Aufgabe 1

Themenbereich: Mechanische und elektromagnetische Schwingungen

1.a An einem vertikalen Federpendel hängt ein schwingender Körper der Masse m_k (s. Bild 1). Der Einfluss der Masse m_k auf die Schwingungsdauer *T* wird untersucht.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Bild 1: *Vertikales Federpendel. Quelle: Metzler Physik 4. Auflage S. 108*

Die Federkonstante *D* der Feder ist $D = 4{,}42\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$. Die Masse m_F der Feder ist vernachlässigbar klein.

Es entsteht folgende Messreihe:

m_k in g	48	144	192	240	336	384	432
T in s	0,65	1,13	1,31	1,46	1,73	1,85	1,96
$\frac{T}{\sqrt{m_k}}$ in $\frac{\text{s}}{\sqrt{\text{kg}}}$	2,97	2,98		2,98			2,98

Tabelle 1

- Zeichnen Sie ein Diagramm, in dem Sie auf der Rechtsachse die Massen m_k und auf der Hochachse die Schwingungsdauern *T* aus der Messreihe auftragen. (Nutzen Sie dazu das Diagramm im Anhang 1.)
- Berechnen Sie die fehlenden Werte in Tabelle 1.
- Bestätigen Sie die Proportionalität zwischen *T* und $\sqrt{m_k}$.
- Bestimmen Sie anhand der Messreihe die Proportionalitätskonstante *C*.

- Berechnen Sie den Ausdruck $2\pi \cdot \frac{1}{\sqrt{D}}$.
- Erläutern Sie die Bedeutung dieses Ausdruckes im Aufgabenkontext.
- Zeigen Sie, dass der Ausdruck $2\pi \cdot \sqrt{\frac{m_k}{D}}$ die Einheit „Sekunde“ hat.

(18 Punkte)

1.b Für Sammler und Liebhaber werden heutzutage immer noch sogenannte Präzisionspendeluhren gebaut, obwohl moderne Quarz- und Atomuhren noch viel genauer sind. Solche Präzisionspendeluhren messen mithilfe eines Schwerependels die Zeit (s. Bild 2).

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Bild 2: *Zwei Typen von Präzisionspendeluhren, um 1900. Quelle: Wikipedia Public Domain*

Angenommen, eine solche Präzisionspendeluhr wurde in der Stadt Singapur für die dortige Fallbeschleunigung g (g = 9,78 m/s²) gebaut. Das Pendel soll exakt die Länge l **= 0,990921176 m** haben. **Dieser Wert soll im Folgenden genau so benutzt werden.**

- Zeigen Sie durch Rechnung, dass diese Uhr in Singapur mit hoher Genauigkeit im Sekundentakt schlägt, also dass für ihre Schwingungsdauer T gilt: T = 2 s .

Ein Physiker bringt diese Uhr mit nach Bremen (g = 9,81 m/s²) und testet sie hier. Zum Vergleich hat er eine normale Funkuhr.

Gehen Sie davon aus, dass die Funkuhr vollkommen exakt geht.

Gehen Sie auch davon aus, dass die Pendeluhr die Reise nach Bremen ohne jeden Schaden überstanden hat; also dass insbesondere die Pendellänge l sich nicht verändert hat.

- Begründen Sie kurz, dass die Pendeluhr in Bremen vorgeht (im Vergleich zu Singapur).
- Zeigen Sie durch Rechung, dass die Pendeluhr in Bremen innerhalb von 24 Stunden um gut zwei Minuten vorgeht.

(12 Punkte)

1.c Für ein Federpendel ist die Eigenfrequenz $f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}}$.

Für einen elektromagnetischen Schwingkreis ist die Eigenfrequenz $f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Die Federkonstante *D* des Federpendels hat einen vergleichbaren Einfluss auf die Eigenfrequenz f_0 des Federpendels wie der Kehrwert der Kapazität $\frac{1}{C}$ beim elektromagnetischen Schwingkreis.

- Erläutern Sie den physikalischen Hintergrund dieser Aussage.

(6 Punkte)

1.d Gegeben sei eine ungedämpfte harmonische Schwingung.

- Stellen Sie die Werte der Elongation *s*, Geschwindigkeit *v* und Beschleunigung *a* in Abhängigkeit von der Zeit *t* für eine vollständige Periode *T* graphisch dar. (Nutzen Sie dazu das Diagramm im Anhang 2.)

(6 Punkte)

1.e Für eine Feder gelte das Hookesche Gesetz.

Eine Kugel der Masse *m* = 50 g hängt an einer Feder. Die Kugel wird mit der Kraft *F* = 9 N um die Strecke $\hat{s} = 12\ \mathrm{cm}$ aus der Ruhelage nach unten ausgelenkt und dann losgelassen, so dass sie zu schwingen beginnt. Die Masse der Feder und Reibungsverluste durch Aufhängung oder Erwärmung werden vernachlässigt.

- Bestimmen Sie die Federkonstante *D*.
- Bestimmen Sie die Periode *T*.
- Berechnen Sie die Periode *T* unter der Annahme, dass die Kugelmasse *M* viermal so groß ist wie vorher.

(8 Punkte)

Anhang 1: zu a)

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Anhang 2: zu d)

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Aufgabe 2

Themenbereich: Quantenphysik der Atomhülle

2.a

- Zeichnen Sie in einem linearen Potenzialtopf die Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichtefunktionen die zum Grundzustand und zum ersten angeregten Zustand gehören.
- Stellen Sie die Atomhüllenränder sowie die Orte der größten und geringsten Aufenthaltswahrscheinlichkeit in Ihrer Zeichnung dar.
- Berechnen Sie die Energie des Hüllenelektrons im Grundzustand, wenn die Breite des Potentialtopfes (Näherung für Wasserstoff) $a = 10^{-10} m$ beträgt.

(12 Punkte)

2.b

- Bestimmen Sie die Breite a eines linearen Potenzialtopfes, wenn ein Elektron im Zustand $n = 6$ die Energie $W_6 = 1eV$ hat.
- Stellen Sie in Ihrer Rechnung dar, dass als Einheit für die Breite des Potentialtopfes Meter m folgt.

(10 Punkte)

2.c Abbildung 1 zeigt das Termschema des Wasserstoffs.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 1
aus Dorn/Bader 12/13 2005 S.277

- Berechnen Sie mit Hilfe des Termschemas die Energie und Wellenlänge der Linie mit der größten Wellenlänge λ der Lyman Serie.
- Erklären Sie mit Hilfe des Bohrschen Atommodells, dass Wasserstoff ein Linienspektrum aussendet.
- Nennen Sie einen Vor- und einen Nachteil des Bohrschen Atommodells.

(21 Punkte)

2.d Herr P. ist sicher, dass physikalische Modelle direkt aus experimentellen Daten folgen.

Experiment →Modell

- Diskutieren Sie diese Sicht.
- Nennen Sie Kriterien zur Beurteilung eines physikalischen Modells.

(7 Punkte)

Aufgabe 3

Themenbereich: Struktur der Materie

Mit Hilfe der Massenspektroskopie konnten schon am Anfang des 20. Jahrhunderts genaue Messungen von Kernmassen durchgeführt werden. Dies war die Grundlage für die Berechnung vieler Phänomene der Kernphysik

3.a Das α-Teilchen besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen.

- Erläutern Sie am Beispiel eines α-Teilchens den Begriff der Bindungsenergie W_B.
- Berechnen Sie mit Hilfe der Tabelle 1 im Anhang 2 die Bindungsenergie W_B eines α-Teilchens.

(6 Punkte)

3.b Das Nuklid $^{210}_{84}Po$ ist ein α-Strahler.

- Geben Sie die Zerfallsgleichung des α -Zerfalls von $^{210}_{84}Po$ an.
- Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der Bindungsenergie und einem spontanen α-Zerfall.
- Berechnen Sie die bei einem α-Zerfall von Po-210 frei werdende Energie ΔW.
- Begründen Sie mit Hilfe einer Rechnung, dass bei Po-210 die Emission eines einzelnen Protons als spontaner radioaktiver Zerfall nicht möglich ist.

(13 Punkte)

3.c Das Isotop $^{241}_{95}Am$ tritt in der Neptunium-Zerfallsreihe auf und wird für Präparate künstlich hergestellt.

- Stellen Sie in dem Auszug aus der Nuklidkarte im Anhang 3 diese Zerfallsreihe ausgehend von $^{241}_{95}Am$ bis zum stabilen Isotop dar.
- Begründen Sie mit Hilfe des Auszuges aus der Nuklidkarte in Anhang 3 kurz, dass die Isotope dieser Zerfallsreihe in der Natur nicht mehr auftreten.

(5 Punkte)

3.d Genaue Messungen der Energie der von $^{241}_{95}Am$ ausgesandten α-Strahlung führen auf eine Feinstruktur des Energiespektrums. Die Tabelle zeigt die gemessenen Energien und deren relative Häufigkeiten.

Nr.	Energie in MeV	Relative Häufigkeit
1	5,389	1,33%
2	5,445	12,8%
3	5,488	85,2%
4	5,515	0,21%
5	5,548	0,35%

Tabelle 1

- Erklären Sie die Entstehung der verschiedenen Energien der α-Teilchen anhand der Messdaten und des im Anhang 1 dargestellten Termschemas.
- Geben Sie die Bedeutung des mit γ_4 bezeichneten Pfeiles im Termschema an.
- Erläutern Sie die Bedeutung der relativen Häufigkeiten für den Tochterkern des $^{241}_{95}Am$.

(11 Punkte)

3.e Das Potentialtopfmodell beschreibt die in und um den Atomkern wirkenden Kräfte. Mit diesem Modell kann der α-Zerfall erklärt werden.

- Erklären Sie mit Hilfe der unten dargestellten Abbildung 1 den α-Zerfall im Potentialtopfmodell.

(15 Punkte)

Abbildung 1 zu Teilaufgabe 3.e zum Potentialtopfmodell und der quantenmechanischen Erklärung des α-Zerfalls

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Anhang 1 (zu Teilaufgabe 3.d)

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Anhang 2

Masse eines Elektrons in u $m_e = 0{,}000549\,\mathrm{u}$

Tabelle 1 (aus Metzler Physik, 2. Auflage)

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Anhang 3 Auszug aus der Nuklidkarte (aus Metzler Physik, 4. Auflage)

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

**Die Senatorin
für Kinder und Bildung**

**Freie
Hansestadt
Bremen**

Schriftliche Abiturprüfung 2016 im dritten Prüfungsfach

Grundkurs Physik

Dienstag, 12. April 2016, 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 Kinder und Bildung von 7.00 bis 9.30 Uhr. Die von der Senatorin für Kinder und Bildung 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, Formelsammlung, Taschenrechner.

Aufgabe 1 **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>Diagramm anfertigen. Es soll in guter Näherung die Form einer Wurzelfunktion erkennbar sein:

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Die fehlenden Werte in der Tabelle liegen alle ebenfalls um den Betrag 2,98 herum.
Das bestätigt auch die Proportionalität zw. T und $\sqrt{m_k}$.
Die Prop.konstante C hat also den Betrag 2,98.
Der Ausdruck $\frac{2\pi}{\sqrt{D}}$ hat ebenfalls den Betrag 2,98. Er ist die Prop.konstante C.
$$\sqrt{\frac{\mathrm{kg}}{\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}}} = \sqrt{\mathrm{kg}\cdot\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{N}}} = \sqrt{\mathrm{kg}\cdot\frac{\mathrm{m}}{\frac{\mathrm{kg\cdot m}}{\mathrm{s}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{\mathrm{s}^2}}} = \mathrm{s}$$</td><td>12</td><td>6</td><td></td></tr>
<tr><td>b.</td><td>Lsg: T mit gegebenen l- und g-Werten berechnen ergibt gemäß GTR-Genauigkeit exakt T = 2 s.
Lsg: T ist in Bremen minimal kleiner als 2 s (wg. dem höheren g-Wert als in Singapur). Deshalb pendelt die Uhr „zu schnell“ und geht also vor.
Lsg: In HB findet man (wg. dem höheren g-Wert) für die Pendeluhr
T = 1,996939554 s.
Das heißt, die Pendeluhr führt innerhalb von einem vollen Tag
86400 s / T = gut 43266 komplette Schwingungen durch.
Das sind also gut 66 Schwingungen „zu viel“. Das bedeutet, die Pendeluhr geht gut 66 Schwingungen – das entspricht also etwa 132 s - vor.</td><td>3</td><td>7</td><td>2</td></tr>
<tr><td>c.</td><td>$f_0 = \frac{1}{2\pi}\cdot\sqrt{\frac{D}{m}}$ (Federpendel) bzw. $f_0 = \frac{1}{2\pi}\cdot\sqrt{\frac{1}{LC}}$ (el. SK). Die Induktivität L deutet man als Trägheit der Spule ; deshalb ist sie vergleichbar mit der schwingenden Masse m beim Federpendel.
Die Federkonstante D steht im Zähler des Bruches und die Kapazität C im Nenner. Also muss die Analogie zwischen D und 1/C bestehen.
Interpretation: Eine große Federkonstante D („Harte“ Feder) entspricht eines großen Wertes 1/C, also einer kleinen Kapazität C. Das Federpendel schwingt dann wg. der harten Feder mit hoher Frequenz. Der el. SK</td><td></td><td>3</td><td>3</td></tr>
</table>

	schwingt mit hoher Frequenz, weil der kleine Wert von *C* nur eine geringe maximale Ladungsmenge *Q* auf dem Kondensator erlaubt (bei gegebener Maximalspannung $U_{\max}$).			
d.	***Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.*** *Quelle: Impulse Physik 2 S.124*	3	3	
e.	Das Hooke'sche Gesetz liefert $D = \frac{F}{s} = \frac{9\text{ N}}{0{,}12\text{ m}} = 75\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$. Damit ist $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}}$ = 0,162 s Die Periode *T* wächst mit der Wurzel der Masse *m*. Eine vierfache Masse *M* = *4m* verdoppelt also die Schwingungsdauer *T* auf 0,324 s.	2	6	
Verteilung der insgesamt **50** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, vor allem, wenn sie in sinnvoller Weise von der Erwartung abweichen.“ (vgl. §12 (1) der Verordnung über die Abiturprüfung (22.09.15))

Aufgabe 2 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

	Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung		
		I	II	III
a.	***Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.*** Am Ort 0 ist die Aufenthaltswahrscheinlichkeit für den Grundzustand (n=1) am größten und für den ersten angeregten Zustand (n=2) am kleinsten. Die Orte mit geringster Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Grundzustand sind mit G gekennzeichnet. Die Orte mit größter Aufenthaltswahrscheinlichkeit im ersten angeregten Zustand sind mit H gekennzeichnet. Der Buchstabe R kennzeichnet die Atomhüllenränder. (Das Potentialtopfmodell eignet sich nur sehr begrenzt als Atommodell, so kann einem Atom kein Rand zugeschrieben werden. Die Aussagen der Lösung zu 2a verlassen das Potentialtopfmodell nicht.) Alternative aber inhaltlich gleichwertige Zeichnungen sind als Lösung möglich. Auch Zeichnungen, die die Wellenfunktion anstelle des Betragsquadrats der Wellenfunktion richtig angeben, erhalten die volle Punktzahl. $W_n = \frac{n^2 \cdot h^2}{8 m_e a^2} = 6{,}031 \cdot 10^{-18} J = 37{,}6 eV$	8	4	
b.	geg: $W_n = 1{,}0 eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19} J$ ges: a $n = 6$ $W_n = \frac{n^2 \cdot h^2}{8 m_e a^2} = \frac{6^2 \cdot \left(6{,}626 \cdot 10^{-34} Js\right)^2}{8 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} kg \cdot a^2}$ $a = \frac{n \cdot h}{\sqrt{8 m_e \cdot W_n}} = \frac{6 \cdot 6{,}626 \cdot 10^{-34} Js}{\sqrt{8 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} kg \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} J}}$ $a = 3{,}68 nm$ Die Breite a des Potentialtopfes bei dem ein Elektron im Zustand $n = 6$ die Energie $W = 1 eV$ besitzt, beträgt 3,68nm. Einheitenbetrachtung mit $J = Nm$ $N = \frac{kgm}{s^2}$ und $a^2 = \frac{n^2 \cdot h^2}{8 m_e W_n}$ folgt $m^2 = \frac{J^2 s^2}{kg \cdot J} = \frac{Nms^2}{kg} = m^2$ und somit ist die Einheit für die Breite des Potentialtopfes a Meter.	5	5	
c.	Die langwelligste Linie entspricht dem Übergang mit der kleinsten Energiedifferenz, hier von $n = 2$ zu $n = 1$. Aus der Zeichnung ist der Wert 10,2 eV als Energiedifferenz zu entnehmen. Damit ergibt sich die Wellenlänge der emittierten Strahlung zu	7	14	0

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung I	Bewertung II	Bewertung III
	$\lambda = \frac{hc}{\Delta W} = \frac{1240 eV \cdot nm}{10,2 eV} = 121,6 nm$. Im Bohrschen Atommodell werden die Linienspektren des Wasserstoffs als Übergänge des Hüllenelektrons von einer energetisch höheren Bahn zu einer energetisch niedrigeren Bahn gedeutet. Das Linienspektrum ergibt sich aus den möglichen Übergängen. Als Vorteil dieses Modells kann seine Anschaulichkeit gelten, der größte Nachteil ist, dass es aus quantenmechanischer Sicht fachlich inkorrekt ist, da Quantenobjekte wie Elektronen nicht als punktförmige Teilchen auf Bahnen kreisen.			
d.	Diese Aufgabe kann unterschiedlich gelöst werden, dabei sollte eine Auseinandersetzung mit der Äußerung von Herrn P. deutlich werden. Eine mögliche Lösung ist hier dargestellt. Herr P. macht es sich zu einfach, wenn er nicht zwischen realer Welt (hier finden Experimente statt) und Gedankenwelt unterscheidet. Herr P. vergisst, dass am Anfang jeder Modellbildung eine Frage oder ein Problem steht. Beobachtungen, Experimente sowie die Auswertung experimenteller Daten können Teil der Problemlösungsstrategie sein. Die Vorhersagen der Modelle werden mithilfe von experimentell gewonnen Daten geprüft und ein Modell gilt als widerlegt, wenn es mit den experimentell gewonnenen Daten nicht übereinstimmt. Durch Nachdenken entstehen Modelle. Prinzipiell kann es immer mehr als ein richtiges Modell geben und man braucht Kriterien zur Beurteilung von physikalischen Modellen. Kriterien zur Beurteilung eines physikalischen Modells sind Vorhersagekraft, Exaktheit (wie genau stimmen Modell und experimentell gewonnene Daten überein), Erklärungsmacht (wie gut erklärt das Modell), Allgemeingültigkeit (wieviel erklärt das Modell), Einfachheit und Anschaulichkeit. Die Schüler_innen sollen mindestens zwei dieser Kriterien nennen.		2	5
Verteilung der insgesamt **50** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**20**	**25**	**5**

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, vor allem, wenn sie in sinnvoller Weise von der Erwartung abweichen.“ (vgl. §12 (1) der Verordnung über die Abiturprüfung (22.09.15))

Aufgabe 3 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

	Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung		
		I	II	III
a.	Die Massen der zwei Protonen und der zwei Neutronen sind größer als die Masse des α-Teilchens. Diese fehlende Masse wird als Massendefekt Δm bezeichnet. Bei der Entstehung des α-Teilchens wird die Bindungsenergie $W_B = \Delta m \cdot c^2$ frei. Diese Bindungsenergie muss dem System α-Teilchen wieder zugeführt werden, um es in seine Bestandteile zu zerlegen. Für ein α-Teilchen ergibt sich $W_B = (2 \cdot m_n + 2 \cdot m_p) \cdot c^2 - (m_{He} + 2 \cdot m_e) \cdot c^2 = 0{,}030377\ \text{u} \cdot c^2$ $= 28{,}3\ \text{MeV}.$	6		
b.	${}^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{206}_{82}Pb$ Ein spontaner Zerfall eines radioaktiven Nuklids ist nur dann möglich, wenn die Bindungsenergie der Zerfallsprodukte größer ist als die Bindungsenergie des Ausgangsnuklids. Dies ist der Fall, wenn die Massen der Zerfallsprodukte geringer sind als die Masse des Ausgangsnuklids. Die frei werdende Energie erhalten die Zerfallsprodukte in Form von kinetischer Energie. Weil ein α-Teilchen mit zwei Elektronen etwa die Masse eines Heliumatoms besitzt, können Atommassen benutzt werden: $\Delta m = m_{Po-210} - (m_\alpha + m_{Pb-206})$ $= 209{,}98286\ \text{u} - (4{,}00260\ \text{u} + 205{,}97445\ \text{u})$ $= 0{,}00581\ \text{u} > 0$ Ein spontaner Zerfall ist möglich und die frei werdende Energie berechnet sich zu $E = \Delta m \cdot c^2 = 8{,}673 \cdot 10^{-13}\,\text{J} = 5{,}41\text{MeV}$. Für die Emission eines Protons ergibt sich eine Massenbilanz von $\Delta m = m_{Po-210} - (m_H + m_{Bi-209})$ $= 209{,}9829\ \text{u} - (1{,}0078\ \text{u} + 208{,}9804\ \text{u})$ $= -0{,}0053\ \text{u} < 0$ Ohne Zuführung von Energie ist diese Reaktion nicht möglich. Es darf die Masse des Wasserstoffatoms verwendet werden, weil so die Masse des fehlenden Elektrons berücksichtigt wird.	5	8	
c.	***Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.*** Die Halbwertszeiten der Nuklide in der Neptuniumreihe sind im Vergleich zum Alter der Erde so klein, dass die Isotope seid der Entstehung der Erde alle zerfallen sind.	3	2	
d.	Beim Zerfall des ${}^{241}_{95}Am$ befindet sich der ${}^{237}_{91}Np$-Kern häufig in angeregten Zuständen. Die relativen Häufigkeiten geben die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der jeweiligen Energien der α-Teilchen an. Beim Zerfall mit einem α-Teilchen mit der maximal möglichen Energie befindet sich der Neptuniumkern im Grundzustand. Die Anregungsenergien des Neptuniumkerns	2	6	3

	Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung I	Bewertung II	Bewertung III
	können jeweils über die Differenzen der α-Teilchenenergien mit der maximalen α-Teilchenenergie bestimmt werden. Z.B. $E_5 - E_1 = 5{,}548\,\mathrm{MeV} - 5{,}389\,\mathrm{MeV}$ $= 0{,}159\,\mathrm{MeV}$ Die Anregungsenergie gibt der Neptuniumkern beim Übergang in niedrigere Energiezustände in Form von γ-Quanten ab. Die Pfeile repräsentieren die Übergänge zwischen den Energieniveaus unter Abgabe eines γ-Quants. Die Energie der γ-Quanten kann als die Energiedifferenz der Anregungsenergien, also auch als Energiedifferenz der α-Teilchen berechnet werden. Der Pfeil zu γ_4 gehört zum Übergang des zweiten angeregten Zustandes in den Grundzustand. Die γ_4-Quanten besitzen eine Energie von $W_4 = 0{,}060\ \mathrm{MeV}$ Die relative Häufigkeit der Energien der α-Teilchen führt auf unterschiedliche Intensitäten der Spektrallinien der Gammastrahlung. Die Linie zu γ_4 besitzt die größte Intensität, weil der α-Zerfall in den zweiten angeregten Zustand am häufigsten Auftritt und die Übergänge in den ersten angeregten Zustand unwahrscheinlicher sind (Die Schüler_innen können ebenso eine Kombination der Übergange γ_1-γ_2 angeben). In der Nuklidkarte sind ist die häufigste Energie angegeben.			
e.	In einem Atomkern bilden sich aus zwei Neutronen und zwei Protonen ein α-Teilchen. Die dabei frei werdende Bindungsenergie hebt das α-Teilchen auf ein hohes Energieniveau oberhalb des Nullpotentials. Es sind der Verlauf der potentiellen Energie eines α-Teilchens im Feld der Kernkräfte und außerhalb deren Reichweite im Coulombfeld des Tochterkerns dargestellt. Ein Graph beschreibt die Wellenfunktion eines α-Teilchens. Für α-Teilchenenergien größer als Null besitzt der Coulombwall eine endliche Breite. Im klassisch verbotenen Bereich fällt die Wellenfunktion und damit ihr Amplitudenquadrat exponentiell ab. Weil sie im Wallinneren nicht Null werden kann verbleibt eine endliche Wahrscheinlichkeit das α-Teilchen außerhalb des Atomkerns anzutreffen. Das α-Teilchen „durchtunnelt" den Coulombwall mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit. Seine Energie ist durch das Energieniveau im Atomkern festgelegt. Mit dem Tunneleffekt kann deshalb erklärt werden, weshalb die α-Teilchen in großer Entfernung vom Atomkern eine viel geringere Energie besitzen, als ein α-Teilchen, das über den Coulombwall hinüber den Atomkern verlassen würde. Die Höhe des Coulombwalles kann mit Hilfe der experimentell bestimmbaren Kernradien abgeschätzt werden. Die Kernradien sind deutlich kleiner als der Abstand vom Kernmittelpunkt, den das α-Teilchen beim „Heraustunneln" aus dem Coulombwall besitzt.	4	9	2
	Verteilung der insgesamt **50** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche	**20**	**25**	**5**

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, vor allem, wenn sie in sinnvoller Weise von der Erwartung abweichen." (vgl. §12 (1) der Verordnung über die Abiturprüfung (22.09.15))