

Lösungsvorschläge Abitur M-V 1999

Grundkurs Physik

Die nachfolgenden Lösungsvorschläge für das schriftliche Abitur im Grundkurs Physik Mecklenburg-Vorpommern im Schuljahr 1998/99 wurde von Referendarinnen und Referendaren erarbeitet.

Die Vorschläge spiegeln die persönlichen Auffassungen der Autoren wieder. Für verschiedene Teilaufgaben werden Hinweise und Zusatzinformationen gegeben, die die Darstellungen ergänzen sollen, aber nicht zum eigentlichen Erwartungsbild der Lösung gehören.

Autoren:

Arbeit A Aufgabe 1	Urte Kupfer
Arbeit A Aufgabe 2	Ulrike Tichy
Arbeit B Aufgabe 1	Frank Ehrich
Arbeit B Aufgabe 2	Steffen Pieth
Arbeit A und B Aufgabe 3.1	Steffen Pieth
Arbeit A und B Aufgabe 3.2	Reinhard Schulze
Arbeit A und B Aufgabe 3.3	Reinhard Schulze

Aufgabe 1 Bewegungsvorgänge

1)

geg.: $P_{\text{Motor}} = 60\text{kW}$
 $m = 1,0\text{t}$
 $v_a = 80 \text{ km/h} = 22,2\text{m/s}$
 $\Delta t = 40\text{s}$

1.a)

Phase I: gleichmäßig beschleunigte Bewegung
 Phase II: gleichförmige Bewegung
 Phase III: gleichmäßig beschleunigte Bewegung (Verzögerung)

1.b)

ges.: a, v_a, v_e, s der Phasen I, II, III

Phase I: $F = 1600\text{N}$
 $\Delta t = 5\text{s}$
 $v_a = 22,2\text{m/s}$

$$F = m \cdot a \qquad v_e = at + v_0 \qquad s = \frac{a}{2}t^2 + v_0t$$

$$a = \frac{F}{m} \qquad v_e = 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5\text{s} + 22,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \qquad s = \frac{1,6}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5\text{s})^2 + 22,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5\text{s}$$

$$a = \frac{1600 \text{ kg} \cdot \text{m}}{1000 \text{ kg} \cdot \text{s}^2} \qquad v_e \approx 30 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 110 \frac{\text{km}}{\text{h}} \qquad s \approx 130\text{m}$$

$$a = 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Phase II: $F = 0\text{N}$
 $\Delta t = 30\text{s}$
 $v_a = v_e = 30,2\text{m/s}$
 $a = 0$

$$s = v \cdot \Delta t = 30,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 30\text{s} \approx 910 \text{ m}$$

Phase III: $F = -3200\text{N}$

$$\Delta t = 5\text{s}$$

$$v_a = 30,2\text{m/s}$$

$$F = m \cdot a$$

$$v_e = a \cdot \Delta t + v_e$$

$$s = \frac{a}{2} t^2 + v_0 \cdot t$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$v_e = -3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5\text{s} + 30,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$s = -\frac{3,2}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5\text{s})^2 + 30,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5\text{s}$$

$$a = -\frac{3200\text{N}}{1000\text{kg}}$$

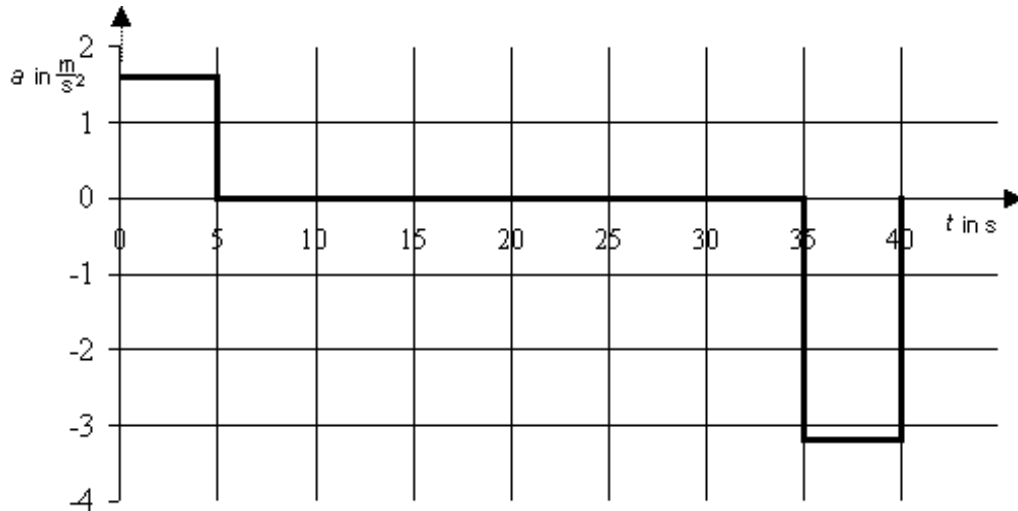
$$v_e \approx 14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 51 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$s = 111\text{ m}$$

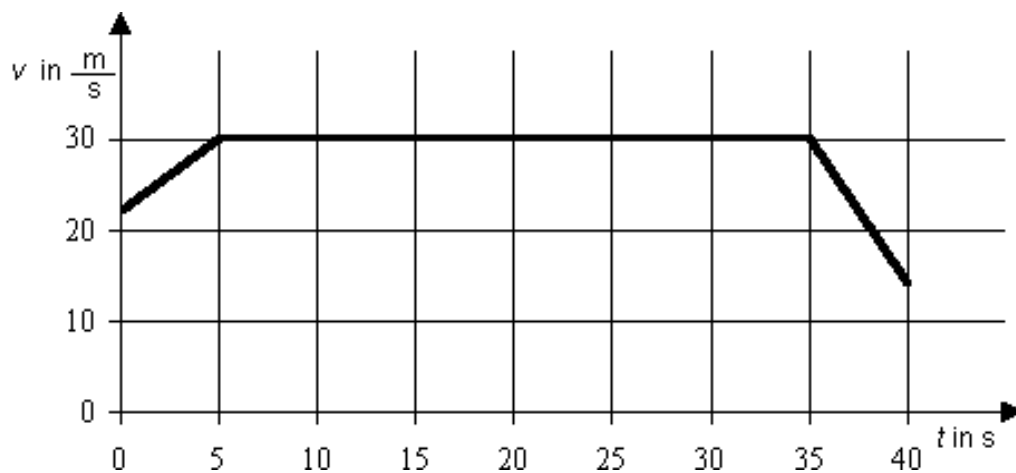
$$a = -3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

1.c)

a(t)-Diagramm



v(t) – Diagramm



2.a)

Der Bewegung des Autos wirken die Reibungskräfte mit dem Boden (Rollreibung) und der Luft entgegen. Vom Motor muss daher ständig eine Antriebskraft aufgebracht werden, damit diese Kräfte überwunden werden und das Auto sich bewegt. Für eine beschleunigte Bewegung des Autos gilt: $F_{\text{Antrieb}} > F_{\text{R}} + F_{\text{L}}$

Die Rollreibungskraft wird als konstant angenommen, der Luftwiderstand ist proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit, d.h., bei steigender Geschwindigkeit nimmt der Luftwiderstand zu und somit wird die bremsende Kraft auf das Auto größer. Die momentane Motorleistung entspricht dem Produkt aus Antriebskraft und Momentangeschwindigkeit. Ist die Maximalleistung von 60kW erreicht, kann die Geschwindigkeit nicht weiter erhöht werden.

In diesem Fall gilt dann $F_{\text{Antrieb}} = F_{\text{R}} + F_{\text{L}}$.

2.b)

geg.: $v = 22,2\text{m/s}$
 $F_{\text{R}} = 200\text{N}$
 $F_{\text{L}} = k \cdot v^2 ; (k = 0,40\text{Ns}^2/\text{m}^2)$
 ges.: P

Lsg.:

$$P = F \cdot v$$

$$F = F_{\text{L}} + F_{\text{R}}$$

$$F = k \cdot v^2 + F_{\text{R}}$$

$$P = (k \cdot v^2 + F_{\text{R}}) \cdot v \quad [1]$$

$$P = \left(0,40 \frac{\text{Ns}^2}{\text{m}^2} \cdot \left(22,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 200\text{N}\right) \cdot 22,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 8816 \text{ W} = 8,8 \text{ kW}$$

Hinweis:

Nach [1] ist $k v^3 + F_{\text{R}} \cdot v - P = 0$. Die Lösung kann durch Probieren bestimmt werden: Aus der Erfahrung gilt, dass bei einer Leistung von 60kW die Maximalgeschwindigkeit $v_{\text{max}} \approx 180\text{km/h} \approx 50\text{m/s}$ beträgt. Daraus folgt durch Einsetzen in die Gleichung

$$50.000 + 10.000 - 60.000 = 0$$

$$0 = 0.$$

(Wird in der Prüfung nicht erwartet!)

3.a)

geg.: $r = 100\text{m}$

$\mu_H = 0,30$

$v_{\text{höchst}} = 60\text{km/h}$

ges.: v

Lös.:

$$F_{\text{Reibung}} = F_{\text{Radial}}$$

$$\mu \cdot F_N = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$\mu \cdot m \cdot g = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$\mu \cdot g = \frac{v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{\mu \cdot g \cdot r}$$

$$v = \sqrt{0,30 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 100\text{m}}$$

$$v = 17,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 61,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Die Geschwindigkeit $v \approx 62\text{km/h}$ wäre die maximal mögliche Geschwindigkeit, um die Kurve zu passieren. Um eine sichere Fahrt zu gewährleisten, sollte daher die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit nicht überschritten werden.

3.b)

- Außenkurve höher als Innenkurve
- größerer Kurvenradius
- Belag für gute Haftung
- Keine tangentialen Kurvenein- und -ausfahrten

Aufgabe 2 Wellen

1.a)

Diese Teilaufgabe kann mit den Annahmen des Strahlenmodells erarbeitet werden.

Übergang: Luft → Glas Übergang: Glas → Luft

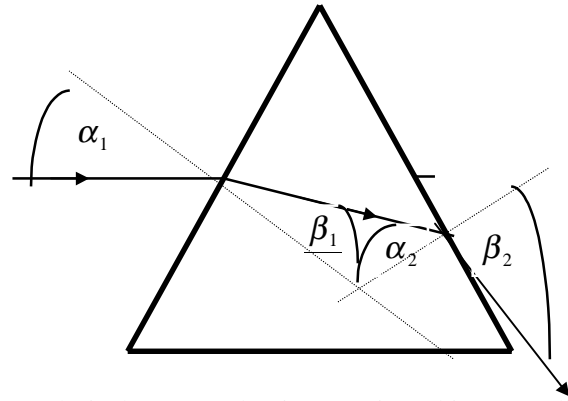
$$\alpha_1 = 30^\circ$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \beta_1 = \frac{\sin \alpha_1 \cdot n_1}{n_2}$$

$$\sin \beta_1 = \frac{\sin 30^\circ}{1,51}$$

$$\underline{\underline{\beta_1 = 19^\circ}}$$



Hinweis: Aus technischen Gründen ist nur eine Skizze möglich.

$$\alpha_2 = 180^\circ - 120^\circ - \beta_1 = 41^\circ$$

$$\sin \beta_2 = \frac{\sin \alpha_2 \cdot n_1}{n_2}$$

$$\sin \beta_2 = \frac{\sin 41^\circ \cdot 1,51}{1}$$

$$\underline{\underline{\beta_2 \approx 82^\circ}}$$

1.b)

Weißes Licht, wie es von Glühlampen ausgesendet wird, besteht aus einer kontinuierlichen Farbfolge mit unterschiedlichen Frequenzen.

Licht unterschiedlicher Wellenlänge wird beim Übergang von Luft zu Glas bzw. Glas zu Luft unterschiedlich stark gebrochen. Tritt daher weißes Licht auf das Prisma, werden seine verschiedenfrequenten Anteile unterschiedlich gebrochen und auf dem Schirm wird ein kontinuierliches Spektrum (rot...blau) sichtbar.

2.)

Der Zeichnung ist zu entnehmen, dass der Einfallswinkel des Lichtes $\alpha = 50^\circ$ beträgt. In der Zeichnung selbst ist der Winkel zwischen der Grenzfläche und dem einfallenden Lichtstrahl angegeben.

Übergang des Lichtes von Kronglas in Luft

- Übergang von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium
- Brechungswinkel > Einfallswinkel
- Totalreflexion möglich ab bestimmten Einfallswinkel ($\sin \alpha_G \leq \frac{1}{n}$)
- Einfallswinkel $\alpha = 50^\circ > \alpha_G = 41,7^\circ$

Übergang des Lichtes von Kronglas in Wasser

- Übergang von einem optisch dichteren Medium ($n = 1,51$) in ein optisch dünneres Medium ($n = 1,33$)
- Licht wird hier gebrochen
- Brechungswinkel $>$ Einfallswinkel ($\alpha = 50^\circ$)

Grenzwinkel der Totalreflexion:

$$\sin \alpha_G = \frac{n_2}{n_1}$$
$$\sin \alpha_G = \frac{1,33}{1,51}$$
$$\underline{\alpha_G = 61,7^\circ}$$

3.)

Die Schallwellen, die von beiden Lautsprechern ausgesendet werden, sind gleichphasig, d.h. sie breiten sich mit gleicher Frequenz und fester Phasenbeziehung aus. Bei ihrer Ausbreitung kommt es zur Überlagerung (Interferenz). Bei Interferenz zweier Wellen ergeben sich folgende Erscheinungen:

Treffen Wellenberg und Wellenberg bzw. Wellental und Wellental aufeinander, so tritt maximale Verstärkung, d.h. ein Interferenzmaximum auf. Beim Zusammentreffen von Wellenberg und Wellental kommt es zur Auslöschung bzw. maximalen Schwächung, d.h. ein Interferenzminimum tritt auf. Auslöschungs- und Verstärkungslinien wechseln sich dabei stets ab. Längs der Symmetrieachse beider Lautsprecher liegt das so genannte Maximum 0.Ordnung. Bringt man das Mikrophon an den Ort des nächsten Maximums und misst die Abstände dieses Ortes zu den beiden Lautsprechern, so erhält man als Differenz die Wellenlänge λ . Dies ist ein Maximum 1.Ordnung.

Aufgabe 1 Magnetfeld und elektromagnetische Induktion

1. Wirkungen in der kleinen Spule bei den beschriebenen Experimenten:

- Im Ausgangszustand befindet sich die kleine Spule vollständig innerhalb der großen Spule. Durch den zeitlich unveränderlichen Stromfluss I in der großen Spule liegt eine konstante Ursachengröße für das Magnetfeld vor.
Es wird eine konstante magnetische Flussdichte B

$$(B = \mu \cdot H; \text{ lange Spule: } H = \frac{I \cdot N}{l} \quad N = \text{Windungszahl der Spule, } l = \text{Länge der Spule})$$

und ein zeitlich konstantes, im Innern der Spule homogenes Magnetfeld, welches die von der kleinen Spule umschlossene Fläche durchsetzt, erzeugt.

Wird die kleine Spule nun parallel zu den Feldlinien in ihrer Ebene verschoben und verbleibt aber vollständig im Feld, so wird der magnetische Fluss, der die von der kleinen Spule umschlossene Fläche durchsetzt nicht verändert, $B = \text{konst.}$, $A = \text{konst.} \Rightarrow$

$\Phi = \text{konst.}$

In diesem Fall wird wegen $U_i = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ keine Spannung in der kleinen Spule induziert.

Erst wenn die kleine Spule aus dem Feld der großen Spule herausgezogen wird, entsteht eine Induktionsspannung, hervorgerufen durch eine zeitliche Änderung des magnetischen

Flusses in der kleinen Spule, $\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(B \cdot A)}{dt}$ ($B \neq \text{konst.}$, $A = \text{konst.}$).

Aus weiterführenden Überlegungen ergibt sich bei Herausziehen der kleinen Spule aus dem Feld die Induktionsspannung in dieser nach $U_i = -N \cdot B \cdot s \cdot v$ ($N = \text{Windungszahl}$, $s = \text{Länge der kleinen Spule im Magnetfeld}$, $v = \text{Geschwindigkeit der Bewegung der kleinen Spule im Magnetfeld}$)

- Durch den unverändert konstanten Stromfluss durch die große Spule bleibt das homogene Magnetfeld erhalten ($B = \text{konst.}$).
- Wenn nun die kleine Spule mit konstanter Drehzahl um eine Querachse rotiert, kommt es zur zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses, der die von dieser Spule umschlossene Fläche durchsetzt ($A \neq \text{konst.}$). Es wird in der kleinen Spule eine sinusförmige Spannung $u_i = \hat{u} \cdot \sin \omega \cdot t$ induziert.

Die Drehzahl beeinflusst bei diesem Vorgang die Größe des Spitzenwertes der induzierten Spannung, eine Erhöhung der Drehzahl n bewirkt eine Vergrößerung des Spitzenwertes ($\hat{u} = N \cdot \Phi \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$).

- Durch die große Spule fließt nun ein sinusförmiger Wechselstrom, dieser bewirkt ein zeitlich veränderliches Magnetfeld, welches die von der kleinen Spule umschlossene Fläche durchsetzt.
Es kommt somit zu entsprechenden Flussänderungen in der kleinen Spule und es wird hier eine sinusförmige Spannung induziert ($B \neq \text{konst.}$, $A = \text{konst.}$).
- Nach der LENZschen Regel ist diese induzierte Spannung gegenüber der sinusförmigen Wechselspannung an der großen Spule um 180° phasenverschoben.

Zur Information:

Die hier beschriebene Erscheinung wird auch als "Gegeninduktion" bezeichnet. Ein Teil des Magnetfeldes der primären Spule durchsetzt auch die sekundäre Spule (magnetische Kopplung).

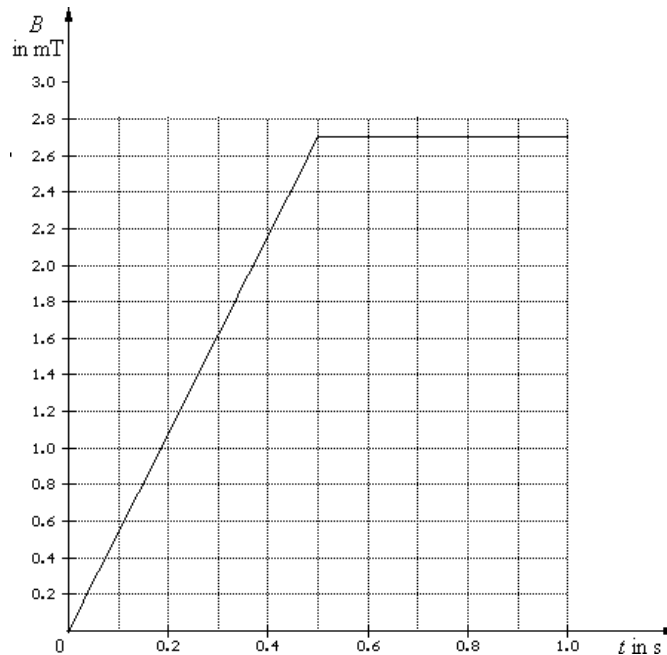
Der die beiden Spulen durchsetzende Magnetfluss ist der so genannte Koppelfluss, welcher durch Verwendung bestimmter Materialien vergrößert werden kann. Dies wird z.B. beim Transformator ausgenutzt. In der Nachrichtentechnik bildet die Gegeninduktion u.a. eine Grundlage für die Anwendung von so genannten Bandfiltern. Hier werden über magnetisch gekoppelte Schwingkreise Wechselspannungen mit vorgegebenen Frequenzen übertragen. Das Maß der magnetischen Kopplung zwischen beiden Spulen kann durch Abgleich mit speziellen Kernen (Ferrite) variiert werden. Damit können charakteristische Größen der Signalübertragung gezielt beeinflusst werden (z.B. die Größe der sekundären Ausgangsspannung).

2.a)

Die maximale magnetische Flussdichte B des Feldes der großen Spule ergibt sich

$$\text{aus } B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{l} = \frac{1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot 500 \cdot 2,4 \text{A}}{0,55 \text{m}} = \underline{2,7 \text{mT}}$$

$B(t)$ -Diagramm der magnetischen Flussdichte der großen Spule für den Zeitraum $t_1 = 0\text{s}$ bis $t_3 = 1\text{s}$



2.b)

Die Induktivität L der großen Spule ergibt sich aus

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A_0}{l} = \frac{1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot 100^2 \cdot 3,14 \cdot 0,060 \text{m}^2}{0,10 \text{m}} = \underline{6,5 \text{mH}}$$

Für die Selbstinduktionsspannung erhält man,

$$U = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = 6,5 \text{mH} \cdot \frac{(2,4 \text{A} - 0 \text{A})}{(0,50 \text{s} - 0 \text{s})} = \underline{31 \text{mV}}$$

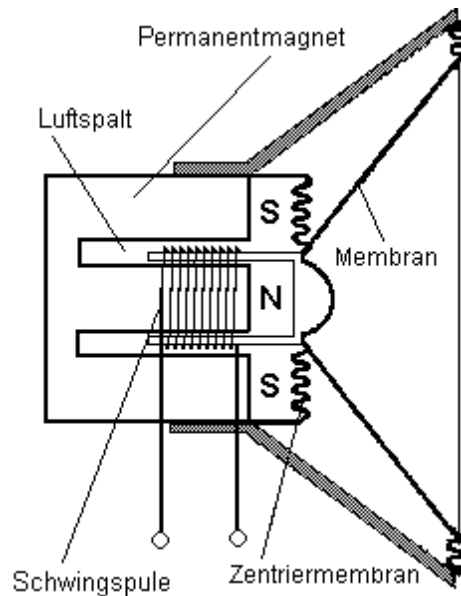
2.c)

In die kleine Spule wird in der Zeit in der sich die magnetische Flussdichte der großen Spule ändert eine Spannung induziert. Diese ergibt sich aus

$$U = \frac{\Delta B \cdot A}{\Delta t} = \frac{(2,7\text{mT} - 0\text{T}) \cdot 3,14 \cdot 0,020\text{m}^2}{(0,5\text{s} - 0\text{s})} = \underline{680\mu\text{V}}$$

3.)
Elektrodynamischer Lautsprecher

erweiterter schematischer Aufbau:



3.a) Wirkungsweise

Die nur aus wenigen Windungen bestehende leichte Schwingspule ist auf eine rohrförmige Verlängerung der Membran gewickelt. Fließt durch die Schwingspule ein tonfrequenter Wechselstrom, so baut sich um die Schwingspule ein Magnetfeld auf, das mit dem Feld des Permanentmagneten in eine Wechselwirkung tritt. Ändert der Strom seine Richtung, so ändert sich die Richtung des Magnetfeldes der Schwingspule. Darüber hinaus kann sich durch die Änderung der Stromstärke auch die Stärke des Magnetfeldes ändern.

Das Magnetfeld des Dauermagneten und das der Spule wirken nun derart aufeinander ein, dass sich anziehende bzw. abstoßende Kräfte ergeben. Die Folge ist eine im Takt der Tonfrequenz stattfindende Bewegung der Membran, die mit der Schwingspule starr verbunden ist.

Da die Membran in der Ruhelage völlig entspannt ist, folgt sie beiden Halbwellen des Wechselstromes sehr genau. Die Geschwindigkeit, mit der diese Bewegung vor sich geht, bestimmt die Tonhöhe, die Größe der Auslenkung der Membran bestimmt die Lautstärke.

Zur Information:

Durch die so genannte Zentriermembran, auch als Zentrierspinne bezeichnet, wird die Schwingspule genau in der Mitte des ringförmigen Luftspaltes des Dauermagneten gehalten. Diese Befestigungsart liefert gleichzeitig die Rückstellkraft und schließt den Luftspalt vollkommen von der Außenwelt ab. Damit können Staub und sonstige Verunreinigungen nicht in den Luftspalt eindringen. Bei neueren Typen ist der Luftspalt nicht mehr vorhanden, sondern mit einer Flüssigkeit (Magneto-Fluid) gefüllt.

Weil die Membran beweglich sein muss, besitzt die Schwingspule nur wenige Windungen, daher sind die ohmschen Widerstände solcher Lautsprecher gering. Neben diesem ohmschen Widerstand ist zur Ermittlung des Lautsprecherscheinwiderstandes auch der induktive Blindwiderstand der Schwingspule von Bedeutung. Die üblichen Schwingspulimpedanzen liegen zwischen $4\ \Omega$ und $16\ \Omega$.

Wenn der Nennscheinwiderstand nicht angegeben ist, rechnet man für die Anpassung mit einem Wert, der das Produkt des Gleichstromwiderstandes R mit dem Erfahrungswert 1,25 ist ($Z \approx 1,25 \cdot R$).

Bei dynamischen Lautsprechern wird die abgestrahlte Leistung und der bevorzugte Übertragungsbereich hauptsächlich von der Membranfläche und dem Membranhub bestimmt, zu unterscheiden sind Tiefton-, Mittelton- und Hochtonlautsprecher.

Tieftonlautsprecher besitzen meist große Membranen, Hochtonlautsprecher haben kleine.

Zur Gruppe der dynamischen Lautsprecher gehören die Konus-, Kalotten- und Druckkammerlautsprecher.

Um die schwingende Masse weiter zu verringern, wurden Bändchenlautsprecher entwickelt, bei denen eine dünne Metallfolie zwischen den Polen des Permanentmagneten gelagert ist. Solche Lautsprecher können im Hochtonbereich eingesetzt werden.

Generell kommen dynamische Lautsprecher mit Schwingspulen sehr häufig zum Einsatz, weil mit ihnen im Gegensatz zu anderen Systemen verhältnismäßig einfach und wirtschaftlich große Schallpegel bei relativ geringen Verzerrungen erzeugt werden können.

3.b)

Es ist davon auszugehen, dass geringfügige Inhomogenitäten im Feld des Permanentmagneten vorhanden sind. Durch die auf die Membran einwirkenden Kräfte wird die Tauchspule im Rhythmus der auftreffenden Schallwellen zumindest mit einigen wenigen Windungen im inhomogenen Feldbereich bewegt. Somit tritt eine kleine Spannungsinduktion in der Tauchspule auf, an den Enden der Schwingspule ist eine Wechsellspannung abgreifbar.

Das so gewonnene Signal kann anschließend verstärkt werden.

Aufgabe 2 Schwingungen

1.a)

System 1:

Zum Zeitpunkt $t = 0$ möge sich der Hakenkörper gerade durch die Nulllage bewegen. Seine Geschwindigkeit ist in diesem Punkt maximal, da sich seine gesamte potentielle Energie in kinetische umgewandelt hat, es gilt also $E_{\text{pot}} = 0; E_{\text{kin}} = \text{max}$.

Der Hakenkörper bewegt sich nun in Richtung des oberen Umkehrpunktes, dabei wandelt sich kinetische in potentielle Energie um, bis im Umkehrpunkt $E_{\text{pot}} = \text{max}; E_{\text{kin}} = 0$ gilt.

Die Geschwindigkeit ist dort folglich Null.

Der Hakenkörper bewegt sich nun wieder in Richtung Nulllage, dabei wird potentielle in kinetische Energie umgewandelt, in der Nulllage angekommen gilt wieder

$$E_{\text{pot}} = 0; E_{\text{kin}} = \text{max}.$$

Der Hakenkörper bewegt sich nun in Richtung des unteren Umkehrpunktes, dabei wird kinetische in potentielle Energie umgewandelt, dort gilt $E_{\text{pot}} = \text{max}; E_{\text{kin}} = 0$.

Jetzt bewegt sich der Hakenkörper wieder in Richtung Nulllage, die potentielle wird in kinetische Energie umgewandelt, so dass in der Nulllage angekommen wieder gilt $E_{\text{pot}} = 0; E_{\text{kin}} = \text{max}$. Der Hakenkörper hat nun eine volle Schwingung vollführt.

Anmerkung: Zu jedem Zeitpunkt t gilt, dass die Summe aus potentieller und kinetischer Energie des Hakenkörpers konstant ist ($E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} = \text{konst.}$).

System 2:

Zum Zeitpunkt $t = 0$ sei der Kondensator vollständig entladen. Die elektrische Energie des Kondensators ist Null, die magnetische Energie der Spule ist maximal.

Nun lädt sich der Kondensator auf, magnetische Energie der Spule wird in elektrische Energie der Kondensators umgewandelt, bis der Kondensator vollständig auf die Spannung $U = 20\text{V}$ geladen ist, dann gilt: $E_{\text{magn}} = 0; E_{\text{el}} = \text{max}$.

Der Kondensator entlädt sich allmählich wieder, elektrische Energie wird in magnetische umgewandelt, bis der Kondensator vollständig entladen ist, dann gilt:

$$E_{\text{magn}} = \text{max}; E_{\text{el}} = 0.$$

Nun beginnt sich der Kondensator in entgegengesetzter Polarität aufzuladen, magnetische Energie wird hierbei wieder in elektrische Energie umgewandelt, dies geschieht so lange, bis der Kondensator auf eine Spannung von $U = -20\text{V}$ geladen ist. Schließlich entlädt sich der Kondensator wieder, bis die Spannung den Wert Null annimmt, bis also wieder

$$E_{\text{magn}} = \text{max}; E_{\text{el}} = 0 \text{ gilt.}$$

Der Schwingkreis hat eine volle Schwingung vollführt.

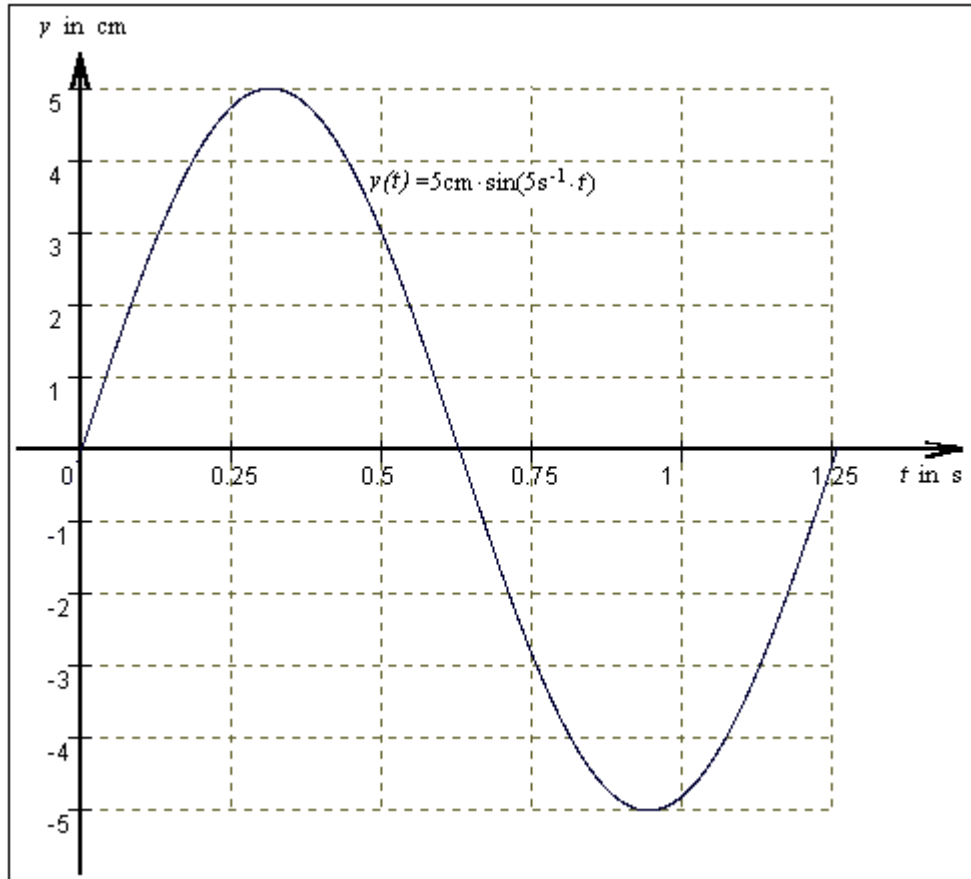
Anmerkung: Zu jedem Zeitpunkt t gilt, dass die Summe aus elektrischer und magnetischer Energie konstant ist ($E_{\text{el}} + E_{\text{magn}} = \text{konst.}$).

1.b)

System 1:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}} \quad \omega = 2\pi \cdot f \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{D}{m}} = \sqrt{\frac{2,5\text{N}}{m \cdot 0,10\text{kg}}} = \sqrt{\frac{2,5\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{m} \cdot \text{s}^2 \cdot 0,10\text{kg}}} = 5\text{s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{y(t) = y_{\max} \cdot \sin(\omega t) = 5\text{cm} \cdot \sin(5\text{s}^{-1} \cdot t)}}$$



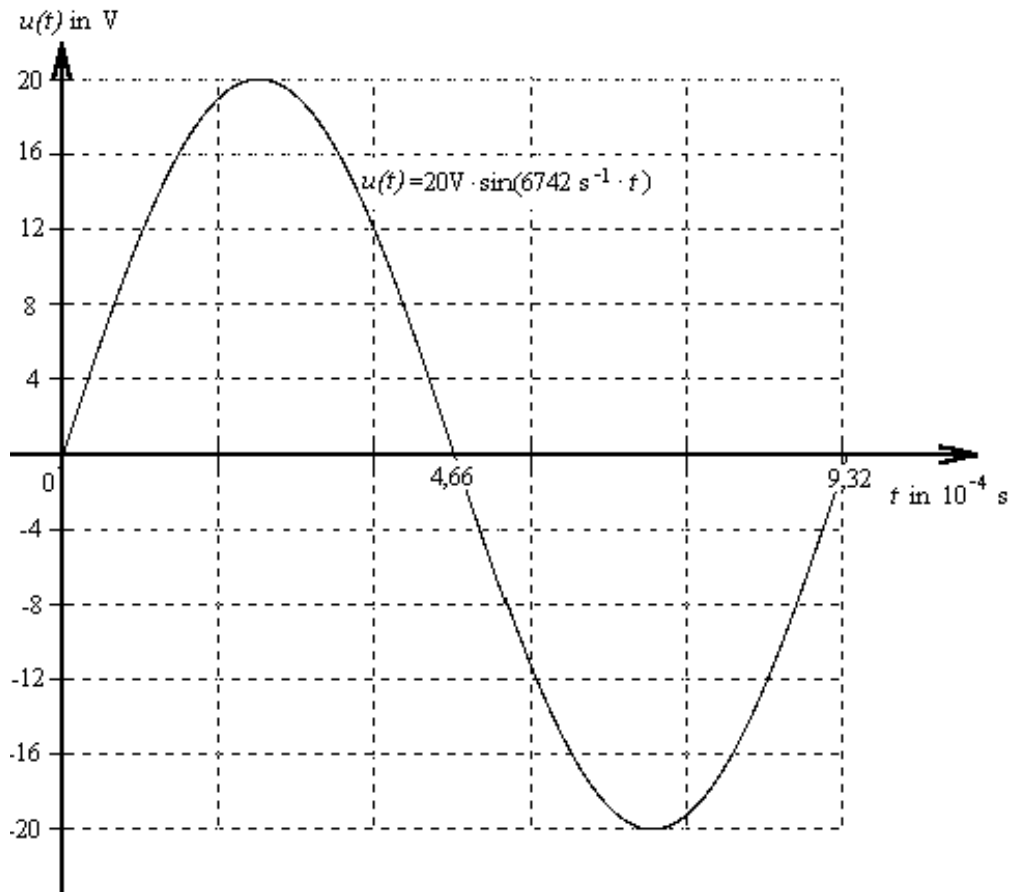
System 2:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \omega = 2\pi \cdot f \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{44 \cdot 10^{-3}\text{H} \cdot 500 \cdot 10^{-9}\text{F}}}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{44 \cdot 10^{-3}\text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} \cdot 500 \cdot 10^{-9}\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}^{-1}}}$$

$$\omega = 6742\text{s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{u(t) = u_{\max} \cdot \sin(\omega t) = 20\text{V} \cdot \sin(6742\text{s}^{-1} \cdot t)}}$$



1.c)

System 1:

$$y(0,10\text{s}) = 5\text{cm} \cdot \sin(5\text{s}^{-1} \cdot 0,10\text{s}) \approx \underline{\underline{2,4\text{cm}}}$$

System 2:

$$u(0,10\text{s}) = 20\text{V} \cdot \sin(6742\text{s}^{-1} \cdot 0,10\text{s}) \approx \underline{\underline{18,9\text{V}}}$$

1.d)

System 1:

Für die Frequenz gilt: $f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}}$. Um diese zu halbieren, muss man D und m so

wählen, dass $\sqrt{\frac{D}{m}}$ halb so groß ist wie zuvor, d.h. $\frac{D}{m}$ muss auf ein Viertel des

ursprünglichen Wertes sinken. Dies kann man dadurch erreichen, dass man entweder eine

Feder mit der Federkonstanten $D = \frac{1}{4} \cdot 2,5 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 0,625 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ verwendet und die Masse des

Hakenkörpers konstant hält oder man verwendet die ursprüngliche Feder und verwendet einen Hakenkörper der Masse $m = 4 \cdot 0,10\text{kg} = 0,40\text{kg}$.

System 2:

Für die Frequenz gilt: $f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Um diese zu halbieren, muss man L und C so

wählen, dass $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ halb so groß ist wie zuvor, d.h. $L \cdot C$ muss auf das Vierfache des ursprünglichen Wertes steigen. Dies kann man beispielsweise dadurch erreichen, dass man entweder einen Kondensator mit viermal größerer Kapazität also mit $C = 4 \cdot 500\text{nF} = 2\mu\text{F}$ verwendet und die ursprüngliche Spule benutzt, oder man verwendet den ursprünglichen Kondensator und eine Spule mit vierfacher Induktivität, also mit $L = 4 \cdot 44\text{mH} = 176\text{mH}$.

Aufgabe 3.1 Atom- und Kernphysik

1.a)

Bei den Streuversuchen wurde der Frage nachgegangen, ob ein Atom ein kompaktes Gebilde ist. Dazu wurden sehr dünne, d.h. etwa 100 Atomschichten starke Metallfolien (z.B. eine Goldfolie) mit α -Teilchen beschossen und untersucht, ob die α -Teilchen die Folie ungehindert durchdringen oder gestreut werden.

Die um einen bestimmten Winkel ϑ gestreuten Teilchen erzeugen auf dem Schirm eines Szintillationszählers kleine Lichtblitze, welche ausgezählt werden.

(Der erste Szintillationszähler -das Spintariskop-, welches RUTHERFORD bei seinen Streuversuchen nutzte, bestand aus einem Zinksulfidschirm und einem Mikroskop. Treffen α -Teilchen auf den Schirm, so beobachtet man Lichtblitze, die mit Hilfe des Mikroskops ausgezählt werden. Heute verwendete Szintillationszähler ermöglichen es, die Lichtblitze mit Hilfe eines Photomultimeters elektronisch zu verarbeiten und auszuzählen.)

1.b)

Bei seinen Versuchen stellte RUTHERFORD fest, dass fast alle α -Teilchen die verschiedenen Folien ungehindert passieren.

Einige Heliumkerne wurden jedoch gestreut, wobei zu beobachten war, dass kleine Ablenkungswinkel häufiger, große jedoch außerordentlich selten vorkamen.

(Die Verwendung unterschiedlicher Metallfolien hat gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit für die Ablenkung eines α -Teilchens um einen bestimmten Winkel proportional zum Quadrat der Ordnungszahl des Streumaterials ist).

1.c)

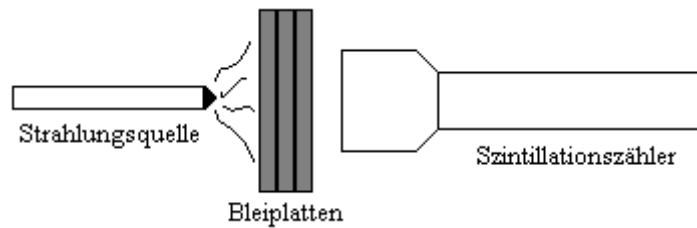
Postulate des RUTHERFORDSchen Atommodells:

- Atome haben einen Durchmesser von ca. 10^{-10} m; fast die gesamte Masse des Atoms ist aber in seinem Kern konzentriert; der Atomkern selbst hat einen Durchmesser von etwa 10^{-14} m .
- Die gesamte positive Ladung befindet sich im Atomkern
- Die negativen Ladungen befinden sich in Form von Elektronen in der Atomhülle; die Elektronen bewegen sich auf kreisförmigen Bahnen um den Kern, diese Bahnen geben dem Atom seine Größe. Die Zentralkraft ist die elektrostatische Anziehungskraft zwischen positivem Kern und den negativen Elektronen.

RUTHERFORD ist es mit seinem Atommodell, das ein mikroskopisches Analogon zum Planetenmodell darstellt, erstmals gelungen, den Aufbau des Atoms näherungsweise zu beschreiben und die bis dahin gültige Vorstellung vom Atom als starres, unteilbares Gebilde sowie das „Rosinenmodell“, nach dem die Elektronen des Atoms starr wie die Rosinen in einem Kuchen positioniert sind, zu überwinden. Sein Atommodell bildete die Grundlage für eine weitere, intensive Forschung und Präzisierung unserer Vorstellungen vom Atom und fand seine Weiterentwicklung in dem Atommodell von BOHR und dem Quanten-Atom-Modell.

2.a)

Skizze einer möglichen Messanordnung.



Ein Gammastrahler wird hinter einer Anordnung von Bleiplatten positioniert. Durch Hinzufügen oder Wegnahme einzelner Bleiplatten (bei gleichzeitiger Entfernung des Strahlers) kann die Schichtdicke variiert werden.

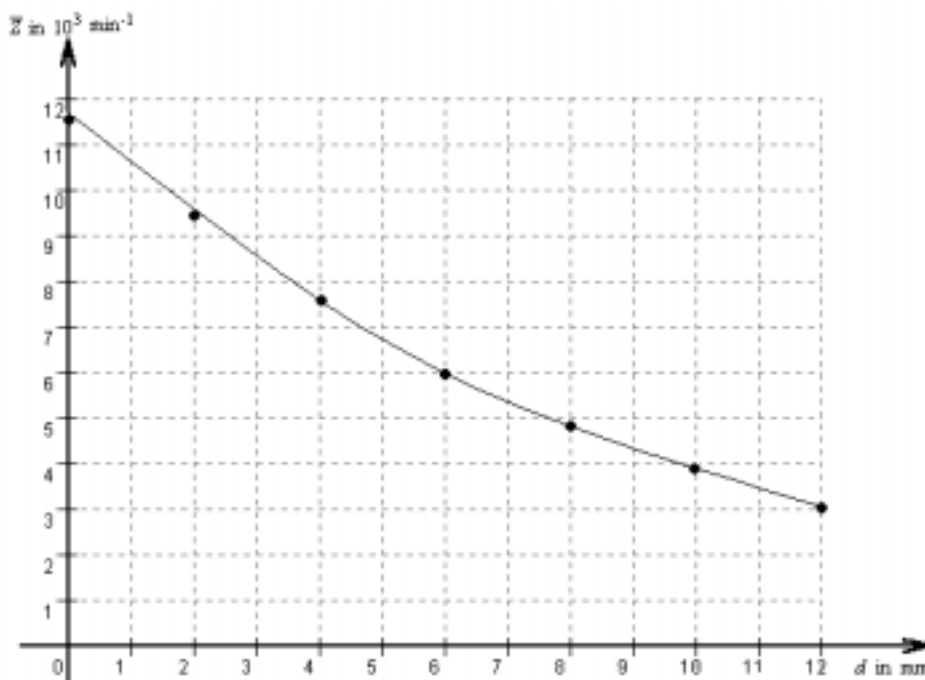
Der auf der anderen Seite der Bleiplatten befindliche Szintillationszähler registriert die vom Blei nicht absorbierten Gammaquanten in Abhängigkeit von der Schichtdicke des Absorptionsmaterials.

2.b)

Bleiplatten werden zum Schutz vor radioaktiver Strahlung (Gammastrahlung) verwendet. Die Kenntnis der Halbwertsdicke ermöglicht die richtige Auswahl entsprechender Bleiplatten zu Durchführung eines optimalen Strahlenschutzes.

2.c)

Graphische Darstellung der mittleren Zählrate für Blei in Abhängigkeit von der Schichtdicke



Die graphische Darstellung zeigt, dass die mittlere Zählrate mit zunehmender Schichtdicke des Bleis (vermutlich exponentiell) abnimmt, d.h. mit wachsender Schichtdicke der Bleiplatte die Absorption von Gammastrahlung zunimmt.

2.d)

Die Halbwertsdicke d_H ist die Dicke der Bleiplatte, bei der die mittlere Zählrate auf den halben Wert (bezogen auf die Zählrate ohne Verwendung einer Bleiplatte) zurückgegangen ist, also einen Wert von $5,8 \cdot 10^3 \text{ min}^{-1}$ annimmt.

Aus dem Diagramm entnimmt man $d_H \approx 5,9 \text{ mm}$.

Aufgabe 3.2 Thermodynamik

1.a)

ges.: Herleitung der Gleichung $C = \frac{U \cdot I \cdot t}{\Delta T}$

geg.: Erwärmungsgesetz: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Wärmekapazität eines Kalorimeters: $C = c \cdot m$

elektrische Arbeit: $W = U \cdot I \cdot t$

Lösung:

Das Kalorimeter nimmt die Wärme Q von der Heizspirale auf. Diese Wärme lässt sich durch das Erwärmungsgesetz berechnen: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$. Da für die Wärmekapazität eines Kalorimeters auch $C = c \cdot m$ gilt, kann das Erwärmungsgesetz auch so geschrieben werden: $Q = C \cdot \Delta T$. Damit lässt sich die Wärmekapazität eines Kalorimeters berechnen:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}.$$

Die abgegebene Wärme Q wird von der Heizspirale erbracht. Diese setzt die elektrische Arbeit W vollständig in Wärme Q um. Die verrichtete elektrische Arbeit der Heizspirale ist somit gleich der an das Kalorimeter abgegebenen Wärme.

Die elektrische Arbeit einer Heizspirale ist berechenbar nach der folgenden Gleichung

$$W = U \cdot I \cdot t.$$

Setzt man nun die elektrische Arbeit W der Heizspirale gleich mit der abgegebenen Wärme Q der Heizspirale, dann erhält man folgenden Ausdruck für die Wärmekapazität eines

Kalorimeters: aus $W = Q = U \cdot I \cdot t$ folgt $C = \frac{U \cdot I \cdot t}{\Delta T}$.

1.b)

Experiment

Geräte:

1 Becherglas „Jenaer Glas 250 ml GDR Rasotherm“

200 ml Wasser in das Becherglas

1 Heizspirale

1 Thermometer

1 Rührer

1 Stoppuhr

2 Vielfachmesser (Polytest 1W)

1 Universaltransformator, eingestellt auf 8V

5 Leitungen

Aufbau: siehe Aufgabenstellung

Durchführung:

Nach Einfüllen des Wassers (200ml) in das Becherglas lässt man das Wasser einige Zeit stehen, damit sich die Temperatur an die Raumtemperatur angleichen kann. Die Experimentieranordnung sollte weder in der Sonne noch an der Heizung stehen.

An dem Universaltransformator sollte eine Spannung von 8V eingestellt sein, damit der durch die Heizspirale fließende Strom noch unter 1A liegt und damit vom zur Verfügung stehenden Strommessgerät erfasst werden kann.

Messwerte:

Spannung: $U = 6,4\text{V}$; Stromstärke: $I = 920\text{mA}$

Weiterhin ist die Zeit und die Temperatur der Kalorimeterflüssigkeit zu messen. T_A bezeichnet die Temperatur am Anfang der Messung vor dem Einschalten der Heizspirale $\vartheta(t = 0)$.

Nach der oben hergeleiteten Formel $C = \frac{U \cdot I \cdot t}{\Delta T}$ ergibt sich für jedes Messwertpaar t und T eine Wärmekapazität. Nachfolgend sind die Messwerte mit dem dazugehörigen Wert der Wärmekapazität C zusammengefasst:

t in s	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780
ϑ in $^{\circ}\text{C}$	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31	31,5	32	32,5	33	33,5	34	34,5
C in $\frac{\text{J}}{\text{K}}$	-	707	707	707	707	707	707	707	707	707	707	707	707	707

Nach jeweils 2 Minuten ergab sich ein Temperaturanstieg von 1K, damit ist der Wert für die Wärmekapazität stets konstant und derselbe.

Beispiel:

geg.: $U = 6,4\text{V}$

$I = 920\text{mA} = 0,92\text{A}$

$t = 780\text{ s}$

$\vartheta_A = 28^{\circ}\text{C}$ und $\vartheta_E = 34,5^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 6,5\text{K}$

ges.: C in $\frac{\text{J}}{\text{K}}$

Lösung:

$$C = \frac{6,4\text{V} \cdot 0,92\text{A} \cdot 780\text{s}}{6,5\text{K}};$$

$$[C] = \frac{1\text{VAs}}{1\text{K}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{K}},$$

da $1\text{J} = 1\text{Ws}$ und $1\text{W} = 1\text{VA}$

$$\underline{\underline{C = 707 \frac{\text{J}}{\text{K}}}}$$

Die Wärmekapazität des Kalorimeters beträgt $C = 707 \frac{\text{J}}{\text{K}}$.

2.

geg.: $C = 500 \frac{\text{J}}{\text{K}}$; $\vartheta_A = 20^{\circ}\text{C}$

$m = 100\text{g} = 0,1\text{ kg}$; $\vartheta_E = 100^{\circ}\text{C}$

$\vartheta_M = 22^{\circ}\text{C}$;

ges.: spezifische Wärmekapazität c des Metallkörpers

Lösung:

Bei diesem Vorgang erfolgt ein Wärmeaustausch über die Systemgrenzen hinaus vom System Metallkörper zum System Kalorimeter.

Der Metallkörper gibt Wärme an das Kalorimeter ab und verringert dadurch seine Temperatur von $\vartheta_E = 100^\circ\text{C}$ auf $\vartheta_M = 22^\circ\text{C}$, seine abgegebene Wärme beträgt damit laut Erwärmungsgesetz $Q_{\text{ab}} = m \cdot c \cdot (\vartheta_E - \vartheta_M)$.

Das Kalorimeter nimmt die abgegebene Wärme des Metallkörpers auf, die Temperatur des Kalorimeters steigt damit von $\vartheta_A = 20^\circ\text{C}$ auf $\vartheta_M = 22^\circ\text{C}$ an. Seine aufgenommene Wärme lässt sich auf Grund des Erwärmungsgesetzes und der bekannten Wärmekapazität des Kalorimeters berechnen: $Q_{\text{auf}} = C \cdot (\vartheta_A - \vartheta_M)$.

Da beide Wärmemengen dieselbe Größe haben aber in verschiedene Richtungen ausgetauscht werden, gilt: $|Q_{\text{ab}}| = |Q_{\text{auf}}|$. An dieser Stelle folgt das Einsetzen der Temperaturdifferenzen und der anderen Größen:

$|m \cdot c(\vartheta_E - \vartheta_M)| = |C(\vartheta_A - \vartheta_M)|$, da m , c und C positive Größen sind, ist die Bildung des Betrags nur noch auf die Klammern, also auf die Temperaturdifferenzen, anzuwenden. Dann gilt es nur noch nach c umzustellen.

$$m \cdot c |\vartheta_E - \vartheta_M| = C |\vartheta_A - \vartheta_M|, \text{ damit ist } c = \frac{C |\vartheta_A - \vartheta_M|}{m |\vartheta_E - \vartheta_M|}$$

$$c = \frac{500 \frac{\text{J}}{\text{K}} |20^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C}|}{0,1 \text{kg} |100^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C}|}, \quad [c] = \frac{1 \frac{\text{J}}{\text{K}}}{1 \text{kg K}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$\underline{\underline{c = 0,13 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}}}$$

Die spezifische Wärmekapazität des Metalls beträgt $0,13 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$. Mit diesem Wert könnte

der Metallkörper aus Blei oder aus Wolfram bestehen. Eine eindeutige Antwort kann nur durch die Einbeziehung weiterer Informationen geben werden.

Hinweis:

Entsprechend der Festlegung in der Physik, dass die aufgenommene Wärme (Arbeit) positiv, die abgegebene Wärme (Arbeit) negativ ist, ergibt sich als alternativer Ansatz:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ab}} &= -Q_{\text{auf}} \\ -m \cdot c(\vartheta_E - \vartheta_M) &= C(\vartheta_A - \vartheta_M) \\ m \cdot c(\vartheta_M - \vartheta_E) &= C(\vartheta_A - \vartheta_M) \end{aligned}$$

...

Aufgabe 3.3 Quantenphysik

1.a)

Energie der Photonen der verschiedenen LEDs

Wie der Aufgabe zu entnehmen ist, ergibt sich die Energie E eines Photons aus der Spannung U und der Elementarladung, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ As über die Gleichung $E = e \cdot U$.

Farbe	f in 10^{14} Hz	U in V	E in 10^{-19} J
rot	4,55	1,88	3,01
orange	4,72	1,95	3,12
gelb	5,13	2,12	3,40
grün	5,31	2,19	3,51

1.b)

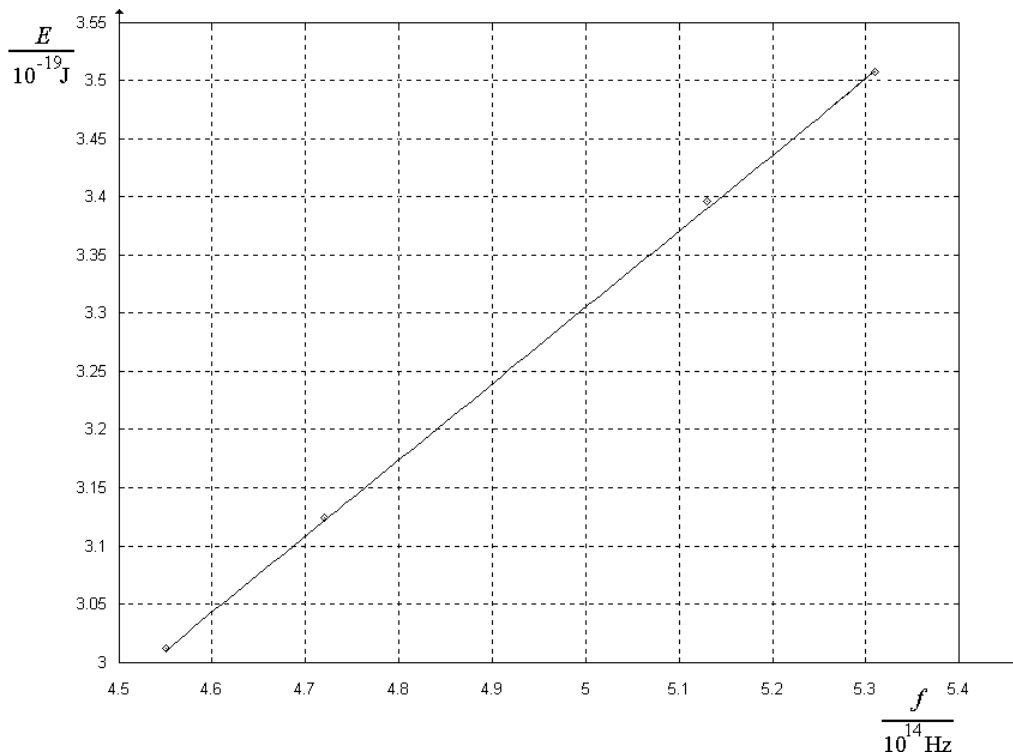
$E(f)$ – Diagramm

Die Werte für dieses Diagramm erhält man aus der obigen Tabelle.

Durch die Punkte lässt sich mit guter Genauigkeit eine Gerade legen. Eine solche Gerade heißt EINSTEINSche Gerade.

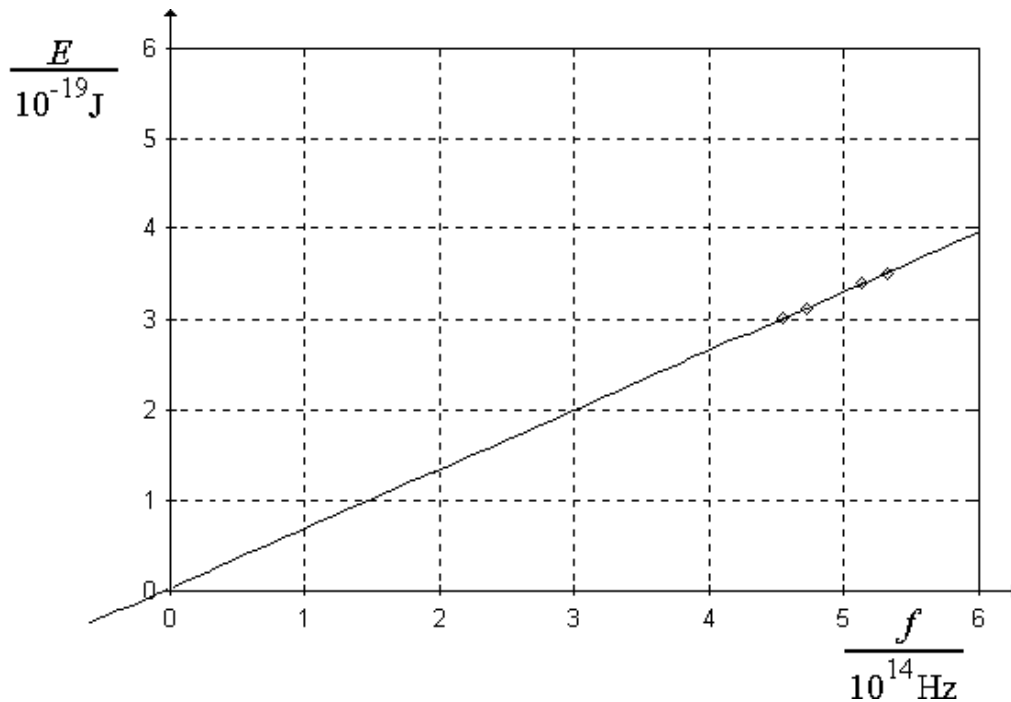
Im Diagramm 1 ist die Energie der Photonen im Bereich von $4,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz} < f < 5,4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen: mit steigender Frequenz des Lichtes nimmt die Energie der Photonen linear im durch die Werte gegebenen Intervall zu. Für die Energie E der Photonen lässt sich damit eine Geradengleichung finden, deren Anstieg das PLANCKsche Wirkungsquantum h ist. Der Schnittpunkt der EINSTEINSchen Gerade mit der Energie-Achse ergibt die Austrittsarbeit W_A des Kathodenmaterials.

Diagramm 1



Im nachfolgenden Diagramm 2 ist der Koordinatenursprung einbezogen.

Diagramm 2



Es ist anhand der Verlängerung der Gerade erkennbar, dass die Austrittsarbeit des Stoffes positiv ist, d.h. hier schon freie Elektronen vorliegen, die eine kleine kinetische Energie besitzen.

1.c)

ges.: Näherungswert für das PLANCKSche Wirkungsquantum h

geg.: Werte aus der Tabelle

$$f_1 = 4,55 \cdot 10^{14} \text{ Hz}, E_1 = 3,01 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$f_4 = 5,31 \cdot 10^{14} \text{ Hz}, E_4 = 3,51 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Lösung:

Der Anstieg einer Geraden berechnet sich als Quotient aus den Differenzen zweier Funktionswerte und zweier Argumente, hier also aus zwei Werten der Energien (E_1 und E_4) und der Frequenzen (f_1 und f_4):

$$h = \frac{E_4 - E_1}{f_4 - f_1} .$$

$$h = \frac{3,51 \cdot 10^{-19} \text{ J} - 3,01 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{5,31 \cdot 10^{14} \text{ Hz} - 4,55 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} ; [h] = 1 \frac{\text{J}}{\text{Hz}} = 1 \frac{\text{J}}{\frac{1}{\text{s}}} = 1 \text{ Js}$$

$$\underline{\underline{h = 6,58 \cdot 10^{-34} \text{ Js} .}}$$

Damit ist die Abweichung des aus den experimentellen Daten gewonnenen Näherungswertes für das PLANCKSche Wirkungsquantum zum Tabellenwert relativ gering.

2.

$$\begin{aligned} \text{geg.: } P_{\text{opt}} &= 0,5\text{mW} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ W} \\ f &= 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \\ r &= 6\text{m} \\ A &= 9\text{mm}^2 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2.a)

Eigenschaften des Laserlichtes sind folgende:

- es ist monochromatisch (d.h. einfarbig; alle Photonen haben dieselbe Frequenz),
- es ist kohärent (feste Phasenbeziehung zwischen den Wellenzügen)
- die Strahlung ist nahezu parallel
- die Strahlung besitzt eine hohe Energiedichte.

2.b)

ges.: Energie eines Photons E_{Photon}

Lösung:

$$E_{\text{Photon}} = h \cdot f$$

$$E_{\text{Photon}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}, \quad [E] = 1\text{Js} \cdot \text{Hz} = 1\text{Js} \frac{1}{\text{s}} = \text{J}$$

$$\underline{\underline{E_{\text{Photon}} = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}}}$$

Die Energie eines Photons dieser Strahlung beträgt $E = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

2.c)

ges.: Anzahl N der ausgesendeten Photonen

geg.: $t = 1\text{s}$

Lösung:

$$P = \frac{W}{t}, \text{ damit gilt dann auch } P_{\text{optisch}} = \frac{W}{t}$$

Die verrichtete Arbeit eines Laserpointers entspricht seiner abgestrahlten Energie. Diese Energie lässt sich durch die Kenntnis seiner Leistung für eine bestimmte Zeitspanne, hier für $t = 1\text{s}$, berechnen:

$$\text{aus } P = \frac{W}{t} \text{ folgt } W = P \cdot t,$$

$$W = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot 1\text{s},$$

$$W = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ws}$$

$$\underline{\underline{W = 0,5 \text{ mJ}}}$$

Damit ist die abgestrahlte Energie des Laserpointers für eine Sekunde bekannt, nämlich 0,5mJ.

Diese Energie setzt sich aus den Einzelenergien E_{Photon} einer bestimmten Anzahl N von Photonen zusammen. Die Summe der Energien aller Photonen ist gleich der Arbeit W , die der Laserpointer verrichtet. Es gilt also $W = N \cdot E_{\text{Photon}}$. Durch Umstellen dieser Beziehung findet man die Gleichung zur Berechnung der Anzahl der Photonen, nämlich

$$N = \frac{W}{E_{\text{Photon}}}. \text{ Nach Einsetzen der Zahlen ergibt sich: } N = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}}{3,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}}, \underline{N = 1,5 \cdot 10^{15}}.$$

Die Anzahl der abgestrahlten Photonen in einer Sekunde bei diesem Laserpointer beträgt somit $N = 1,5 \cdot 10^{15}$.

2.d)

geg.: Glühlampe

$$P_{\text{opt}} = 0,5 \text{ W}$$

$$r = 6 \text{ m}$$

$$A = 9 \text{ mm}^2 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

ges.: Lichtenergie E_L der einfallenden Strahlung der Glühlampe,
Strahlungsenergie E_{Laser} des Laserpointers

Lösung:

Lichtenergie der Glühlampe

Die abgestrahlte Lichtenergie W in einer Sekunde findet man mit Hilfe der optischen Leistung P_{opt} ,

$$\text{aus } P_{\text{opt}} = \frac{W}{t} \text{ folgt } W = P_{\text{opt}} \cdot t,$$

$$W = 0,5 \text{ W} \cdot 1 \text{ s},$$

$$\underline{W = 0,5 \text{ Ws}}$$

Die Strahlung der Glühlampe fällt idealisiert auf die Oberfläche einer Kugel ($r = 6 \text{ m}$), damit ist die gesamte bestrahlte Fläche gleich der Oberfläche der Kugel, somit $A_0 = 4\pi r^2$.

$$\text{Die abgestrahlte Energie je Flächeneinheit ergibt sich aus } \frac{W}{A} = \frac{0,5 \text{ Ws}}{4\pi (6 \text{ m})^2} = 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ws}}{\text{m}^2},$$

d.h. auf einen 1 m^2 großen Teil der Kugeloberfläche fällt eine Lichtenergie von $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ws}$.

Wenn auf 1 m^2 eine Lichtenergie von $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ws}$ strahlt,

dann strahlt auf $1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$ eine Lichtenergie von $E_1 = 10^{-6} \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ws}$,

entsprechend auf 9 mm^2 dann $E_2 = 9 \cdot 10^{-6} \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ws}$, das sind $E_2 = 9,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ws}$.

Auf eine Fläche von 9 mm^2 fällt in einer Sekunde eine Lichtenergie von $9,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ws}$.

Laserenergie des Laserpointers

Die abgestrahlte Arbeit eines Laserpointers in einer Sekunde lässt sich analog zu oben aus der optischen Leistung berechnen:

$$\text{aus } P_{\text{opt}} = \frac{W}{t} \text{ folgt } W = P_{\text{opt}} \cdot t,$$

$$W = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot 1 \text{ s},$$

$$\underline{W = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ws}}$$

Auf eine Fläche von 9 mm^2 strahlt der Laserpointer eine Energie von $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ws}$.

Vergleich zur Glühlampe

Auf eine gleich große Fläche strahlt die Glühlampe in einer Sekunde eine Lichtenergie $9,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ws}$, der Laserpointer aber $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ws}$. Der Laserpointer strahlt um den Faktor

$$\frac{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ws}}{9,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ws}} \approx 50000 \text{ mal stärker als die Glühlampe. Dies ist ein Zeichen für die hohe}$$

Bündelung der Energie der Laserstrahlung. Daher ist es wichtig während der Arbeit mit einem Laserpointer niemals mit diesem Gerät auf Menschen zu zeigen, da die starke Strahlung eines Laserpointers, sollte sie auf ein Auge gerichtet sein, zu schweren Schäden an der Netzhaut (Ablösen der Netzhaut) führen kann.