Schriftliche Abiturprüfung 2012

Leistungskurs Physik

Dienstag, 24. April, 9.00 Uhr

Unterlagen für die Prüfungsteilnehmerinnen und -teilnehmer

Allgemeine Arbeitshinweise

- Tragen Sie bitte oben rechts auf diesem Blatt und auf den nachfolgenden Aufgabenblättern die Schulnummer, die schulinterne Kursbezeichnung und Ihren Namen ein.
- Schreiben Sie auf alle Entwurfsblätter (Kladde) und die Reinschrift Ihren Namen.
- Versehen Sie Ihre Reinschrift mit Seitenzahlen.

Fachspezifische Arbeitshinweise

- Die Arbeitszeit beträgt 240 Minuten.
- Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Formelsammlung, Taschenrechner.

Aufgaben

- Sie erhalten zwei Aufgaben zur Bearbeitung.
- Überprüfen Sie bitte zu Beginn die Vollständigkeit der vorgelegten Aufgaben (Anzahl der Blätter, Anlagen, …).
- Vermerken Sie in Ihrer Reinschrift, welche Aufgabe Sie jeweils bearbeiten.

Aufgabe 1

Themenbereich: Mechanische Schwingungen und Wellen

Gegenstand dieser Aufgabe sind mechanische Schwingungen und Wellen insbesondere in akustischen Zusammenhängen.

1.a Mathematisch besonders einfach zu behandeln sind die so genannten „harmonischen" Schwingungen. Einer harmonischen Schwingung liegt ein lineares Kraftgesetz zugrunde. Beschreiben Sie am Beispiel des Federschwingers, wie aus dem linearen Kraftgesetz und dem Ansatz $s(t) = k \cdot \cos(\omega t)$

das Zeit – Weg – Gesetz $s(t) = \hat{s} \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{D}{m}} \cdot t\right)$ hergeleitet wird.

Berechnen Sie mithilfe dieses Gesetzes die Formel für die Schwingungsdauer eines Federschwingers: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$.

(*11 Punkte)*

1.b An eine Schraubenfeder wird eine Masse von m = 200 g gehängt. Dadurch dehnt sie sich um 16 cm. Dann wird die Masse um 20 cm hoch gehoben und los gelassen, es entsteht eine (näherungsweise) ungedämpfte vertikale Schwingung.
Berechnen Sie die Schwingungsdauer dieses Systems.
Berechnen Sie die Elongation nach 23 s .
Begründen Sie die Gleichung für die Geschwindigkeit einer harmonischen Schwingung:

$$v(t) = -\hat{s} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$

und berechnen Sie den maximalen Geschwindigkeitsbetrag dieser schwingenden Masse.

(*7 Punkte)*

1.c Mit einer dem Boden liegenden Feder werden stehende Transversalwellen erzeugt. Dabei wird die Feder zuvor mit der Kraft F auf die Länge L gedehnt und bei der Schwingungsdauer T ergeben sich stehende Wellen mit n Bäuchen (siehe Abb. 1 sowie Tabelle 1)

L in m	F in N	n	$20T$ in s
3	0,95	1	18,6
3	0,95	2	9,4
4	1,30	1	18,2
4	1,30	2	9,0
5	1,65	1	17,8
5	1,65	2	8,8
6	2,00	1	17,6
6	2,00	2	8,7

Tabelle 1

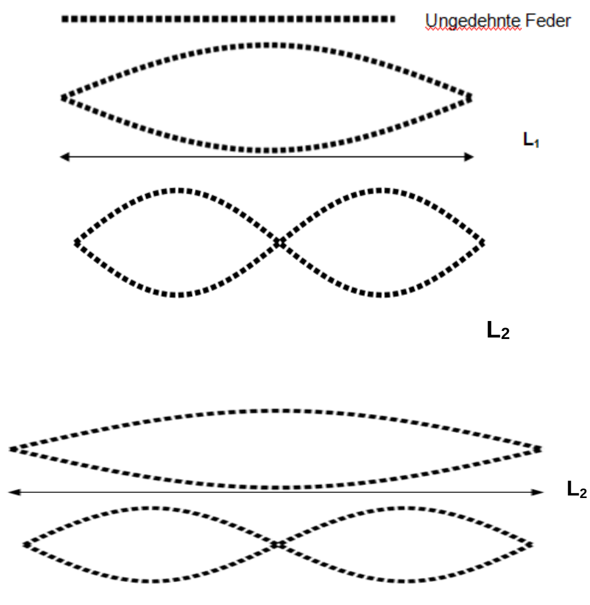


Abb. 1

Berechnen Sie bei jeder Kraft F die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der Welle.
Bestimmen Sie mithilfe einer mathematischen Auswertung aller Messwerte, welcher Zusammenhang sich zwischen Kraft F und Ausbreitungsgeschwindigkeit c ergibt.

(*14 Punkte)*

1.d Auf einem $500m$ tiefen See schwimmen zwei Sonarschiffe in $2km$ Entfernung von einander. Ein Ton von $f = 300Hz$ wird auf den Grund gesendet und vom jeweils anderen Schiff wieder aufgefangen. Die Laufzeit des Signals beträgt $1{,}5s$.
Berechnen Sie die Schallgeschwindigkeit in Wasser.
Berechnen Sie die Wellenlänge dieses Tons unter Wasser.

(*4 Punkte)*

1.e Eine Schallquelle sendet die Frequenz f_0 aus und bewegt sich mit der Geschwindigkeit v an einem Beobachter vorbei.
Berechnen Sie die jeweiligen Frequenzunterschiede Δf der beiden vom Beobachter wahrgenommenen Töne zum ausgesendeten Ton bei der Annäherung und bei der Entfernung der Schallquelle.
Vergleichen Sie die Frequenzunterschiede Δf anhand eines selbst gewählten Zahlenbeispiels.

(*4 Punkte)*

Für den Schallintensitätspegel L in dB *(Dezibel)* gilt die Formel:

$$L = 10dB \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0} \qquad I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2} .$$

Dabei ist I (in W/m^2) die Schallintensität, die eine Schallquelle mit der Leistung P (in W) erzeugt. Diese Leistung verteilt sich in der Umgebung der Schallquelle auf einer Kugelfläche.

1.f Eine Geige erzeugt beim Dirigenten eine Lautstärke von $L_1 = 50\ dB$.
Berechnen Sie, welche Lautstärke L_2 zwölf Geigen, von denen wir annehmen, dass sie alle den gleichen Abstand zum Dirigenten haben, bei ihm erzeugen.
Eine Maschine erzeugt in $20\ m$ Entfernung vom Empfänger die Lautstärke $L_3 = 50\ dB$. Berechnen Sie welche Lautstärke L_4 noch in $30\ m$ Entfernung herrscht.

(*6 Punkte)*

1.g Mit einem Oszilloskop werden die Töne von gleichzeitig gestrichenen a-Saiten zweier Geigen aufgenommen, die eigentlich gleich klingen sollten. Es ergibt sich folgendes Bild (siehe Abb. 2):
Erläutern Sie, welche Schallwahrnehmung dieser Darstellung entspricht und wie diese zu Stande kommt.

(*4 Punkte)*

Die Abbildung einer Schwebung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 2

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 zu leuchten beginnt.

Vereinfachend wird folgendes angenommen: Die Energie der von der LED abgegebenen Photonen ist gleich der Energie, die die Elektronen beim Durchlaufen der Spannung U_d erhalten.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 1: LED Schaltbrett ähnlich dem der Firma Conatex (Quelle: Metzler Physik, 1998, 3. Aufl., S. 377)

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. *(7 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 . *(8 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 der Photonen beschreibt und
die Gleichung, die den Zusammenhang zwischen dem Impuls p_{Ph} und der Frequenz f der Photonen beschreibt.
Berechnen Sie den Impuls p_{Ph} eines Photons, dessen Frequenz $f = 6{,}25 \cdot 10^{14}\,Hz$ beträgt und fertigen Sie die zugehörige Dimensionsbetrachtung an. *(10 Punkte)*

2.d Berechnen Sie die de-Broglie-Wellenlänge λ_{Elektr} von Elektronen, die die kinetische Energie $W_{kin} = 2{,}58 eV$ haben. (Zur Kontrolle: $\lambda_{Elektr} \approx 764\,pm$.) *(5 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.e 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 de-Broglie-Wellenlänge $\lambda_{Elektr} \approx 764\,pm$.
Beurteilen Sie, ob Elektronen mit der kinetischen Energie $W_{kin} = 1{,}2 eV$ an dem Silizium-Einkristall Bragg-Reflexion erfahren können. *(10 Punkte)*

Gäbe es die Möglichkeit, bei der Bragg-Reflexion eines Elektrons im Siliziumkristall auf drei Netzebenen genau zu entscheiden, wo das Elektron reflektiert bzw. gebeugt wird, würde dies einer Ortsmessung auf $3 \bullet 543\,pm$ genau gleichkommen.

2.f Berechnen Sie die relative Impulsunschärfe eines Elektrons mit der kinetischen Energie $W_{kin} = 1{,}2 eV$ nach der Reflexion.
Beurteilen Sie, ob man in diesem Fall eine sinnvolle Voraussage über den Impuls des Elektrons nach der Reflexion treffen kann. *(6 Punkte)*

2.g Stellen Sie die wesentlichen Änderungen beim Übergang von der klassischen Mechanik zur Quantenmechanik dar. *(4 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

Tabelle 1

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

Aufgabe 3

Themenbereich Materie und Energie

Um das Jahr 1910 gingen die Physikerinnen und Physiker vom Thomsonschen Atommodell aus, nach dem 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 verteilt sein und in dieser Kugel sollten bewegliche negative Ladungen wie Rosinen im Kuchen eingebettet sein. In einem Stoff, z.B. in Gold, sollten die Kugeln dicht an dicht liegen. Benachbarte Kugeln sollten sich also mit ihren Oberflächen gegenseitig berühren.
E. Rutherford überprüfte diese Vorstellung, indem er eine $0{,}004 mm$ 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.

Quelle: Metzler Physik, Schroedel Verlag, 1998, 3. Aufl., S. 406

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

3.a Nennen Sie einen Grund, der damals für das Thomsonsche Atommodell sprach.
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. *(5 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 $W_{pot} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \bullet \frac{Q_1 \bullet Q_2}{r}$ berechnen lässt und Gold die Ordnungszahl Z = 79 hat.
(Anmerkung: Die Rechnung kann nichtrelativistisch durchgeführt werden.)
(Zur Kontrolle: $W_{kin;\alpha} \approx 4{,}784 MeV$)
Berechnen Sie die maximale abstoßende Kraft $F_{\max}$ zwischen den $\alpha-$Teilchen und den Goldkernen. *(4 Punkte)*

Gehen sie im Folgenden davon aus, dass Rutherford bei seinen Versuchen ein Radiumpräparat als Quelle für die Teilchen benutzte.

3.d Begründen Sie mittels der Nuklidkarte im Anhang 1, warum es sich dabei um ${}^{226}_{88}Ra$ handelt.
Die Zerfallsreihe von ${}^{226}_{88}Ra$ endet bei dem stabilen Bleiisotop ${}^{206}_{82}Pb$.
Begründen Sie ohne auf die Nuklidkarte zurückzugreifen, warum die Zerfallsreihe aus fünf $\alpha-$Zerfällen und vier $\beta^- -$Zerfällen bestehen muss.
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. *(10 Punkte)*

Der Zusammenhang zwischen dem Kernradius r_{Kern} und der Kernmassezahl A kann mit der Formel $r_{Kern} = 1{,}46 \bullet 10^{-15} m \bullet \sqrt[3]{A}$ beschrieben werden, wenn der Atomkern kugelförmig ist.

3.e Berechnen Sie den Kernradius $r_{Ra226-Kern}$ eines kugelförmigen ${}^{226}_{88}Ra-$Kerns und die Dichte $\rho_{Ra226-Kern}$ des Kerns.
Vergleichen Sie die Dichte des Radiumkerns mit der Dichte $\rho_{Ra} = 5500 \frac{kg}{m^3}$, die Radium als Metall hat.
Überprüfen Sie, ob die Dichten $\rho_{Ra226-Kern}$ und ρ_{Ra} das Rutherfordsche Atommodell bestätigen. *(7 Punkte)*

Das Kaliumisotop ${}^{40}_{19}K$ ist ein $\beta^- -$Strahler.
Beim $\beta^- -$Zerfall zerfällt im Atomkern ein Neutron in ein Proton und in ein $\beta^- -$Teilchen.

3.f Beschreiben Sie den Aufbau von Protonen und Neutronen und den $\beta^- -$Zerfall im Quarkmodell.
Die abgestrahlten $\beta^- -$Teilchen zeigen ein kontinuierliches Energiespektrum.
Erläutern Sie das Problem mit der Energiebilanz, das sich daraus für die Wissenschaftler ergab, nachdem der $\beta^- -$ Zerfall entdeckt worden war.
Erläutern Sie, wie das Problem – zunächst theoretisch – 1931 gelöst wurde. *(7 Punkte)*

Im Körper eines Menschen der Masse $m_{Person} = 75kg$ befinden sich circa $N \approx 2,71 \cdot 10^{20}$ Atome des radioaktiven Kaliumisotops ${}^{40}_{19}K$. Die Aktivität A von ${}^{40}_{19}K$ lässt sich mit der Formel $A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N$ berechnen. Dabei ist $T_{1/2} = 1,25 \cdot 10^9 a = 3,94 \cdot 10^{16} s$ die Halbwertszeit.

In den Isotopentafeln wird die maximale Energie der β^- – Teilchen mit $W_{\max} = 1,3 MeV$ angegeben. Die mittlere Energie der abgestrahlten β^- – Teilchen beträgt $\bar{W} = \frac{1}{3} \cdot W_{\max}$.

3.g Berechnen Sie die Energiedosis D_{Kalium}, die in einem Jahr von den β^- – Teilchen an den Körper abgegeben wird, wenn man unter der Energiedosis D den Quotienten aus absorbierter Energie und absorbierender Masse versteht.
Gehen Sie bei dieser Berechnung von der mittleren Energie der β^- – Teilchen aus.
Die schädigende biologische Wirksamkeit von α – Teilchen ist bei gleicher Energiedosis zehnmal so groß wie die von β^- – Teilchen.
Ein leichtsinniger Lehrer hält ein ${}^{226}_{88}Ra$ – Schulpräparat mit der Aktivität $A = 3,7 kBq$ $t = 2\ min$ lang in seiner Faust. Die α – Teilchen werden dabei von ca. $m_{Haut} = 1,2 g$ Haut absorbiert.
Vergleichen Sie die Strahlenbelastung der betroffenen Hautpartie durch die α – Teilchen mit der Jahresbelastung durch ${}^{40}_{19}K$ im gleichen Teil des Körpers, wenn davon ausgegangen wird, dass die α – Teilchen die kinetische Energie $W_{kin;\alpha} \approx 4,784 MeV$ haben.

(10 Punkte)

3.h Berechnen Sie die Energie, die mindestens frei wird, wenn ein β^- – Teilchen auf ein β^+ – Teilchen trifft.
Begründen Sie, warum dabei nicht nur ein Photon abgestrahlt werden kann, sondern zwei Photonen abgestrahlt werden müssen. *(4 Punkte)*

Anhang 1

Die Abbildung des Ausschnitts der Nuklidkarte (von Ac209 bis Tl201) wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Quelle: Metzler Physik, Schroedel Verlag, 1998, 3. Aufl., S.579

Ausschnitt aus: Metzler Physik

Anhang 2

Die Abbildung der Tabelle der Atom- und Kernmassen (in u) wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Quelle: Dorn Bader; Physik Oberstufe Gesamtband

Anhang 3

Die Abbildung des Standardmodells der Elementarteilchen wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

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

Die Senatorin für Bildung,
Wissenschaft und Gesundheit

Freie
Hansestadt
Bremen

Schriftliche Abiturprüfung 2012

Leistungskurs 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

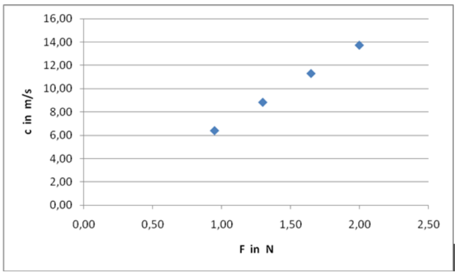
- Prüfen Sie die Prüfungsaufgaben vor der Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre Vollständigkeit und formale und inhaltliche Korrektheit und ergänzen Sie sie gegebenenfalls. Bei nicht ausreichender Anzahl erstellen Sie entsprechende Kopien vor Ort. Bei einem schwerwiegenden inhaltlichen Fehler informieren Sie sofort die Senatorin für Bildung und Wissenschaft über die **Hotline (0421…)** 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 240 Minuten.
- Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Taschenrechner.

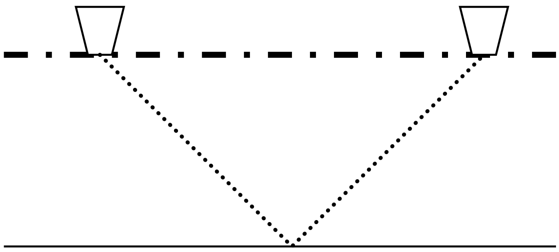
Aufgabe 1 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

	Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung I	II	III
a.	Das lineare Kraftgesetz besagt, dass für ein schwingungsfähiges System die Rückstellkraft proportional zur Elongation ist: $F_{rück} = c \cdot s(t)$ Mit $F = m \cdot a$ und dem Hookeschen Gesetz $F = -D \cdot s$ folgt die Differentialgleichung für die Bewegungsgleichung: $m \cdot a(t) = -D \cdot s(t) \rightarrow m \cdot \ddot{s}(t) = -D \cdot s(t)$. Mithilfe des Ansatzes $s(t) = k \cdot \cos(\omega \cdot t) \rightarrow \dot{s}(t) = -k \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t) \rightarrow \ddot{s}(t) = -k \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t)$ und Einsetzen ergibt sich: $m \cdot k \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t) = D \cdot k \cdot \cos(\omega \cdot t) \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$ Mit $s(0) = \hat{s}$ folgt $s(t) = \hat{s} \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{D}{m}} \cdot t\right)$ Mit $\hat{s} = \hat{s} \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{D}{m}} \cdot t\right)$ folgt $\sqrt{\frac{D}{m}} \cdot t = 2\pi \rightarrow T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$	11		
b.	$D = \frac{0,2kg \cdot 9,81\frac{N}{kg}}{0,16m} = 12,26\frac{N}{m}$ $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0,2kg}{12,26\frac{N}{m}}} = 0,80s \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 7,83s^{-1}$ $s(23s) = 0,2m \cdot \cos\left(7,83s^{-1} \cdot 23s\right) = -0,104m$ $v(t) = \dot{s}(t) = -\hat{s} \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$ Die maximale Geschwindigkeit liegt beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage vor, d.h. $t = \frac{1}{4}T$ $\hat{v} = \left\|-0,2m \cdot 7,83s^{-1}\right\| = 1,57\frac{m}{s}$	7		

<table>
<tr>
<td>c.</td>
<td>
Für die Wellenlänge gilt: $\lambda = 2 \cdot \frac{L}{n}$ und es gilt: $c = \lambda \cdot f = \lambda \cdot \frac{1}{T}$
Für die erste Messung ergibt sich: $c_1 = \frac{6m}{1} \cdot \frac{1}{\frac{1}{20} \cdot 18,6s} = 6,45\frac{m}{s}$
Des weiteren ergeben sich: $c_2 = 6,38\frac{m}{s}$, $c_3 = 8,79\frac{m}{s}$, $c_4 = 8,89\frac{m}{s}$, $c_5 = 11,24\frac{m}{s}$,
$c_6 = 11,36\frac{m}{s}$, $c_7 = 13,64\frac{m}{s}$, $c_8 = 13,79\frac{m}{s}$
Nach Mittelwertbildung erfolgt die Zuordnung sowie das Diagramm:

F in N	c in m/s	c/F in m/Ns
0,95	6,42	6,76
1,30	8,84	6,80
1,65	11,30	6,85
2,00	13,72	6,85



Mit der Regression für einen proportionalen Zusammenhang ergeben sich die Werte in der dritten Spalte und nach Mittelwertbildung:
$c(F) \approx 6,8 \cdot \frac{m}{Ns} \cdot F$
</td>
<td></td>
<td>11</td>
<td>3</td>
</tr>
<tr>
<td>d.</td>
<td>


(Skizze nicht verlangt)

Mit Pythagoras ergibt sich eine Strecke von
$s = 2 \cdot \sqrt{1000^2 + 500^2} m = 2236,07m$.
$c = \frac{s}{t} = \frac{2236,07m}{1,5s} = 1490,71\frac{m}{s}$
Mit $c = \lambda \cdot f$ ergibt sich $\lambda = \frac{1490,71\frac{m}{s}}{300s^{-1}} = 4,97m$
</td>
<td>2</td>
<td>2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>e.</td>
<td>
Die Anwendung der Formeln für den Doppler-Effekt ergibt für die Frequenz-Differenz
bei sich entfernender Schallquelle: $\Delta f_1 = f_0 - \frac{f_0}{1+\frac{v}{c}} = f_0 \cdot \frac{v}{c+v}$
bei sich nähernder Schallquelle: $\Delta f_2 = f_0 + \frac{f_0}{1-\frac{v}{c}} = f_0 \cdot \frac{v}{c-v}$
</td>
<td></td>
<td>4</td>
<td></td>
</tr>
</table>

	Bsp.: f_0 = 800Hz, v = 40m/s $\Delta f_1 = 800s^{-1} \cdot \frac{40\frac{m}{s}}{332\frac{m}{s}+40\frac{m}{s}} = 86s^{-1}$ $\Delta f_2 = 800s^{-1} \cdot \frac{40\frac{m}{s}}{332\frac{m}{s}-40\frac{m}{s}} = 110s^{-1}$ Die Frequenzunterschiede sind nicht symmetrisch.			
f.	Für den Lautstärkepegel gilt: $L_1 = 10 \cdot \log\frac{I}{I_0} \quad \rightarrow \quad 50 = 10 \cdot \log\frac{I_{Geige}}{10^{-12}\frac{W}{m^2}} \rightarrow I_{Geige} = 10^{-7}\frac{W}{m^2}$ $L_2 = 10 \cdot \log\frac{12 \cdot 10^{-7}\frac{W}{m^2}}{I_0} = 60{,}8dB$ Die empfangene Schallintensität beträgt $I_{Maschine} = 10^{-7}\frac{W}{m^2}$. Wenn man davon ausgeht, dass diese sich mit dem Quadrat des Abstands verringert, gilt für die Schallleistung der Maschine: $10^{-7}\frac{W}{m^2} = \frac{P}{4\pi r^2}\ \frac{P}{4\pi(20m)^2} \rightarrow P = 5 \cdot 10^{-4}W$. Dann ist die Schallintensität $I(30m) = \frac{5 \cdot 10^{-4}W}{4\pi\left(30m\right)^2} = 4{,}44 \cdot 10^{-8}\frac{W}{m^2}$ und die Lautstärke $L(30m) = 10 \cdot \log\frac{4{,}44 \cdot 10^{-8}\frac{W}{m^2}}{10^{-12}\frac{W}{m^2}} = 46{,}48dB$		4	2
g.	Es handelt sich um die Darstellung einer Schwebung. Eine Schwebung entsteht durch die Superposition zweier Wellen mit annähernd gleicher Frequenz und Amplitude. Die Wahrnehmung diese Überlagerung ist ein Ton mit dem Mittelwert der beiden Frequenzen, welcher in der Frequenz-differenz auf- und abschwillt. Also sind hier beide Saiten nicht gleich gestimmt.		4	
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**

Aufgabe 2 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze</th><th colspan="3">Bewertung</th></tr>
<tr><th>I</th><th>II</th><th>III</th></tr>
<tr><td>a.</td><td>

Berechnung der Daten in Tabelle 1

Farbe	U_D 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

</td><td>7</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>b.</td><td>

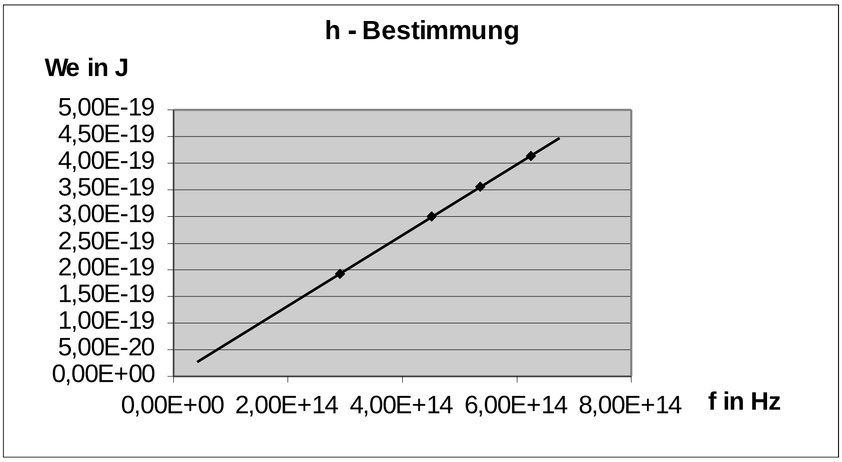


Bild 1

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

</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr>
<tr><td>c.</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

$$p_{Ph} = m_{Ph} \cdot c = \frac{h \cdot f}{c}$$

Mit $f = 6{,}25 \cdot 10^{14} s^{-1}$ folgt

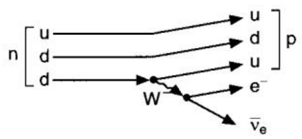
</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

	$m_{Ph} = \frac{h \cdot f}{c^2} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}\,Js \cdot 6{,}25 \cdot 10^{14}\,s^{-1}}{\left(2{,}998 \cdot 10^{8}\,m \cdot s^{-1}\right)^2}$ $= 4{,}61 \cdot 10^{-36}\,kg$ $p_{Ph} = \frac{h \bullet 6{,}25 \bullet 10^{14}\,s^{-1}}{2{,}998 \bullet 10^{8}\,m \bullet s^{-1}} = 1{,}38 \bullet 10^{-27}\,Ns$ $\left[\frac{h \cdot f}{c}\right] = \frac{J \bullet s \bullet s^{-1}}{m \bullet s^{-1}} = \frac{J \bullet s}{m} = \frac{N \bullet m \bullet s}{m} = N \bullet s = \frac{kg \bullet m}{s}$	3	7	
d.	$W_{kin} = 2{,}58 \bullet 1{,}6 \bullet 10^{-19}\,J = 4{,}13 \bullet 10^{-19}\,J$ $v = \sqrt{\frac{2 \bullet 4{,}13 \bullet 10^{-19}\,J}{9{,}1 \bullet 10^{-31}\,kg}} = 952258\,\frac{m}{s}$ $p = 9{,}109 \bullet 10^{-31}\,kg \bullet 952258\,\frac{m}{s} = 8{,}68 \bullet 10^{-25}\,Ns$ $\lambda = \frac{h}{8{,}68 \bullet 10^{-25}\,Ns} = 7{,}64 \bullet 10^{-10}\,m$	2	3	
e.	Die Abbildung der Reflexion an drei Netzebenen 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. $\sin\vartheta_1 = \frac{1 \bullet 764 \bullet 10^{-12}\,m}{2d} = 0{,}70 \Rightarrow \vartheta_1 = 44{,}7°$ $W_{kin} = 1{,}2 \bullet 1{,}6 \bullet 10^{-19}\,J = 1{,}92 \bullet 10^{-19}\,J$ $v = \sqrt{\frac{2 \bullet 1{,}92 \bullet 10^{-19}\,J}{9{,}1 \bullet 10^{-31}\,kg}} = 649277\,\frac{m}{s}$ $p = m_e \bullet v = 5{,}91 \bullet 10^{-25}\,Ns$ $\lambda = \frac{h}{p} = 1{,}12 \bullet 10^{-9}\,m$ $\frac{1 \bullet \lambda}{2d} > 1$ =>keine Bragg-Reflexion. *Eine verbale Begründung des Sachverhaltes ist an dieser Stelle ebenfalls zulässig.*	2	6	2

f.	Berechnung des Impulses des Elektrons: $W = U \bullet e = 1{,}92 \bullet 10^{-19}\,J$ $p = \sqrt{2 \bullet W \bullet m_e} = 5{,}92 \bullet 10^{-25}\,Ns$ Mit $\Delta p \bullet \Delta x \geq h$ ist $\Delta p \geq \frac{h}{\Delta x} = \frac{6{,}626 \bullet 10^{-34}\,Js}{3 \bullet 543 \bullet 10^{-12}\,m} = 4{,}07 \bullet 10^{-25}\,Ns$ und $\frac{\Delta p}{p} \geq \frac{4{,}08 \bullet 10^{-25}\,Ns}{5{,}95 \bullet 10^{-25}\,Ns} \approx 0{,}68$. Da die relative Impulsunschärfe fast 70% beträgt, ist eine sinnvolle Voraussage über den Impuls nicht möglich. *Anmerkung:* *Falls die Heisenbergsche Unschärferelation im Unterricht mit der Relation* $\Delta p \bullet \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$ *eingeführt wurde, ist* $\frac{\Delta p}{p} \approx 0{,}054$ *, also 5,4%. Somit ist im Sinne der klassischen Physik noch eine sinnvolle Voraussage möglich.*		5	1
g.	Die Vorgänge, die die klassische Physik beschreibt, sind deterministisch, da man im Prinzip allen Körpern (Massepunkten) zu einem bestimmten Zeitpunkt Ort und Impuls zugleich als scharf bestimmt zuschreiben kann. Im Gültigkeitsbereich der Unbestimmtheitsrelation sind Ort und Impuls nicht zugleich scharf bestimmt. Im Mikrogeschehen ist der klassische Determinismus daher nicht anwendbar. An die Stelle der deterministischen Aussagen der klassischen Physik treten aus prinzipiellen Gründen Wahrscheinlichkeitsaussagen. *Alle anderen vernünftigen Aussagen im Sinne der Aufgabenstellung, die sich aus dem erteilten Unterricht ergeben, sind als richtig zu werten.*		2	2
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**

Aufgabe 3 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

	Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung I	Bewertung II	Bewertung III
a.	Denkbare Antworten: - Obgleich die Goldfolie nur 10.000 Atomlagen dick war, war sie undurchsichtig. Es ist z.B. ein Vergleich mit Orangen in einer Kiste möglich: Wenn die Orangen dicht an dich liegen, ist der Boden beim Auffüllen schon nach wenigen Lagen Orangen nicht mehr zu sehen. - Die Elektronen waren als bewegliche Ladungsträger bekannt. Der Stromfluss ließ sich zwanglos als Bewegung durch, bzw. von einem zum anderen Atom erklären. 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		
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	3	
c.	$W_{pot} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \bullet \frac{2 \bullet 79 \bullet \left(1{,}602 \bullet 10^{-19} C\right)^2}{4{,}76 \bullet 10^{-14} m} = 7{,}664 \bullet 10^{-13} J \approx 4{,}784 MeV$ $F_{el} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \bullet \frac{2 \bullet 79 \bullet \left(1{,}602 \bullet 10^{-19} C\right)^2}{\left(4{,}76 \bullet 10^{-14} m\right)^2} \approx 16{,}1 N$	4		
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. Die Differenz der Atommassezahlen zwischen Ra-226 und Pb-206 beträgt $\Delta A_{ges} = 20$. Da sich nur bei $\alpha-$ Zerfällen die Massezahl ändert, müssen fünf $\alpha-$Zerfälle stattfinden, was mit einer Abnahme der Ordnungszahl um			

	den Wert zehn verbunden ist. Die Ordnungszahl von Pb ist aber nur um sechs kleiner als die von Ra, daher müssen zusätzlich vier $\beta^- -$Zerfälle auftreten. $\Delta m = m_{Ra-226-Kern} - (m_{Ra-222-Kern} + m_\alpha)$ $\Delta m = 225{,}97703u - (221{,}97039u + 4{,}0015061u) = 0{,}0051339u$ $\Delta m = 8{,}527408 \bullet 10^{-30}\,kg$ 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.	6	4	
e.	$r_{Ra226-Kern} = 1{,}46 \bullet 10^{-15}\,m \bullet \sqrt[3]{226} \approx 8{,}89 \bullet 10^{-15}\,m$ $V_{Ra226-Kern} \approx 2{,}95 \bullet 10^{-42}\,m^3$ $m_{Ra226-Kern} \approx 225{,}977 \bullet u = 3{,}75 \bullet 10^{-25}\,kg$ $\rho_{Ra226-Kern} = \frac{m_{Ra226-Kern}}{V_{Ra226-Kern}} \approx 1{,}27 \bullet 10^{17}\,\frac{kg}{m^3}$ Die Dichte des Kerns ist um den Faktor $\frac{1{,}27 \bullet 10^{17}}{5500} = 2{,}3 \bullet 10^{13}$ größer als die des Ra-Metalls. Man kann davon ausgehen, dass die Dichte von jedem Ra-Atom in der Größenordnung von der des Metalls liegt, da die Atome im Metall dicht gepackt sind. Die Tatsache, dass die Dichte des Kerns so extrem viel größer ist als die des Metalls, bestätigt, dass praktisch die gesamte Masse des Atoms auf einen, im Vergleich zur Hülle, winzig kleinen Kern vereinigt ist.		5	2
f.	Ladung des Up-Quarks (u): $q_u = +\frac{2}{3} \bullet 1{,}6 \bullet 10^{-19}\,C$ Ladung des Down-Quarks (d): $q_d = -\frac{1}{3} \bullet 1{,}6 \bullet 10^{-19}\,C$ Aufbau des Protons: uud Aufbau des Neutrons: ddu $\beta^- -$Zerfall im Quarkmodell:  e^- : β^- - Teilchen; $\bar{\nu}_e$: Antielektronenneutrino Sollte das W^- -Boson als Austauschteilchen nicht bekannt sein, kann ein entsprechender Feynman - Graph als richtig gewertet werden. Die Massen des Mutterkerns, des Tochterkerns und des Elektrons waren genau bekannt. Beim β^- - Zerfall von beispielsweise Tritium war der Massedefekt Δm genau bekannt. Das β^- -Teilchen und der Tochterkern als damals einzig bekannte Zerfallsprodukte mussten in der Summe also die Energie			

	$W = \Delta m \bullet c^2$ bekommen. Da die Masse des Elektrons sehr viel kleiner als die des Tochterkerns ist, wurde erwartet, dass praktisch die gesamte Energie W auf das Strahlungsteilchen übertragen wurde. Die β^--Teilchen sollten also immer die gleiche kinetische Energie W_{β^-} haben. Die Messungen ergaben aber, dass W_{β^-} nur die maximale kinetische Energie der Strahlungsteilchen war. Man konnte also davon ausgehen, dass beim β^- - Zerfall gegen das fundamentale Energieerhaltungsgesetz verstoßen wurde. W. Pauli schlug 1931 vor, dass die fehlende Energie von einem, bis dahin unbekannten, Teilchen davon getragen wird.		5	2
g.	Berechnung der Äquivalentdosis: Aktivität von K-40 im Körper: $A_{K-Zerfall} = \frac{\ln 2}{3{,}945 \bullet 10^{16} s} \bullet 2{,}71 \bullet 10^{20} \approx 4762 Bq$ Es zerfallen also in einem Jahr $365 \bullet 24 \bullet 3600 \bullet 4762 \approx 1{,}5 \bullet 10^{11}$ K-40 Atome im Körper. Vom Körper im betrachteten Zeitraum aufgenommene Strahlungsenergie durch den Kaliumzerfall: $W_{K-Zerfall} = 1{,}5 \bullet 10^{11} \bullet \frac{1}{3} \bullet 1{,}3 \bullet 10^6 \bullet 1{,}6 \bullet 10^{-19} J = 0{,}0104 J$ Energiedosis: $D_{K-Zerfall} = \frac{W_{K-Zerfall}}{m_{Person}} = \frac{0{,}0104 J}{75 kg} = 0{,}00014 \frac{J}{kg} = 0{,}00014 Gy$. Von der Haut im Zeitraum von 120s aufgenommene Strahlungsenergie durch die $\alpha-$Teilchen: $W_{Ra-Zerfall} = 3{,}7 \bullet 10^3 \bullet 120 \bullet 4{,}78 \bullet 10^6 \bullet 1{,}6 \bullet 10^{-19} J \approx 3{,}4 \bullet 10^{-7} J$ Energiedosis: $D_{Ra-Zerfall} = \frac{W_{Ra-Zerfall}}{m_{Haut}} = \frac{3{,}4 \bullet 10^{-7} J}{0{,}0012 kg} = 0{,}00028 \frac{J}{kg} = 0{,}00028 Gy$. Der Bewertungsfaktor für $\alpha-$ Teilchen ist $q = 10$. Die Strahlenbelastung durch das Schulpräparat ist in der betrachteten Region der Hand also zwanzig mal so groß wie die Jahresbelastung durch den Zerfall von K – 40.	5	5	
h.	$W = m \bullet c^2 = 2 \bullet 9{,}1 \bullet 10^{-31} kg \bullet \left(3 \bullet 10^8 \frac{m}{s}\right)^2 \approx 1{,}64 \bullet 10^{-13} J = 2 \bullet 0{,}5 MeV$. Der Gesamtimpuls ist im Schwerpunktsystem der beiden β - Teilchen vor der Paarvernichtung gleich null. Würde nur ein Photon abgestrahlt, wäre das ein Verstoß gegen die Impulserhaltung, da das Photon einen Impuls mit sich trägt. Bewegen sich im Schwerpunktsystem zwei Photonen mit gleicher Wellenlänge in entgegen gesetzte Richtungen davon, ist der Gesamtimpuls auch nach der Reaktion gleich null.		3	1
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**