden keine Elektronen abgelöst. Die Zusammenstöße zwischen Photonen und Elektronen verlaufen elastisch.



Wird zwischen Anode und Photokathode eine Spannung mit der entsprechenden Polarität angelegt, dann werden die Elektronen, die aus der Kathode austreten, im elektrischen Feld zur Anode hin beschleunigt. Dadurch kann ein elektrischer Strom fließen, der Photostrom genannt wird. Voraussetzung zur Existenz des Photostroms ist das Eintreten von Fall1: $h \cdot f > W_A$ bzw. $f > f_G$. Die Größe des Photostroms wird von der Lichtintensität beeinflusst, d.h. von der Anzahl der auf das Metall treffenden Photonen.

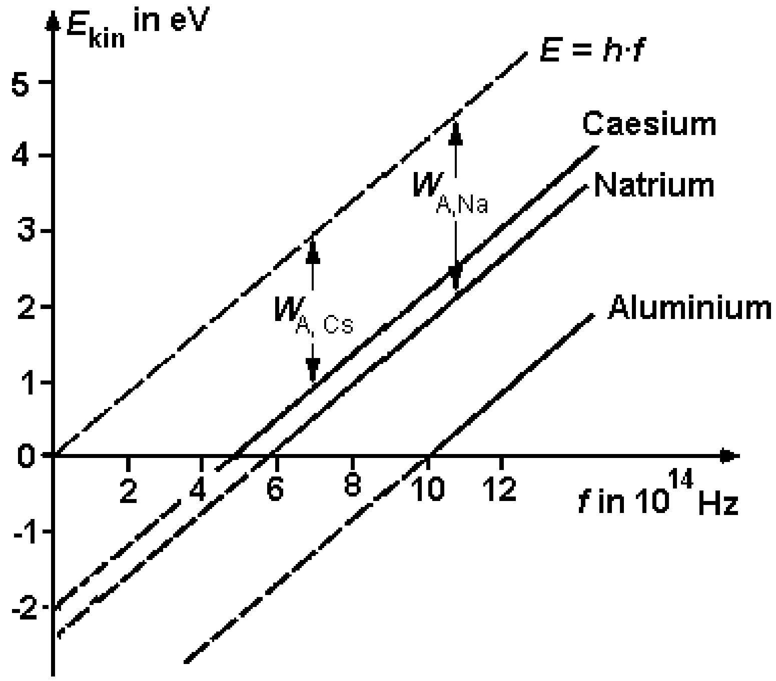
(b) geg.: $W_A = 2{,}22\text{eV}$
ges.: 1. Grenzfrequenz
2. Spektralfarbe der Quecksilberdampflampe
Lös.:1. Einsetzen des lichtelektrischen Effekts bedeutet: Die Energie der Photonen reicht aus, um Elektronen aus dem Kathodenmaterial herauszulösen, die Elektronen haben aber keine kinetische Energie:

$$h \cdot f_G = W_A \Rightarrow f_G = \frac{W_A}{h}; W_A = 2{,}22\text{eV} = 2{,}22 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{J}$$

$$f_G = \frac{2{,}22 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{J}}{6{,}626 \cdot 10^{-34}\,\text{Js}} \approx \underline{\underline{5{,}37 \cdot 10^{14}\,\text{Hz}}}$$

2. Da das Licht eine Frequenz von mindestens $5{,}37 \cdot 10^{14}$Hz haben muss, damit der lichtelektrische Effekt einsetzen kann, sind die Spektralfarben grün, blau, indigo, violett und der ultraviolette Bereich der Strahlung der Quecksilberdampflampe in der Lage, Elektronen herauszulösen.

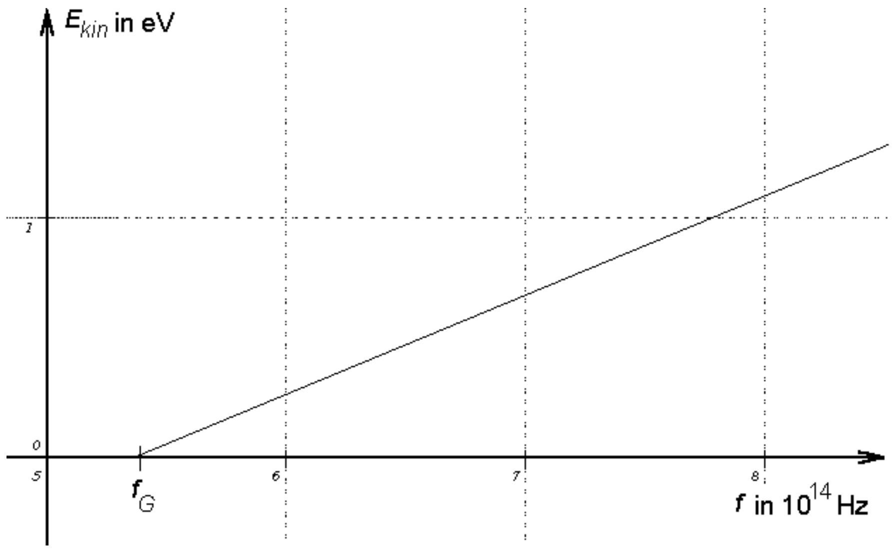
(c) EINSTEINsche Gerade



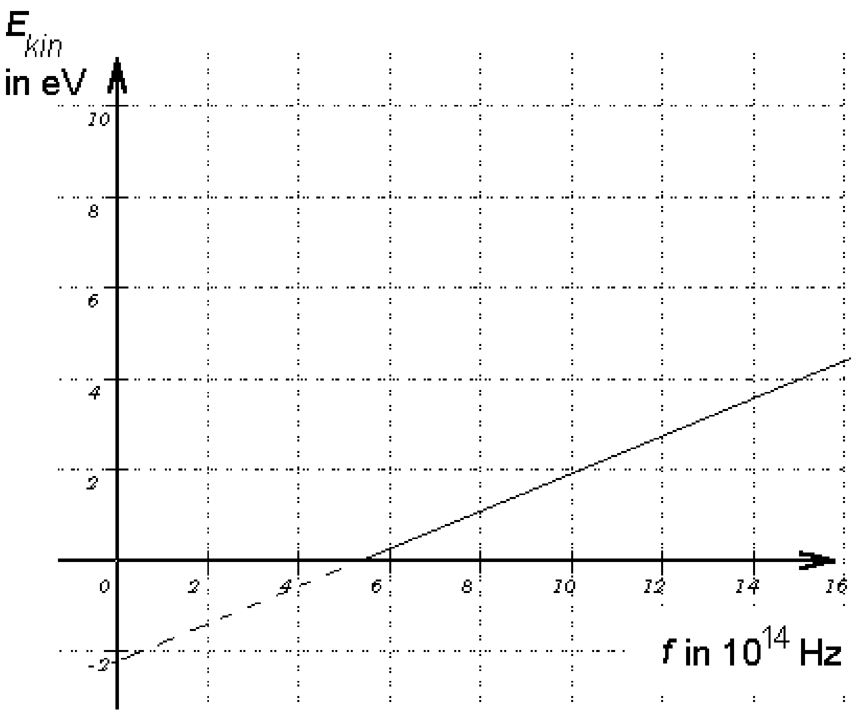
Auf der horizontalen Achse ist die Frequenz des Lichts und auf der vertikalen Achse ist die kinetische Energie der freien Elektronen abgetragen. Die entstehende Gerade ist die EINSTEINsche Gerade. Der Anstieg der Geraden beträgt h, h ist das PLANCKsche Wirkungsquantum mit $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js.
Je größer die Frequenz des Lichts, desto größer die kinetische Energie der Elektronen. Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen kinetischer Energie der Elektronen und der Frequenz des Lichts. Es gilt (siehe oben): $E_{kin}(f) = h \cdot f - W_A$ mit $E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$. Ist die Frequenz des eingestrahlten Lichts kleiner als die Grenzfrequenz, so entstehen keine freien Elektronen. Dieser Teil des Graphen mit $E_{kin} < 0$ ist in der Realität nicht mit Messwerten zu belegen, daher ist er gestrichelt eingezeichnet.

Da es sich um eine Kalium – Kathode handelt, ist die Austrittsarbeit bekannt (siehe Aufgabenstellung). Daraus lässt sich die Grenzfrequenz berechnen. Mit diesen beiden Werten findet man 2 Punkte, mit denen sich die Gerade eindeutig zeichnen lässt.

EINSTEINsche Gerade für Kalium



Alternativ ist es möglich, aus den in der Aufgabe angegebenen Frequenzen und der bekannten Austrittsarbeit für Kalium nach der Gleichung $E_{\text{kin}}(f) = h \cdot f - W_{\text{A}}$ entsprechende f-E_{kin}-Wertepaare zu berechen und in eine grafische Darstellung einzutragen.



Zu 2:

geg.: λ = 2,54GHz

ges.: a) Energie eines solchen Quants

Anzahl der Quanten zur Erwärmung von m = 0,25kg um ΔT = 80K

b) Begründung

Lös.:

(a) $E_{Quant} = h \cdot f$

$E_{Quant} = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\text{Ws} \cdot 2{,}54 \cdot 10^{9}\text{Hz} = \underline{\underline{1{,}683 \cdot 10^{-24}\text{J}}}$

Ein Quant dieser Strahlung hat die Energie $E \approx 1{,}7 \cdot 10^{-24}$J.
Um eine Wassermenge von 0,25kg um 80K zu erwärmen, muss folgende Wärme zugeführt werden:

a) $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

$$Q = 0{,}25\text{kg} \cdot 4{,}19\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 80\text{K} = 83{,}8\text{kJ} = \underline{83800\text{J}}$$

Da ein Quant die Energie von $1{,}7 \cdot 10^{-24}$J abgeben kann, muss das Wasser $\frac{83800\text{J}}{1{,}7 \cdot 10^{-24}\text{J}} = 4{,}9 \cdot 10^{28}$ Quanten aufnehmen, um die geforderte Wärme zu absorbieren.

(b) Die Leistung eines Mikrowellenherdes gibt an, wie viel Energie der Mikrowellenherd in einer bestimmten Zeit abgibt. Im Idealfall ist das auch die Energie, die der zu erwärmende Körper aufnimmt. Im quantentheoretischen Sinne werden in diesem Fall alle Quanten, die vom Mikrowellensender erzeugt werden, vom Körper absorbiert. Die Energie der Quanten ergibt sich aus $E_{Quant} = h \cdot f$: Damit ist sie nur von der Frequenz abhängig.
Da alle Mikrowellenherde mit dergleichen Frequenz (f = 2,54GHz, siehe Aufgabenstellung) arbeiten, haben alle emittierten Quanten dieselbe Energie, die Aussage ist somit falsch. Der Unterschied in der Leistung der Geräte resultiert aus der unterschiedlichen Anzahl der emittierten Quanten, der Mikrowellenherd mit einer Leistung von 800W emittiert also in der gleichen Zeiteinheit etwa $\frac{(800-600)\text{W}}{600\text{W}} = \frac{1}{3}$ mehr Quanten als der Herd mit einer Leistung von 600W.