Aufgabe 1

Themenbereich: Mechanische Schwingungen und Wellen

Schwerpunkt dieser Aufgabe sind die mechanischen Schwingungen und Wellen unter besonderer Berücksichtigung der Akustik.

1.a Das Federpendel ist ein besonders gutes Beispiel für einen Oszillator, der so genannte „harmonische“ Schwingungen ausführt. Erläutern Sie, welche Eigenschaft eines Oszillators zu harmonischen Schwingungen führt.
Nennen und begründen Sie ein Beispiel für einen nicht-harmonischen Oszillator.

(4 Punkte)

1.b An eine Schraubenfeder wird ein Massestück von $m_1 = 120g$ gehängt. Dadurch verlängert sich die Feder um $\Delta s = 5cm$. Berechnen Sie die Federkonstante D.
Dieses System wird in vertikale Schwingungen versetzt, indem man die Masse noch um weitere $10cm$ nach unten zieht und los lässt. Berechnen Sie die Schwingungsdauer T und die Frequenz f dieses Oszillators.
Geben Sie die Zeit-Weg-Funktion $s(t)$ dieser Schwingung an und zeichnen Sie dessen Graphen für zwei Schwingungsdauern mit Hilfe einiger geeigneter Wertepaare.
Berechnen Sie einen Zeitpunkt, an dem sich der Körper auf halber Strecke zwischen Nulllage und maximaler Elongation befindet.

(14 Punkte)

1.c Mit einem schwingungsfähigen System kann man bekanntlich Töne erzeugen wie z.B. in einer Spieluhr, bei der unterschiedlich lange Lamellen durch kleine Zapfen angezupft werden. (siehe Abb. 1).

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 1

Erläutern Sie zunächst, wie hier die Erzeugung und Übertragung der Töne zum Ohr zu Stande kommt.
Die schnellen Schwingungen der Lamellen lassen sich schlecht beobachten. Es wurde daher eine größere elastische Stange bei verschiedenen freien Längen L fest eingespannt und jeweils die Zeit $20T$ für 20 Schwingungen gemessen (siehe Abb. 2):

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 2

L in m	0,00	0,50	0,70	0,90	1,20	1,40
20 T in s	0,00	1,5	3,0	5,0	9,0	12,0

Bestimmen Sie mit Hilfe eines Diagramms und Auswertungsrechnung diese Abhängigkeit und stellen Sie eine Formel für $T(L)$ auf.
Die Lamelle, die den Ton mit der Frequenz $f = 440Hz$ erzeugt besitzt eine Länge von $L = 9mm$. Beurteilen Sie, ob sich das Experiment mit dieser Blattfeder auf die Eigenschaften der Spieluhr-Lamellen übertragen lässt.

(20 Punkte)

1.d Dieser Ton mit der Frequenz $f = 440Hz$ bildet eine Schallwelle im Raum.
Berechnen Sie dessen Wellenlänge λ_1.
Berechnen Sie die Schallgeschwindigkeit unter Wasser, wenn man dort eine Wellenlänge von $\lambda_2 = 3{,}7m$ gemessen hatte.
Berechnen Sie, welche Frequenzen man wahrnehmen würde, wenn eine Schallquelle dieser Frequenz (440*Hz*) sich in Luft mit einer Geschwindigkeit von $v = 180\,km/h$ einem Beobachter nähert und wenn sich ein Beobachter mit derselben Geschwindigkeit dieser ruhenden Schallquelle nähert.
Erläutern Sie, welches Phänomen man als „akustischen Doppler-Effekt“ bezeichnet und wie dieser zu erklären ist.

(8 Punkte)

1.e In einem buddhistischen Kloster hängt ein großer Zeremoniengong, dessen Schwingungen über ein Mikrofon von einem Oszilloskop aufgezeichnet wurden (siehe Abb. 3).
Beschreiben Sie mit Hilfe geeigneter Begründungen, wie sich der Ton dieses Gongs anhört.

(4 Punkte)

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 3 Amplitude

Zeit

Aufgabe 2

Themenbereich: Elektronen und Photonen als Mikroobjekte

Auf einem Schaltbrett (siehe Abbildung 1) sind sechs Leuchtdioden (kurz LED) montiert, die Licht unterschiedlicher Farbe und Wellenlänge abgeben. An die einzelnen LEDs wird nacheinander eine Spannung U gelegt und von $U_1 = 0V$ bis $U_2 = 3V$ hochgefahren. Dabei wird die so genannte Durchlassspannung U_d bestimmt, ab der durch die LED ein Strom I fließt und die LED gerade zu leuchten beginnt.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 1: LED Schaltbrett ähnlich dem der Firma Conatex

Vereinfachend wird Folgendes angenommen: Die Energie der Photonen, die von der von der LED abgegebenen werden, ist gleich der Energie, die die Elektronen beim Durchlaufen der Durchlassspannung erhalten.

Die Daten für die Durchlassspannung U_d und die Wellenlänge λ des Lichtes, das die einzelnen LEDs abgeben, sind in Tabelle 1 im Anhang aufgeführt.

2.a Berechnen Sie die zu den Wellenlängen λ aus Tabelle 1 gehörenden Frequenzen f des Lichtes und die Energien W_e in $Joule$, die den Elektronen in den einzelnen LEDs zugeführt werden, wenn die LEDs gerade zu leuchten beginnen. *(10 Punkte)*

2.b Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Frequenzen f und den Energien W_{Ph} der Photonen in einem geeigneten Diagramm dar $\left[W_{Ph}(f)\right]$.
Bestimmen Sie das Plancksche Wirkungsquantum h . *(10 Punkte)*

Hinweis: Sollten Sie die Energien in Aufgabenteil 2.a nicht berechnet haben, dann arbeiten Sie mit den Messwerten aus Tabelle 2 im Anhang weiter, die teilweise mit anderen LEDs bestimmt wurden.

Die Masse m_{Ph} und der Impuls p_{Ph} der Photonen hängen von der Farbe des Lichtes ab. Albert Einstein hat die Energie der Photonen mit den Gleichungen $W = h \bullet f$ und $W = m_{Ph} \bullet c^2$ beschrieben.

2.c Leiten Sie mit diesen beiden Gleichungen von Albert Einstein die Gleichung her, die den Zusammenhang zwischen der Masse m_{Ph} und der Frequenz f_{Ph} der Photonen beschreibt.
Berechnen Sie die Masse m_{Ph}, die Wellenlänge λ_{Ph} und den Impuls p_{Ph} eines Photons, dessen Frequenz $f_{Ph} = 6,25 \cdot 10^{14}\,Hz$ beträgt und fertigen Sie die zugehörige Dimensionsbetrachtung an. *(10 Punkte)*

Die blaue LED besteht aus einem dotierten Silizium-Einkristall mit dem Netzebenenabstand $d = 543\,pm$. Wenn sich Elektronen durch den Einkristall bewegen, können sie, genau wie im Graphitkristall in der Elektronenbeugungsröhre, Bragg - Reflexion erfahren.

2.d Berechnen Sie die de – Broglie – Wellenlänge λ_{Elektr} von Elektronen, die die kinetische Energie $W_{kin} = 2,58\,eV$ haben. (Zur Kontrolle: $\lambda_{Elektr} \approx 764\,pm$.)
Leiten Sie die Gleichung für die Bragg – Reflexion durch eine geeignete trigonometrische Betrachtung her.
Berechnen Sie den Glanzwinkel erster Ordnung ϑ_1 für Elektronen mit der kinetischen Energie $W_{kin} = 2,58\,eV$. *(10 Punkte)*

Die Bestimmung der Plankschen Konstanten h aus Aufgabenteil 2.b soll durch eine zweite, von der oben beschriebenen Vorgehensweise unabhängigen Versuchsreihe abgesichert werden. Dazu werden bei verschiedenen Beschleunigungsspannungen U_B Röntgenspektren aufgenommen. Die Ergebnisse der Messungen sind in Diagramm 1 im Anhang dargestellt.
Der Verlauf der Kurven wird durch die Grenzwellenlänge λ_{grenz}, die Röntgenbremsstrahlung und die charakteristische Röntgenstrahlung bestimmt.

2.e Erläutern Sie, wie zwei der drei oben genannten physikalischen Größen zustande kommen.
Füllen Sie die Tabelle 3 im Anhang mittels der Messwerte aus Diagramm 1 aus und bestimmen Sie mittels aller Messwerte aus Tabelle 3 den Wert der Planckschen Konstanten h , der sich daraus ergibt *(10 Punkte)*

Anhang

Farbe	U_d in V	λ in nm
infrarot	1,20	1030
rot	1,87	665
grün	2,22	560
blau	2,58	480

Tabelle1

Farbe	f in $1/s$	W in J
infrarot	$2{,}91 \cdot 10^{14}$	$1{,}92 \cdot 10^{-19}$
rot	$4{,}47 \cdot 10^{14}$	$2{,}94 \cdot 10^{-19}$
grün	$5{,}44 \cdot 10^{14}$	$3{,}58 \cdot 10^{-19}$
blau	$6{,}25 \cdot 10^{14}$	$4{,}13 \cdot 10^{-19}$

Tabelle 2

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Diagramm 1

U_B in kV	28	25	16
Grenzwellenlänge λ in pm		50	

Tabelle 3

Aufgabe 3

Themenbereich Materie

Um das Jahr 1910 gingen die Physikerinnen und Physiker vom Thomsonschen Atommodell aus, nachdem Atome wie folgt aufgebaut sind: Sie bestehen aus kompakten Kugeln mit dem Durchmesser $d_{Atom} \approx 10^{-10} m$. Die positive Ladung sollte über die gesamte Kugel „verschmiert" sein und in dieser Kugel sollten bewegliche negative Ladungen wie Rosinen im Kuchen eingebettet sein. In einem Stoff, z.B. einer Goldfolie sollten die Kugeln dicht an dicht liegen. Benachbarte Kugeln sollten sich also mit ihren Oberflächen gegenseitig berühren. Rutherford überprüfte diese Vorstellung, indem er eine $0{,}004mm$ dicke Goldfolie mit sehr schnellen $\alpha-$Teilchen beschoss. Die Goldfolie war ca. 10000 Atomlagen dick und undurchsichtig. Von den $\alpha-$Teilchen wusste er, dass sie praktisch nicht mit den Elektronen reagierten.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 1: Rutherfords Versuchsanordnung (Das Mikroskop, der Szintillationsschirm und die Blende 2 drehen sich gemeinsam um den Mittelpunkt der Goldfolie)

3.a Nennen Sie ein mögliches Versuchsergebnis, das nach dem Thomsonschen Atommodell zu erwarten war. *(3 Punkte)*

Rutherford machte bei seinem Versuch folgende Beobachtungen: Der weitaus größte Teil der $\alpha-$Teilchen durchquerte die Goldfolie ungehindert, aber einige wenige wurden gestreut. Je größer der Streuwinkel φ war, desto seltener trat er auf, manchmal traten Streuwinkel von über 90° auf und ganz selten wurden die $\alpha-$Teilchen sogar um den Winkel 180° zurück gestreut.

3.b Nennen Sie die Schlussfolgerungen, die Rutherford über den Aufbau von Atomen aus den Versuchsergebnissen zog.
Begründen Sie Ihre Aussagen mit den Beobachtungen von Rutherford. *(6 Punkte)*

Rutherford konnte seinen Versuchsergebnissen auch entnehmen, dass selbst diejenigen $\alpha-$Teilchen, die um 180° gestreut wurden, nicht den Atomkern berührt hatten.
Seine Versuchsauswertung ergab darüber hinaus, dass der minimale Abstand zwischen dem Mittelpunkt des $\alpha-$Teilchens und dem des Goldatomkerns $r = 4{,}76 \cdot 10^{-14} m$ gewesen sein musste. Daraus folgerte Rutherford, dass der Radius eines Goldatomkerns kleiner als $r = 4{,}76 \cdot 10^{-14} m$ ist.

3.c Bestimmen Sie die kinetische Energie $W_{kin;\alpha}$ der $\alpha-$Teilchen, mit denen Rutherford die Atome der Goldfolie beschoss, wenn sich die potentielle Energie zweier (punktförmiger) elektrischer Ladungen zueinander mit der Formel $W_{pot} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r}$ berechnen lässt und Gold die Ordnungszahl Z = 79 hat.
(Zur Kontrolle: $W_{kin;\alpha} \approx 4{,}785 MeV$) *(6 Punkte)*

Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass Rutherford bei seinen Versuchen ein Radiumpräparat als Quelle für die $\alpha -$Teilchen benutzte.

3.d Begründen Sie mittels der Nuklidkarte im Anhang, warum es sich dabei um $^{226}_{88}Ra$ handelt. Geben Sie die Zerfallsreihe von $^{226}_{88}Ra$ an. Berücksichtigen Sie bei mehreren Zerfallswegen eines Isotops nur den wahrscheinlichsten Zerfallsweg.
Berechnen Sie aus den Kernmassen und der Masse des $\alpha -$Teilchens die Gesamtenergie, die bei dem <u>ersten</u> Zerfallsschritt von $^{226}_{88}Ra$ frei wird. *(13 Punkte)*

Beim $\beta^- -$Zerfall zerfällt im Atomkern ein Neutron in ein Proton und in ein $\beta^- -$Teilchen.

3.e Beschreiben Sie den Aufbau von Protonen und Neutronen und den $\beta^- -$Zerfall im Quark-modell. *(8 Punkte)*

Jeder Mensch nimmt durch die Nahrung auch das Kaliumisotop $^{40}_{19}K$ auf. Es ist ein $\beta^- -$Strahler und wandelt sich beim Zerfall in ein Calciumisotop (chemisches Symbol für Calcium: Ca) um.

Im Körper einer Person der Masse $m_{Person} = 75kg$ wird durch den Zerfall der $^{40}_{19}K$-Kerne innerhalb eines Jahres die Energie $W_{Kalium} = 0{,}03164J$ frei.

3.f Berechnen Sie den Massedefekt Δm pro Zerfall eines $^{40}_{19}K$-Kerns und die Anzahl A der $^{40}_{19}K$-Kerne, die pro einer Sekunde im Körper der Person zerfallen. (10 Punkte)

Trifft ein $\beta^- -$Teilchen auf ein $\beta^+ -$Teilchen tritt Paarvernichtung auf, das heißt, dass die beiden Elementarteilchen in zwei Photonen mit gleicher Energie zerstrahlen.

3.g Berechnen Sie die Frequenz f eines dieser $\gamma -$Quanten. *(4 Punkte)*

Anhang 1

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Ausschnitt aus: Metzler Physik

Anhang 2

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Quelle: Dorn Bader ; Physik Oberstufe Gesamtband

Anhang 3

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Quelle:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Standard_Model_of_Elementary_Particles-de.svg

Schriftliche Abiturprüfung 2012 im dritten Prüfungsfach

Grundkurs Physik

Dienstag, 24. April, 9.00 Uhr

Unterlagen für Referenten und Korreferenten

- Diese Unterlagen sind nicht für Schülerinnen und Schüler bestimmt -

---

Diese Unterlagen enthalten …

- Allgemeines,
- Erwartungshorizonte, Bewertungen und Korrekturhinweise zu den Aufgaben,
- keine Aufgabenstellungen – Ihre Exemplare entnehmen Sie bitte den Schüleraufgaben – ,
- einen Protokollbogen zur Auswahl der Aufgaben für die Prüfungsakten Ihrer Schule,
- einen Rückmeldebogen für die Zentralabiturkommission zur Auswahl der Aufgaben.

Allgemeines

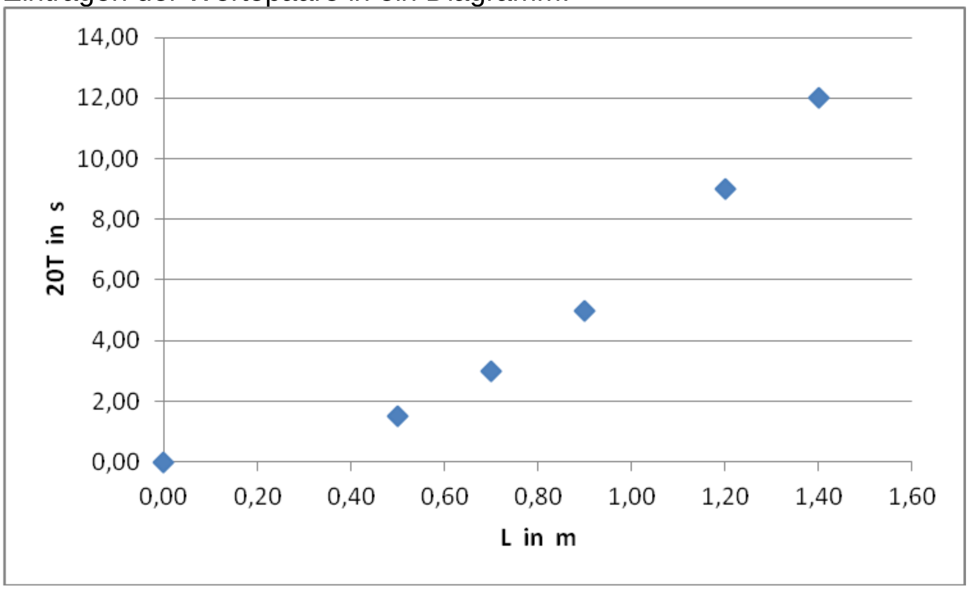
- Prüfen Sie die Prüfungsaufgaben vor der Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre Vollständigkeit und formale und inhaltliche Korrektheit und ergänzen Sie sie gegebenenfalls. Bei nicht ausreichender Anzahl erstellen Sie entsprechende Kopien vor Ort. Bei einem schwerwiegenden inhaltlichen Fehler informieren Sie sofort die Senatorin für Bildung und Wissenschaft von 7.00 bis 9.30. Die von der Senatorin für Bildung und Wissenschaft vorgenommene Korrektur gibt die Schule sofort an die für die schriftliche Prüfung zuständige Lehrkraft weiter.
- Wählen Sie gemeinsam mit Ihrer Korreferentin / Ihrem Korreferenten aus den drei vorgelegten Aufgaben zwei aus. Kommt es zu keiner Einigung, bestimmt die/der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses die Auswahl der Aufgaben (§ 10 Abs. 2 Nr. 1 AP-V). Protokollieren Sie auf dem beigefügten Protokollformular, welche Aufgaben Sie gewählt haben (Prüferin/Prüfer und Korreferentin/Korreferent und ggf. auch die/der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses unterschreiben das Protokoll).
- Füllen Sie bitte für die Zentralabiturkommission Physik den beigefügten Rückmeldebogen zur Auswahl der Aufgaben aus und schicken ihn an die dort genannte Adresse.
- Fragen Sie vor Verteilung der Aufgaben nach der Arbeitsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler und weisen Sie diese auf die Regelungen des § 5 AP-V (Täuschung und Behinderung) hin.
- Machen Sie die Schülerinnen und Schüler auf die Arbeitshinweise aufmerksam, die am Anfang ihrer Unterlagen für die Prüfung stehen. Geben Sie ihnen ggf. die nötigen Angaben zur Schulnummer sowie zur genauen Kursbezeichnung.
- Die Bearbeitungszeit beträgt 180 Minuten.
- Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Taschenrechner.

Aufgabe 1 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

	Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung		
		I	II	III
a.	Unbedingte Voraussetzung für eine harmonische Schwingung ist das Wirken eines „linearen Kraftgesetzes“, d.h. die momentane Rückstellkraft ist proportional zur jeweiligen Elongation. (Das ist beim Federpendel wegen des Hookeschen Gesetzes der Fall.) Ein Beispiel wäre hier ein Fadenpendel, bei dem die Rückstellkraft nicht vom Winkel (der in diesem Fall die Elongation darstellt) abhängig ist, sondern vom Sinus dieses Winkels. Jede andere, physikalisch sinnvolle Antwort sollte hier aber mit der vollen Punktzahl bewertet werden.	2	2	
b.	Nach dem Hookeschen Gesetz $F = D \cdot \Delta s$ folgt: $D = \frac{m_1 \cdot g}{\Delta s} = \frac{0{,}120kg \cdot 9{,}81 N/kg}{0{,}05m} = 23{,}54\frac{N}{m}$ Für ein Federpendel gilt: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$ also: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0{,}120kg}{23{,}54 N/m}} = 0{,}45s$ Mit $f = \frac{1}{T}$ ergibt sich: $f = \frac{1}{0{,}45s} = 2{,}23Hz$ Allgemein gilt: $s(t) = \hat{s} \cdot \cos(\omega \cdot t)$ und so: $s(t) = 10cm \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) = 10cm \cdot \cos\left(14{,}01s^{-1} \cdot t\right)$ ***Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.*** $s(t) = 5cm = 10cm \cdot \cos\left(14{,}01s^{-1} \cdot t\right)$ $\rightarrow t = \frac{1}{14{,}01s^{-1}} \cos^{-1}(0{,}5) = 0{,}075s$	6	8	

c. Durch das Anzupfen werden die Lamellen in Schwingungen unterschiedlicher Frequenz versetzt. Diese Schwingungen werden an die Luft übertragen. Die dadurch entstehenden Luftdruckschwankungen werden in Form einer Longitudinalwelle ans Ohr übertragen und dort in Sinnesreize umgewandelt.

Eintragen der Wertepaare in ein Diagramm:



Bei der Auswertung für einen quadratischen Zusammenhang ergeben sich die Werte in der dritten Spalte:

L in m	$20T$ in s	T/L^2 in s/m^2
0,50	1,50	0,3000
0,70	3,00	0,3061
0,90	5,00	0,3086
1,20	9,00	0,3125
1,40	12,00	0,3061

Nach Mittelwertbildung ergibt sich die Formel $T(L) = 0{,}307\frac{s}{m^2}\cdot L^2$

Mit $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{440Hz} = 0{,}0023s$

Es ergibt sich:

$$L = \sqrt{\frac{0{,}0023s}{0{,}307\ {}^{s}\!/\!_{m^2}}} = 0{,}086m = 86mm$$

Passt nicht. Das liegt vermutlich daran, dass die Blattfeder eine andere Steifigkeit besitzt als die Lamellen.

8 | 9 | 3

d.	Mit $f \cdot \lambda = c$ folgt: $\lambda = \dfrac{332\,m/s}{440Hz} = 0{,}75m$ Sowie $c_{Wasser} = 440Hz \cdot 3{,}7m = 1628\dfrac{m}{s}$ Sich nähernde Schallquelle: $f' = 440Hz \cdot \dfrac{332\,m/s - 0\,m/s}{332\,m/s - 50\,m/s} = 518Hz$ Bei sich nähernder Schallquelle nimmt man einen höheren Ton, bei sich entfernender Schallquelle einen tieferen Ton als den ausgesendeten wahr. Das liegt im ersten Fall daran, dass die Orte, von denen z.B. ein Wellenberg ausgesendet wird näher beieinander liegen, weil die Schallquelle ihrem zuvor ausgesendeten Wellenberg hinterherfährt. Im zweiten Fall liegen die Sendeorte zweier Wellenberge weiter auseinander.	4	4	
e.	Der Ton wird im Lauf der Zeit leiser, was an den kleiner werdenden Wellenbergen zu erkennen ist. Außerdem nimmt die Wellenlänge stetig zu, was zur Folge hat, dass der Ton zunehmend tiefer klingt: ***Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.***		2	2
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**

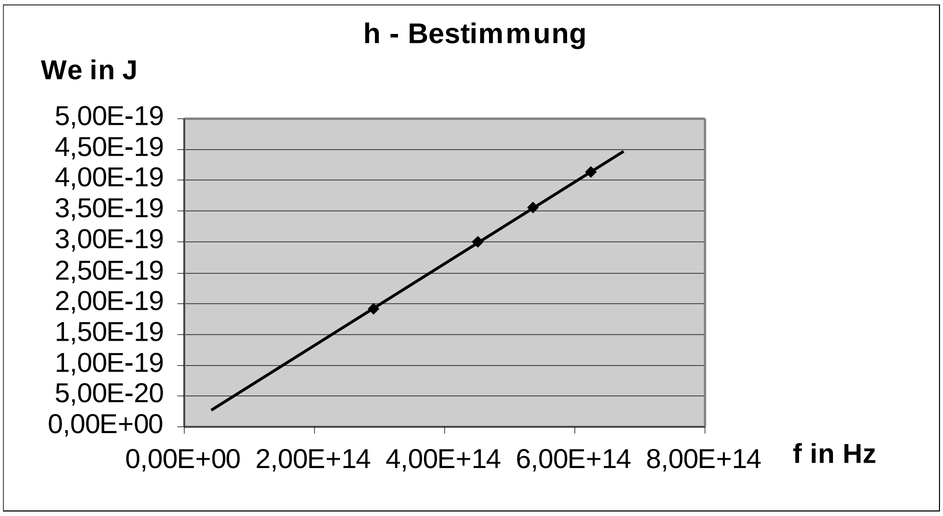
Aufgabe 2 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

	Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung I	Bewertung II	Bewertung III
2a.	Berechnung der Daten in Tabelle 1 (siehe unten)	10		
2b.	h - Bestimmung (siehe unten)	7	3	

2a. Berechnung der Daten in Tabelle 1

Farbe	U_0 in V	λ in nm	f in Hz	W_e in J
infrarot	1,20	1030	2,91E+14	1,92E-19
rot	1,87	665	4,51E+14	3,00E-19
grün	2,22	560	5,35E+14	3,56E-19
blau	2,58	480	6,25E+14	4,13E-19

2b.



Mit $h = \frac{\Delta W}{\Delta f}$ folgt für zwei Messpunkte, hier als Beispiel W_{ir} und W_{blau},

$$h = \frac{\Delta W}{\Delta f} = \frac{W_{blau} - W_{IR}}{f_{blau} - f_{IR}} =$$

$$= \frac{4{,}13 \cdot 10^{-19} J - 1{,}92 \cdot 10^{-19} J}{6{,}25 \cdot 10^{14} s^{-1} - 2{,}91 \cdot 10^{14} s^{-1}}$$

$$= 6{,}62 \cdot 10^{-34} Js$$

Hinweis: Mit linearer Regression ergibt sich ein Wert von

$$h = 6{,}64 \cdot 10^{-34} Js$$

<table>
<tr>
<td>2c.</td>
<td>Mit $W = h \cdot f$ und $W = m \cdot c^2$ folgt
$m_{Ph} = \frac{W}{c^2} = \frac{h \cdot f}{c^2}$ und
$\lambda_{Ph} = \frac{c}{f_{Ph}} = \frac{2{,}998 \bullet 10^8 m \bullet s^{-1}}{6{,}25 \bullet 10^{14} s^{-1}} = 480 nm$
Mit $f = 6{,}25 \cdot 10^{14} s^{-1}$ folgt
$m_{Ph} = \frac{h \cdot f}{c^2} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} Js \cdot 6{,}25 \cdot 10^{14} s^{-1}}{\left(2{,}998 \cdot 10^8 m \cdot s^{-1}\right)^2}$
$m_{Ph} = 4{,}61 \cdot 10^{-36} kg$
$p_{Ph} = \frac{h}{480 \bullet 10^{-9} m} = 1{,}38 \bullet 10^{-27} Ns$
$\left[\frac{h \cdot f}{c}\right] = \frac{J \bullet s \bullet s^{-1}}{m \bullet s^{-1}} = \frac{J \bullet s}{m} = \frac{N \bullet m \bullet s}{m} = N \bullet s = \frac{kg \bullet m}{s}$</td>
<td></td>
<td>8</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>2d.</td>
<td>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.
Herleitung der Bragg-Gleichung:
Die von links oben unter dem Glanzwinkel ϑ einfallenden Elektronen (bzw. Röntgenquanten) dringen tief in den Kristall ein und werden an jeder Netzebene gebeugt. Dabei hat der Wellenstrahl $2'$ relativ zum Wellenstrahl $1'$ einen Gangunterschied
$\Delta s = \overline{AB} + \overline{BC} = 2 \bullet \overline{AB} = 2 \bullet d \bullet \sin\vartheta$, der sich für jede Netzebene wiederholt. Ist der Gangunterschied genau ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ, so tritt konstruktive Interferenz auf.
$W_{kin} = 2{,}58 \bullet 1{,}6 \bullet 10^{-19} J = 4{,}13 \bullet 10^{-19} J$
$p = \sqrt{2 \bullet W_{kin} \bullet m_e} = \sqrt{7{,}52 \bullet 10^{-49}} Ns = 8{,}67 \bullet 10^{-25} Ns$
$\lambda = 7{,}64 \bullet 10^{-10} m$
$\sin\vartheta_1 = \frac{1 \bullet \lambda}{2d} = 0{,}70 \Rightarrow \vartheta_1 = 44{,}7°$</td>
<td></td>
<td>7</td>
<td>3</td>
</tr>
</table>

2e. Röntgenbremsstrahlung: Die freien Elektronen, die in die Anode eindringen, werden in den Feldern der Atomkerne stark abgebremst und somit stark beschleunigt. Beschleunigte freie Elektronen strahlen – wie z.B. auch in der Antenne eines Radiosenders – Photonen ab.
Grenzwellenlänge der Röntgenbremsstrahlung: Ein Photon mit der kürzest möglichen Wellenlänge wird dann abgestrahlt, wenn das freie Elektron seine gesamte kinetische Energie in Form eines einzigen Photons abstrahlt. Nach $W = h \bullet f$ muss dieses Photon die höchst mögliche Frequenz und damit die kürzest mögliche Wellenlänge haben.
Charakteristische Röntgenbremsstrahlung: Ein freies Elektron stößt ein Elektron aus der K-Schale (Orbital) eines Atoms des Anodenmaterials raus. Nun rückt ein Elektron aus der L-Schale bzw. der M-Schale nach und sendet dabei ein Photon aus, das genau die Energiedifferenz zwischen den Schalen mit sich trägt.

U_B in kV	28	25	16
Grenzwellenlänge λ in pm	44	50	77
W_{kin} in $10^{-15}\,J$	4,49	4,01	2,56
f in $10^{18}\,hz$	6,81	6,00	3,89
h in Js	$6{,}59 \bullet 10^{-34}$	$6{,}68 \bullet 10^{-34}$	$6{,}58 \bullet 10^{-34}$

Der Mittelwert der Plankschen Konstanten hat demnach bei dieser Messreihe den Wert $\bar{h} = 6{,}62 \bullet 10^{-34}\,Js$.

2e.	3	7	
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche	**20**	**25**	**5**

Aufgabe 3 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	**II**	**III**
3.a	Mögliche Versuchsergebnisse: - praktisch alle $\alpha -$Teilchen werden absorbiert oder - ein sehr großer Anteil der $\alpha -$Teilchen wird aus seiner Bahn abgelenkt Alle anderen vernünftigen Aussagen sind als richtig zu bewerten.	3		
3.b	Die Atome bestehen aus einem positiv geladenen Kern, in dem praktisch alle Masse vereinigt ist. Der Kern ist, verglichen mit der Atomhülle in der sich die Elektronen aufhalten, winzig klein. Mögliche Begründung: Die positiv geladenen $\alpha -$Teilchen haben eine große Masse und einen sehr großen Impuls, daher können sie nur durch große elektrische Kräfte aus ihrer Bahn abgelenkt werden. Solch große Kräfte treten auf, da einige $\alpha -$Teilchen sehr stark aus ihrer Bahn abgelenkt werden. Nach dem Coulombschen Gesetz muss das Streuzentrum einen sehr kleinen Radius haben. Die Streuzentren müssen positiv geladen sein und eine sehr viel größere Masse als die $\alpha -$Teilchen haben, da letztere (nahezu) ohne Energieverlust um 180° gestreut werden. Da die Atome neutral sind, muss die Hülle aus den negativ geladenen Elektronen gebildet werden. Die Masse der Hüllenbausteine muss sehr klein sein, da die $\alpha -$Teilchen in großen Abständen vom Kern, dort wo sich die Hüllenelektronen aufhalten, praktisch nicht gestreut werden.	2	4	
3.c	$W_{pot} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \bullet \frac{2 \bullet 79 \bullet (1{,}602 \bullet 10^{-19} C)^2}{4{,}76 \bullet 10^{-14} m} = 7{,}664 \bullet 10^{-13} J \approx 4{,}784 MeV$ $\Rightarrow W_{kin} \approx 4{,}784 MeV$	3	2	1
3.d	Der Vergleich mit der Nuklidkarte ergibt, dass - Ra-226 ein $\alpha -$ Strahler mit einer geeignet langen Halbwertzeit ist und - dass Ra-226 das einzige Radiumisotop ist, das Strahlungsteilchen mit der in Aufgabenteil c) berechneten Energie aussendet. Wahrscheinlichste Zerfallsreihe: $\text{Ra}-226 \rightarrow \text{Rn}-222 + \alpha \rightarrow \text{Po}-218 + \alpha \rightarrow \text{Pb}-214 + \alpha$ $\rightarrow \text{Bi}-214 + \beta^- \rightarrow \text{Po}-214 + \beta^- \rightarrow \text{Pb}-210 + \alpha \rightarrow \text{Bi}-210 + \beta^-$ $\rightarrow \text{Po}-210 + \beta^- \rightarrow \text{Pb}-206 + \alpha$ $\Delta m = m_{Ra-226-Kern} - (m_{Ra-222-Kern} + m_\alpha)$ $\Delta m = 225{,}97703u - (221{,}97039u + 4{,}0015061u) = 0{,}0051339u$ $\Delta m = 8{,}527408 \bullet 10^{-30} kg$ Es wird also insgesamt die Energie $W_{ges} = 8{,}527408 \bullet 10^{-30} kg \bullet c^2 = 7{,}664 \bullet 10^{-13} J \approx 4{,}784 MeV$ pro Zerfall frei.	5	7	1

3.e	Ladung des Up-Quarks (u): $q_u = +\frac{2}{3} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} C$ Ladung des Down-Quarks (d): $q_d = -\frac{1}{3} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} C$ Aufbau des Protons: uud Aufbau des Neutrons: ddu Beim $\beta^- -$ Zerfall wandelt sich ein d-Quark in ein u-Quark um, und strahlt dabei ein Elektron (und ein Neutrino) ab.	3	4	1
3.f	Der Tochterkern von ${}^{40}_{19}K$ ist ${}^{40}_{20}Ca$. Mit den Werten für die Kernmassen aus Anhang 2 ergibt sich für den Massedefekt pro Zerfall eines K-40 Kerns: $\Delta m = m_K - (m_{Ca} + m_e) = \left[39{,}95358 - (39{,}95162 + 5{,}4858 \cdot 10^{-4})\right] u$ $\approx 0{,}00141 u = 2{,}3444 \cdot 10^{-30} kg.$ Energie pro Zerfall: $\Delta W = 2{,}3444 \cdot 10^{-30} kg \cdot c^2 = 2{,}1071 \cdot 10^{-13} J$ Anzahl der Zerfälle pro Jahr: $N_a = \frac{0{,}03164 J}{2{,}1071 \cdot 10^{-13} J} = 1{,}5016 \cdot 10^{11}.$ Anzahl der Zerfälle pro Sekunde: $A = \frac{1{,}5016 \cdot 10^{11}}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \approx 4762.$	2	6	2
3.g	Energie eines $\gamma -$ Quants: $W = m_e \cdot c^2 = 9{,}109 \cdot 10^{-31} kg \cdot \left(2{,}998 \cdot 10^8 \, m/s\right)^2 \approx 8{,}187 \cdot 10^{-14} J$ Frequenz des $\gamma -$ Quants: $W = h \cdot f \Rightarrow f = \frac{8{,}187 \cdot 10^{-14} J}{h} = 1{,}24 \cdot 10^{20} Hz.$	2	2	
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**