

Schriftliche Abiturprüfung 2011

Leistungskurs Physik

Donnerstag, 7. April 2011, 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 3: Gravitation

In den Jahren um 1881 herum bestimmte der deutsche Physiker Philipp von Jolly die Gravitationskonstante γ , indem er eine große Bleikugel (m_3) unter eine Glaskugel (m_1) rollte, die mit Quecksilber gefüllt war. Die Versuchsanordnung ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

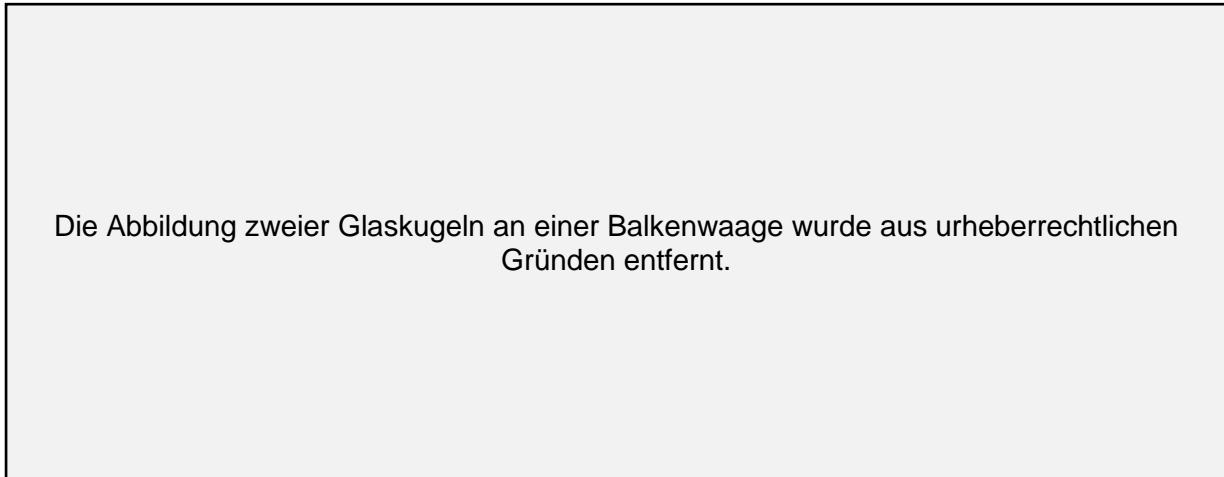


Abbildung 1

m_1 u. m_2 : Mit Quecksilber gefüllte Glaskugeln, die jeweils den Radius $r = 5\text{cm}$ und jeweils die Masse $m_1 = m_2 = 7,0\text{kg}$ hatten.

m_3 : Bleikugel mit dem Radius $R = 50\text{cm}$ und der Masse $m_3 = 5938\text{kg}$.

Position 1: Ort der Bleikugel m_3 zu Beginn der Messung.

Position 2: Ort derselben Bleikugel m_3 , nachdem sie unter die linke Glaskugel m_1 gerollt wurde.

Der Abstand zwischen den Oberflächen der Kugeln m_1 und m_3 betrug in Position 2 bei diesem Experiment $d = 2\text{cm}$ (siehe Abbildung 2).

- 1.a Zeichnen Sie in eine Skizze der Versuchsanordnung die Gravitationskräfte (nicht maßstabsgetreu) auf die Kugeln m_1 und m_2 ein und stellen Sie dar, was man erwarten kann, wenn sich m_3 in Position 2 befindet.

(6 Punkte)

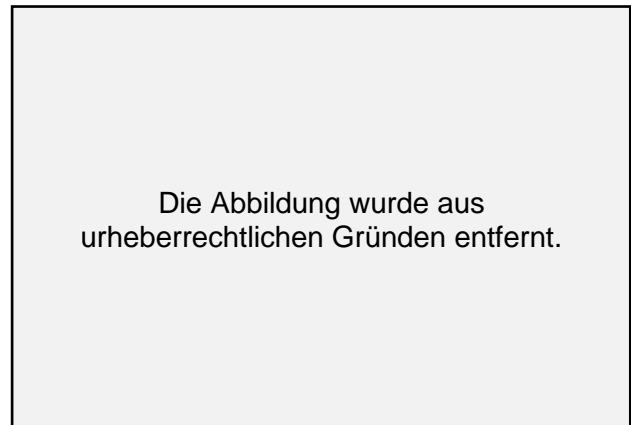


Abbildung 2

Als sich die Bleikugel m_3 in Position 2 befand, musste die Masse m_2 um die Masse $\Delta m_2 = 0,87\text{mg}$ vergrößert werden, damit die Balkenwaage im Gleichgewicht blieb.

- 1.b Bestimmen Sie den Wert der Gravitationskonstanten γ , der sich aus den oben wiedergegebenen Messwerten ergab. Gehen Sie dabei davon aus, dass die Erdbeschleunigung am Ort der Messung den Wert $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ hatte und vernachlässigen Sie bei Ihrer Rechnung die Kraft zwischen m_2 und m_3 . Stellen Sie auch die Einheitenbetrachtung dar.

(9 Punkte)

Der Physiker v. Jolly musste bei seinem Versuch sehr behutsam vorgehen. Zunächst rollte er die Kugel m_3 in die Position 2. Anschließend benötigte er eine gewisse Zeit, um die Masse m_2 um den oben angegebenen Wert $\Delta m_2 = 0,87\text{mg}$ zu vergrößern. Während dieser Zeit konnte sich die linke Kugel m_1 etwas auf die Bleikugel m_3 zu bewegen, zum Beispiel um die Strecke $\Delta s = 0,005\text{mm}$.

- 1.c Nennen Sie einen Grund dafür, warum v. Jolly davon ausgehen konnte, dass sich die Kraft auf die Quecksilberkugel m_1 dennoch praktisch nicht veränderte, während sich m_1 etwas auf m_3 zu bewegte.

Berechnen Sie unter dieser Voraussetzung die Arbeit W_{m1} , die an m_1 im Gravitationsfeld der Bleikugel verrichtet wurde, falls sich die Schwerpunkte der beiden Kugeln um $\Delta s = 0,005\text{mm}$ näherten.

(Hinweise: Der Effekt ist sehr klein, achten Sie auf ausreichende Rechengenauigkeit! Rechnen Sie in diesem Aufgabenteil mit dem Wert für γ aus der Formelsammlung!)

Berechnen Sie den prozentualen Unterschied zwischen der Arbeit W_{m1} und der Arbeit W_{m1}^* , die sich ergibt, wenn man korrekterweise davon ausgeht, dass die Masse m_3 ein radiales Gravitationsfeld besitzt.

(8 Punkte)

Als v. Jolly den oben geschilderten Versuch durchführte, war er auch in der Lage, extrem empfindliche und genau gehende Federwaagen herzustellen. Grundsätzlich hätte der Physiker bei seinem Versuch die Balkenwaage also auch durch eine Federwaage ersetzen können (Siehe Abbildung 3).

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 3

Nehmen Sie an, dass bei der Versuchsanordnung nach Abbildung 3 der Mond zu Beginn des Experimentes (Position 3 der Bleikugel m_3) genau auf Höhe des Horizontes stand und somit die Messung nicht beeinflusste. Als die Bleikugel dann auf die Position 4 gerollt worden war, befand

sich der Mond auf Grund seiner Bewegung und der Erdrotation genau senkrecht über der Versuchsanordnung.

- 1.d Berechnen Sie die Anziehungskraft F_{Mond} des Mondes auf m_1 und bestimmen Sie, um welchen Faktor die Kraft F_{Mond} die bei dieser Versuchsanordnung auftretende Anziehungskraft zwischen den Massen m_3 und m_1 übertrifft.

Gehen Sie dabei davon aus, dass der Mond die Masse $M_{Mond} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ hat und sein Schwerpunkt während der ganzen Zeit den Abstand $d_{Mond} = 380.000 \text{ km}$ vom Ort des Experimentes hat. (*Anmerkung:* Wundern Sie sich nicht über die Größenordnung!!)
Beurteilen Sie, ob der in diesem Aufgabenteil geschilderte Effekt bei dem Versuch nach Abbildung 1 eine Rolle spielte.

(8 Punkte)

Angenommen, v. Jolly hätte vor 130 Jahren die ausreichenden Geldmittel zur Verfügung gehabt, dann hätte er seinen Versuch mit verschiedenen Kugelmateriale wiederholen können und es wären folgende Versuchsergebnisse denkbar gewesen (Tabelle 1):

Material, aus dem beide Kugeln bestanden:	Dichte ρ des Materials in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	Anziehungskraft F_{grav} in N zwischen der großen und der kleinen Kugel
Glas	2500	$0,35 \cdot 10^{-6}$
Eisen	7860	$3,48 \cdot 10^{-6}$
Silber	10500	$6,21 \cdot 10^{-6}$
Blei	11300	$7,19 \cdot 10^{-6}$
Gold	19300	$21,0 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 1

- 1.e Stellen Sie den Zusammenhang zwischen der Dichte ρ und der Anziehungskraft F_{grav} graphisch dar.

Begründen Sie rechnerisch unter Zuhilfenahme von drei Wertepaaren, dass die Anziehungskraft F_{grav} proportional zum Quadrat der Dichte des Kugelmateriale, also zu ρ^2 , ist.

Stellen Sie eine Einheitenbetrachtung der Proportionalitätskonstanten dar.

Beurteilen Sie, ob aus diesem Versuchsergebnis folgt, dass die Gravitationskonstante von der Dichte der Körper abhängt, die sich gegenseitig anziehen.

(10 Punkte)

Gravitationsfelder und elektrische Felder sind miteinander vergleichbar. Ein solcher Vergleich soll nun im folgenden Aufgabenteil vorgenommen werden.

An einen Plattenkondensator mit dem Plattenabstand $k = 0,05m$ wird die Spannung $U = 20000V$ angelegt. Zwischen den Platten befindet sich ein kleines Öltröpfchen der Masse $m = 2,2 \cdot 10^{-10} kg$. (Abbildung 4)

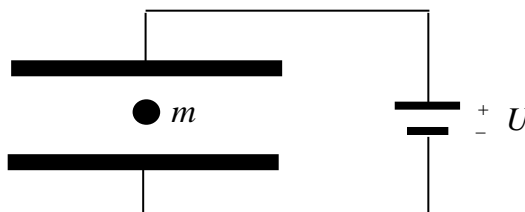


Abbildung 4

- 1.f Zeichnen Sie den Feldlinienverlauf des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators. Vergleichen Sie das elektrische Feld des Kondensators mit dem Gravitationsfeld der Erde in der Nähe der Erdoberfläche und mit dem Gravitationsfeld der Erde über große Abstände von der Erde. Berechnen Sie die elektrische Feldstärke E im Kondensator. (Zur Kontrolle:

$$E = 400000 \frac{V}{m})$$

Berechnen Sie die Strecke h , um die das Öltröpfchen im Gravitationsfeld der Erde angehoben werden muss, damit an ihm die gleiche Arbeit verrichtet wird, wie an der Quecksilberkugel m_1 in Aufgabenteil c). (Sollten Sie die Arbeit W_{m_1} nicht berechnet haben, gehen sie von $W_{m_1} = 43,2 \cdot 10^{-12} J$ aus.)

Bestimmen Sie die Ladungsmenge $Q_{öl}$, die auf das Tröpfchen aufgebracht werden muss, damit es durch die elektrostatische Anziehungskraft in der Schwebe gehalten wird und berechnen Sie um wie viele Elementarladungen es sich dabei handelt.

(9 Punkte)

Aufgabe 2

Themenbereich 7: Quantenmechanisches Atommodell

Der dänische Physiker Niels Bohr konnte 1913 erstmalig ein Atommodell vorschlagen, das die beobachtbaren Spektren von Wasserstoff erklärte. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Energie, mit der das Elektron an den Kern gebunden ist:

$$W_n = \frac{1}{8} \frac{m_e \cdot e^4}{\epsilon_0^2 \cdot h^2} \frac{1}{n^2} = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} \cdot \frac{1}{n^2} = 13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2} \text{ mit } n = 1, 2, 3, \dots$$

Allerdings ergab sich diese Formel erst, als Bohr Forderungen (Bedingungen, Postulate) einführte, die sich durch die damalige Physik nicht weiter erklären ließen.

- 2.a Nennen Sie eine dieser Forderungen und beschreiben Sie, inwiefern sie von der „klassischen“ Physik abweicht. (5 Punkte)
- 2.b Begründen Sie mit einer kurzen Rechnung, dass mittels dieser Formel die im Wasserstoffspektrum beobachteten Linien (Balmer-Serie) $H_\alpha : \lambda = 656 \text{ nm}$, $H_\beta : \lambda = 486 \text{ nm}$ und $H_\gamma : \lambda = 434 \text{ nm}$ hergeleitet werden können. (5 Punkte)

Moderne Atommodelle sind in der Lage, die Quantisierung (Stufung der Energie) zu erklären, indem sie das Verhalten des Elektrons mit einem Wellenmodell beschreiben.

- 2.c Stellen Sie die wesentlichen Eigenschaften des Modells vom linearen Potentialtopf dar. Skizzieren Sie die Graphen von drei Beispielen für die Wellenfunktion Ψ und den Verlauf von $|\Psi^2|$ für ein Elektron im linearen Potentialtopf. Begründen Sie mit physikalischen Argumenten, dass sich daraus die Energiequantelung ergibt. (7 Punkte)
- 2.d Leiten Sie, ausgehend von dem Zusammenhang $W = W_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{p^2}{2 \cdot m}$, die Gleichung für die Energie eines Teilchens mit der Masse m in einem eindimensionalen Potentialtopf der Länge a mit unendlich hohen Wänden her: $W_n = \frac{h^2}{8 \cdot m_e \cdot a^2} \cdot n^2$. Nennen Sie dabei die Bedingungen (physikalische Sachverhalte, Formeln), die Sie verwenden. (7 Punkte)

Zur selben Zeit, als Bohr sein Modell vorstellte, wurde bei der Untersuchung von Metallen entdeckt, dass sie bei geeigneter Anregung eine für das Element typische Röntgenstrahlung abgeben. Dem englischen Physiker Henry Moseley gelang es, eine mathematische Beschreibung für die Energie der jeweiligen K_α -Linie zu geben, die im Spektrum die höchste Intensität zeigt. Die Formulierung orientiert sich stark an der des Bohrschen Atommodells für das Wasserstoffatom. Moseley gibt für die Energien der K_α -Linien, die in einer Röntgenröhre entstehen können, die Näherungsformel an: $W_{K_\alpha} = 0,75 \cdot 13,6 \text{ eV} \cdot (Z-1)^2$. Dabei ist Z die Kernladungszahl des Materials, das die Anode der Röntgenröhre bildet.

- 2.e Vergleicht man diese Gleichung mit der Bohrschen Gleichung $W_n = 13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}$, findet man den Energiewert $13,6 \text{ eV}$ in beiden. Geben Sie jeweils eine physikalisch sinnvolle Begründung an für den Faktor $0,75$ sowie für den Faktor $(Z-1)^2$. Erläutern Sie auch die Entstehung der K_α -Strahlung. (7 Punkte)

Abb. 1 zeigt ein typisches Röntgenspektrum, das mit der Drehkristallmethode aufgenommen wurde (Bragg-Reflektion an einem NaCl-Kristall, Abstand der Netzebenen: $d = 282 \text{ pm}$).

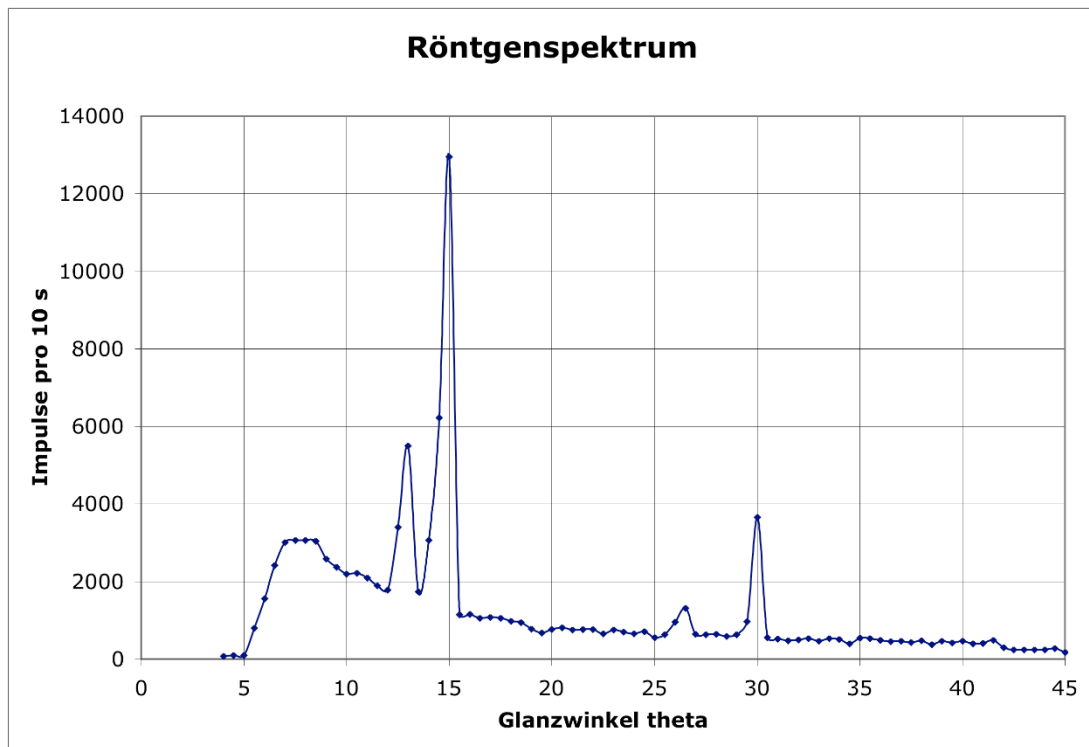


Abb 1: Gemessenes Röntgenspektrum

2.f Berechnen Sie mit den Daten aus Abb. 1 die Spannung U_B , mit der die Röntgenröhre betrieben wurde. Berechnen Sie mit Hilfe der Abb. 1 die Wellenlänge λ der K_α -Linie und begründen Sie durch eine Rechnung mit der Moseley-Formel, dass es sich bei dem Anodenmaterial **nicht** um Molybdän handeln kann (Molybdän Mo: $Z = 42$). (8 Punkte)

1914 veröffentlichte Moseley eine Tabelle mit den Wellenlängen der K_α -Linien von bekannten Elementen, die sich als Anodenmaterial eignen. Damit gelang es ihm, einen wichtigen Beitrag zur Struktur des Periodischen Systems der Elemente zu liefern. Vor Moseleys Untersuchungen hatte man die Reihenfolge der Elemente nach der Atommasse festgelegt. Wie sich zeigen sollte, gibt es Ausnahmen von dieser einfachen Regel. Die folgende Tabelle 1 enthält die Nummer im Periodensystem nach dem Stand von 1913 (Kernladungszahl Z), das Elementsymbol sowie die von Moseley bestimmte Wellenlänge der K_α -Linie.

Kernladungszahl Z	13	14	17	18	20	22	23
Elementsymbol	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	V
Wellenlänge in pm	836,4	714,2	475	375,9	336,8	275,8	251,9

Kernladungszahl Z	24	25	26	27	28	29	30
Elementsymbol	Cr	Mn	Fe	Ni	Co	Cu	Zn
Wellenlänge in pm	230,1	211,1	194,6	166,2	178,9	154,9	144,5

Tabelle 1: Wellenlängen der K_α -Linien

Moseley wählte eine anschauliche Darstellung der gemessenen Werte. Dazu zeichnete er in einer Grafik (Abb. 2) die (wir müssen heute sagen: vermutete) Kernladungszahl Z gegenüber der Wurzel aus der Frequenz f der K_α -Linien auf. Er erwartete, dass alle Werte auf einer ansteigenden Geraden liegen.

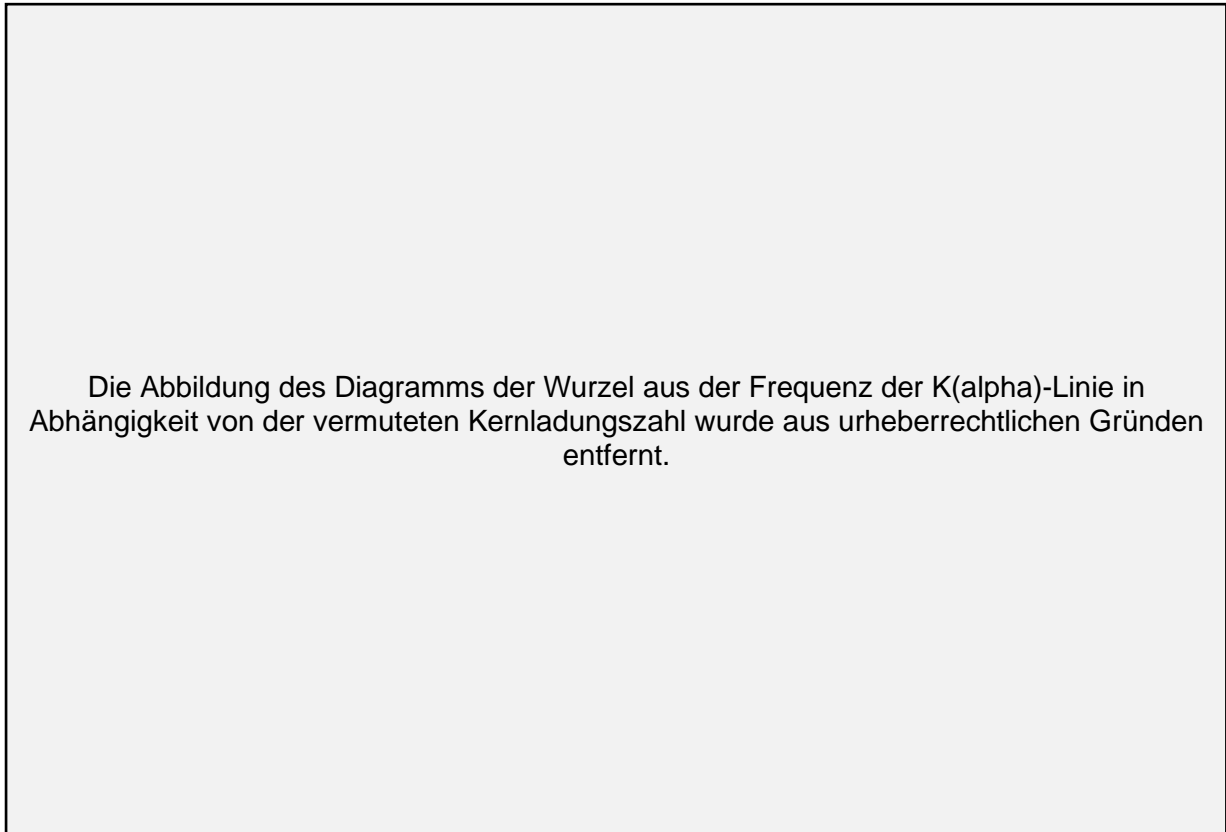


Abb. 2: Überprüfung von Moseleys Vorhersage

- 2.g Berechnen Sie mit Hilfe der Tabelle 1 für eines der Elemente Aluminium Al oder Silizium Si, wie der entsprechende Wert in Abb. 2 zustande kommt. (6 Punkte)
- 2.h Erläutern Sie, welchen drei Elementen aufgrund von Moseleys Forschungen andere Kernladungszahlen Z als zuvor vermutet zugeordnet werden mussten. (5 Punkte)

Aufgabe 3

Themenbereich 9: Masse und Energie in der Relativitätstheorie

Trifft die kosmische Höhenstrahlung auf unsere Erdatmosphäre, so entstehen in etwa 10 km Höhe Myonen. Myonen sind negativ geladene Elementarteilchen, ihre Masse ist 207 mal so groß wie die Ruhemasse der Elektronen, also $m_\mu = 207 \cdot 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 1,885 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$. Diese Myonen sind instabil. Sie haben eine Halbwertszeit von $T_{1/2} = 1,52 \cdot 10^{-6} \text{ s}$. Die Myonen sollen sich senkrecht zur Erdoberfläche mit einer Geschwindigkeit v von $v = 0,998 c$ bewegen, also mit 99,8% der Lichtgeschwindigkeit c .

- 3.a Berechnen Sie mithilfe der klassischen Mechanik den zurückgelegten Weg s eines Myons während der Halbwertszeit von $T_{1/2} = 1,52 \cdot 10^{-6} \text{ s}$. Beurteilen Sie, ob nach Ihrer Rechnung Myonen auf der Erdoberfläche nachgewiesen werden können. (4 Punkte)

Hinweis: Sie können davon ausgehen, dass nach $T = 10 \cdot T_{1/2}$ Myonen nicht mehr nachweisbar sind.

- 3.b Erläutern Sie die Bedeutung des Begriffs Inertialsystem für die spezielle Relativitätstheorie. Benennen Sie die EINSTEIN'schen Postulate und vergleichen Sie das physikalische Weltbild von Einstein mit dem physikalischen Weltbild von Newton und Galileo. Gehen Sie nicht auf die Elektrodynamik ein. (4 Punkte)

Tatsächlich erreicht ein Großteil der Myonen die Erdoberfläche und kann dort nachgewiesen werden.

Die Erde betrachten wir im folgenden als ruhendes System, S-System.

Die Myonen bewegen sich mit $v = 0,998 c$ im S- System. Das Myon in seinem Eigensystem, also im S' - System, hat die Halbwertszeit von $T'_{1/2} = 1,52 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

- 3.c Berechnen Sie die Halbwertszeit $T_{1/2}$ der Myonen aus der Sicht der Erde, also dem S-System. Berechnen Sie den Weg ℓ , den das Myon aus der Sicht der Erde, also dem S-System zurücklegt. Bewerten Sie Ihr Ergebnis im Vergleich mit Aufgabenteil 3.a. (4 Punkte)

- 3.d Leiten Sie aus der Lorentz-Transformationen $x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ die Längenkontraktion

$$\ell_k = \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ her. Dabei soll im S-System } x_2 - x_1 = \ell_k \text{ gelten.} \quad (8 \text{ Punkte})$$

- 3.e Berechnen Sie aus der Sicht der Myonen, also aus dem S' - System heraus die Länge des Weges ℓ_k , den die Myonen von ihrer Entstehung in einer Höhe von $\ell = 10 \text{ km}$ bis zur Erdoberfläche zurücklegen. (5 Punkte)

Es sei angenommen, dass die Myonen, die an der Erdoberfläche ankommen, noch die Geschwindigkeit $v = 0,998 c$ haben.

- 3.f Berechnen Sie die Masse m_μ eines Myons aus der Sicht des S-Systems, also eines ruhenden Beobachters an der Erdoberfläche und vergleichen Sie sie mit der Ruhemasse. (4 Punkte)

Unsere Galaxie (Milchstraße) hat einen Durchmesser von $d = 10^5$ Lichtjahren. Die höchste bekannte Energie von Partikeln der kosmischen Strahlung beträgt $W = 10^{19}$ eV .

Wir betrachten jetzt ein Proton mit der Ruhemasse $m_{p_0} = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg .

- 3.g Bestätigen Sie, dass sich ein solches Proton fast mit Lichtgeschwindigkeit bewegt und ergänzen Sie Ihre Berechnung auch durch eine Dimensionsbetrachtung. Der Taschenrechner ist mit einem Teil der Berechnung überfordert. Rechnen Sie bitte in diesem Aufgabenteil mit $v = c$ weiter.

Berechnen Sie die Zeit t , die dieses Proton mit der angegebenen Energie benötigt, um unsere Galaxie zu durchqueren, bezogen auf die Zeit des Ruhesystems der Galaxis.

(8 Punkte)

- 3.h Der Ausdruck $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ hat für die betrachteten Protonen mit der Energie $W = 10^{19}$ eV den

Wert $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 9,369 \cdot 10^{-11}$. Berechnen Sie die Zeit t' , die während des Vorgangs in dem System des Protons vergangen ist. (4 Punkte)

- 3.i Berechnen Sie die dynamische Masse m_p des Protons mit der Energie $W = 10^{19}$ eV .

Überprüfen Sie, dass $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 9,369 \cdot 10^{-11}$ für die betrachteten Protonen tatsächlich gilt.

(5 Punkte)

- 3.j Die Raumstation SPACELAB umrundet in $h = 300$ km Höhe die Erde in 90 Minuten auf einer Kreisbahn mit dem Radius $R = r_e + h = 6371$ km + 300 km = 6671 km .

Begründen Sie, ob die Abläufe in dieser Station von der Erde aus gesehen mit der speziellen Relativitätstheorie betrachtet werden können?

Geben Sie zwei unterschiedliche Begründungen bei der Beantwortung der Frage an. Eine Begründung soll rechnerisch sein. (4 Punkte)

Schriftliche Abiturprüfung 2011

Leistungskurs Physik

Donnerstag, 7.4. 2011, 9.00 Uhr

Unterlagen für Referenten und Korreferenten

- Diese Unterlagen sind nicht für Schülerinnen und Schüler bestimmt -

Diese Unterlagen enthalten ...

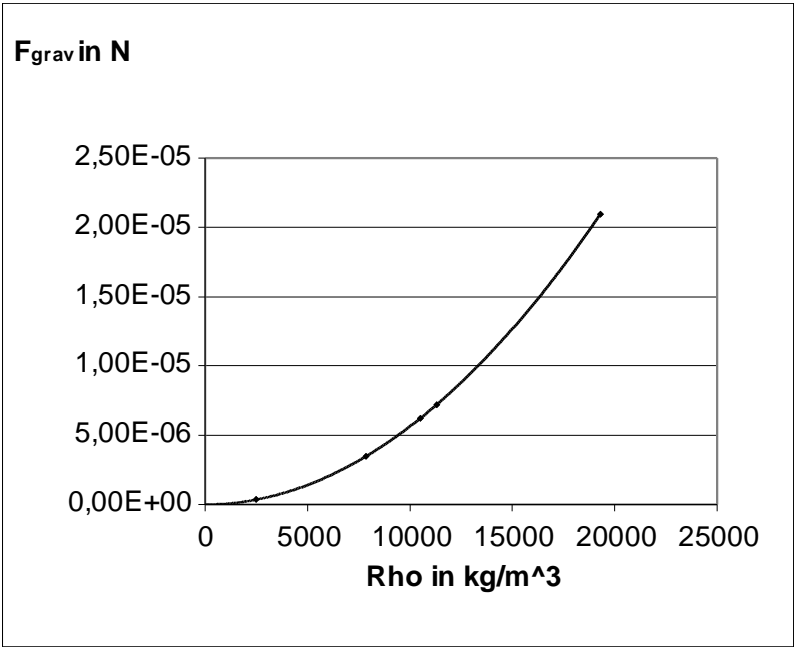
- Allgemeines,
 - Erwartungshorizonte, Bewertungen und Korrekturhinweise zu den Aufgaben,
 - keine Aufgabenstellungen – Ihre Exemplare entnehmen Sie bitte den Schüleraufgaben – ,
 - einen Protokollbogen zur Auswahl der Aufgaben für die Prüfungsakten Ihrer Schule,
 - einen Rückmeldebogen für die Zentralabiturkommission 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.	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Die Abbildung der Gravitationskräfte wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt. </div> <p>Die Masse m_1 erfuhr von der Masse m_3 zusätzlich zur Massenanziehungskraft der Erde eine Kraft senkrecht nach unten. Daher geriet die Waage aus dem Gleichgewicht und die Masse m_1 begann sich nach unten zu bewegen.</p>	3	3	
b.	<p>Abstand der Kugelmittelpunkte: $0,50m + 0,02m + 0,05m = 0,57m$. Gewichtskraft der Masse m_2 : $F_{g,m_2} = 0,87 \cdot 10^{-6} kg \cdot 9,81m/s^2 = 8,53 \cdot 10^{-6} N$ Damit ergibt sich für γ der Ansatz: $\gamma \cdot \frac{7,0kg \cdot 5938kg}{(0,57m)^2} = 8,53 \cdot 10^{-6} N$ $\Rightarrow \gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$ Betrachtung der Einheiten: $[\gamma] = \frac{N \cdot m^2}{kg^2} = \frac{kg \cdot m \cdot m^2}{s^2 \cdot kg^2} = \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$</p>	3	6	
c.	<p>Entlang der kurzen Strecke, auf der sich m_1 auf m_3 zu bewegte, konnte das Gravitationsfeld der großen Kugel als homogen angesehen werden.</p> <p>$W_{m_1} = 8,53 \cdot 10^{-6} N \cdot 0,005 \cdot 10^{-3} m = 4,26500 \cdot 10^{-11} J$ Die Differenz der potentiellen Energien (mit den Bezugspunkten im Unendlichen): $W_{m_1}^* = -\gamma \cdot 7,0kg \cdot 5938kg \cdot \left(\frac{1}{0,57m + 5 \cdot 10^{-6}m} - \frac{1}{0,57m} \right)$ $= 4,2685 \cdot 10^{-11} J$ $\Delta W = W_{m_1}^* - W_{m_1} = 3,5 \cdot 10^{-14} J$ $\frac{\Delta W}{W_{m_1}^*} = \frac{3,5 \cdot 10^{-14} J}{4,2685 \cdot 10^{-11} J} = 0,00081 = 0,082\%$</p>	3	4	1

d.	<p>Anziehungskraft des Mondes auf die Masse m_1</p> $F_{Mond} = \gamma \cdot \frac{7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg} \cdot 7 \text{ kg}}{(380 \cdot 10^6 \text{ m})^2} = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ <p>Kraft von m_3 auf m_1: $F_{g,m_2} = 8,53 \cdot 10^{-6} \text{ N}$ (Siehe Aufgabenteil b)</p> <p>Die Messung wird um den Faktor $k = \frac{2,38 \cdot 10^{-4} \text{ N}}{8,53 \cdot 10^{-6} \text{ N}} = 28$ verfälscht.</p> <p>Der Effekt hat auf die Messung mit der Balkenwaage keinen Einfluss, da beide Massen m_1 und m_2 vom Mond gleich stark und in die gleiche Richtung angezogen werden.</p>	3	5																									
e.	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p>F_{grav} in N</p>  </div> <table border="1" data-bbox="220 1393 1042 1832"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Dichte ρ in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$</th> <th>Anziehungskraft F_{grav} in N</th> <th>$c = \frac{F_{grav}}{\rho^2}$ in $\frac{\text{N} \cdot \text{m}^6}{\text{kg}^2}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Glas</td> <td>2500</td> <td>$0,35 \cdot 10^{-6}$</td> <td>$5,60 \cdot 10^{-14}$</td> </tr> <tr> <td>Eisen</td> <td>7860</td> <td>$3,48 \cdot 10^{-6}$</td> <td>$5,63 \cdot 10^{-14}$</td> </tr> <tr> <td>Silber</td> <td>10500</td> <td>$6,21 \cdot 10^{-6}$</td> <td>$5,63 \cdot 10^{-14}$</td> </tr> <tr> <td>Blei</td> <td>11300</td> <td>$7,19 \cdot 10^{-6}$</td> <td>$5,63 \cdot 10^{-14}$</td> </tr> <tr> <td>Gold</td> <td>19300</td> <td>$21,0 \cdot 10^{-6}$</td> <td>$5,64 \cdot 10^{-14}$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Die Einheit von c: $[c] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^6}{\text{s}^2 \cdot \text{kg}^2} = \frac{\text{m}^7}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$.</p> $F_{grav} = 5,63 \cdot 10^{-14} \frac{\text{m}^7}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot \rho^2$	Material	Dichte ρ in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	Anziehungskraft F_{grav} in N	$c = \frac{F_{grav}}{\rho^2}$ in $\frac{\text{N} \cdot \text{m}^6}{\text{kg}^2}$	Glas	2500	$0,35 \cdot 10^{-6}$	$5,60 \cdot 10^{-14}$	Eisen	7860	$3,48 \cdot 10^{-6}$	$5,63 \cdot 10^{-14}$	Silber	10500	$6,21 \cdot 10^{-6}$	$5,63 \cdot 10^{-14}$	Blei	11300	$7,19 \cdot 10^{-6}$	$5,63 \cdot 10^{-14}$	Gold	19300	$21,0 \cdot 10^{-6}$	$5,64 \cdot 10^{-14}$	3	5	2
Material	Dichte ρ in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	Anziehungskraft F_{grav} in N	$c = \frac{F_{grav}}{\rho^2}$ in $\frac{\text{N} \cdot \text{m}^6}{\text{kg}^2}$																									
Glas	2500	$0,35 \cdot 10^{-6}$	$5,60 \cdot 10^{-14}$																									
Eisen	7860	$3,48 \cdot 10^{-6}$	$5,63 \cdot 10^{-14}$																									
Silber	10500	$6,21 \cdot 10^{-6}$	$5,63 \cdot 10^{-14}$																									
Blei	11300	$7,19 \cdot 10^{-6}$	$5,63 \cdot 10^{-14}$																									
Gold	19300	$21,0 \cdot 10^{-6}$	$5,64 \cdot 10^{-14}$																									

	Bei dem Versuch ändert sich mit der Dichte auch Masse der Kugeln. Wenn sich die Dichte z.B. verdoppelt, verdoppelt sich die anziehende Masse beider Kugeln, die Gravitationskraft vervierfacht sich demnach. Die Gravitationskonstante ist also nicht von der Dichte abhängig.			
f.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt. </div> <p>Die Feldlinien des Gravitationsfelds der Erde enden immer auf der Erde. Die Feldlinien des elektrischen Feldes des Plattenkondensators können je nach der Polung der Spannung an verschiedenen Platten enden.</p> <p>Der Feldlinienverlauf des Gravitationsfelds nahe der Erdoberfläche (bzw. über kleine Änderungen des Abstandes von der Erde) entspricht dem Feldlinienverlauf im Inneren des Plattenkondensators.</p> <p>Über große Abstände von der Erde ist das Gravitationsfeld inhomogen, da es sich um ein radiales Feld handelt.</p> <p>Der Verlauf der elektrischen Feldlinien am Rand des Plattenkondensators hat im Gravitationsfeld der Erde keine Entsprechung.</p> <p>Berechnung der elektrischen Feldstärke im Kondensator:</p> $E = \frac{U}{k} = \frac{20000V}{0,05m} = 400000 \frac{V}{m}$ <p>Die Strecke h, um die das Öltröpfchen angehoben werden muss:</p> $h = \frac{W_{m1}}{m \cdot g} = 0,02m$ $F_{el} = F_{g;\dot{O}l} = 2,2 \cdot 10^{-10} kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 2,158 \cdot 10^{-9} N$ $E = \frac{F_{g;\dot{O}l}}{Q_{\dot{O}l}} \Rightarrow Q_{\dot{O}l} = \frac{F_{g;\dot{O}l}}{E} = 5,4 \cdot 10^{-15} C$ $n = \frac{5,4 \cdot 10^{-15} C}{1,6 \cdot 10^{-19} C} \approx 33750 \text{ Elementarladungen müssen aufgebracht}$ <p>werden, um das Öltröpfchen in der Schwebe zu halten.</p>			
	Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche	20	25	5

Aufgabe 2 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung										
		I	II	III								
a.	<p>Die Antwort hängt stark von der Behandlung im Unterricht ab. Die Argumentation mit einer der Größen (W, r, L) ist nötig.</p> <p>1. Die Elektronen bewegen sich strahlungsfrei auf Kreisbahnen um den Kern. Das widerspricht der klassischen Vorstellung, dass beschleunigte Ladungen Energie abgeben.</p> <p>2. Charakteristische Größen im Wasserstoffatom wie Bindungsenergie, Radius, Drehimpuls können nur diskrete Werte annehmen. Das widerspricht der klassischen Vorstellung, dass sich Zustände kontinuierlich verändern und alle Zwischenzustände möglich sind.</p> <p>3. Beim Übergang zwischen zwei möglichen Zuständen wird die Differenzenergie in Form von elektromagnetischer Strahlung abgegeben oder aufgenommen. Dies widerspricht der klassischen Erfahrung, dass jeder Körper beliebige Energiemengen aufnehmen oder abgeben kann.</p>	5										
b.	<p>Zu den drei genannten Wellenlängen lassen sich mit $W = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ die Energiestufen berechnen.</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>λ in nm</td> <td>656</td> <td>486</td> <td>434</td> </tr> <tr> <td>W in J</td> <td>$3,028 \cdot 10^{-19}$</td> <td>$4,087 \cdot 10^{-19}$</td> <td>$4,577 \cdot 10^{-19}$</td> </tr> </table> <p>Sie sollen der Gleichung $\Delta W = W_m - W_n$ mit $m > n$ gehorchen.</p> <p>Eine Abschätzung zeigt, dass für $n = 1$ die Energien zu groß sind, aber für $n = 2; m = 3$, für $n = 2; m = 4$ und $n = 2; m = 5$ folgen die geforderten Werte.</p>	λ in nm	656	486	434	W in J	$3,028 \cdot 10^{-19}$	$4,087 \cdot 10^{-19}$	$4,577 \cdot 10^{-19}$	2	3	
λ in nm	656	486	434									
W in J	$3,028 \cdot 10^{-19}$	$4,087 \cdot 10^{-19}$	$4,577 \cdot 10^{-19}$									

<p>c.</p>	<p>Ein linearer Potentialtopf ist ein Bereich, in dem die potentielle Energie $W_{pot} = 0$ ist. An den Enden nimmt das Potential unendlich hohe Werte an, so dass der Bereich von dem Elektron nicht verlassen werden kann. Im Wellenbild entspricht dies einer stehenden Welle der Funktion $\psi(x)$ mit Knoten an den beiden Enden. Die Breite a des Kastens muss ein Vielfaches einer halben Wellenlänge $a = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ sein, sonst würde sich die Welle durch Interferenz selbst auslöschen. Nur der Größe ψ^2 kommt eine physikalische Bedeutung zu: ψ^2 ist die Wahrscheinlichkeitsdichte, die angibt, wo das Elektron mit welcher Wahrscheinlichkeit zu finden ist. Skizzen:</p> <div data-bbox="225 712 753 1328" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>Die Abbildungen wurden aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> </div> <p>Alternative Skizzen:</p> <div data-bbox="225 1368 753 1984" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>Die Abbildungen wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> </div>			
		3	4	

d.	<p>Ausgangspunkt: $W = W_{kin} = \frac{p^2}{2 \cdot m}$, nach de Broglie gilt $p = \frac{h}{\lambda}$,</p> <p>im Potentialtopf gilt $a = n \cdot \frac{\lambda}{2}$, also $p = \frac{h \cdot n}{2 \cdot a}$ und damit $W = \frac{h^2 \cdot n^2}{8 \cdot a \cdot m}$</p>		7	
e.	<p>Die K_α-Strahlung wird frei, wenn ein Elektron aus der zweiten Schale (L-Schale) auf einen freien Platz auf der ersten Schale (K-Schale) springt. Dieser freie Platz entstand, als ein schnelles Elektron mit dem Elektron der K-Schale kollidierte.</p> <p>Bohrs Gleichung gilt jeweils für einen Energiezustand n, Moseleys Gleichung gilt für den Übergang vom 2. in den 1. Zustand. Daher ist</p> $0,75 = \frac{3}{4} = 1 - \frac{1}{4} = \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}.$ <p>Die Kernladung ist verglichen mit Wasserstoff um den Faktor Z höher, darum sind die Energien um den Faktor Z^2 höher, allerdings wird das elektrische Feld des Atomkerns durch ein Elektron auf der innersten Schale abgeschirmt, so dass nur der Faktor $(Z-1)^2$ wirkt.</p>	7		
f.	<p>Die Beschleunigungsspannung U_B lässt sich aus dem Wert der kurzwelligen Grenze des Röntgenspektrums λ_{min} berechnen. Dort gilt der Zusammenhang $e \cdot U_B = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda_{min}}$. Mit $\vartheta = 5^\circ$ und der Bragg-Beziehung</p> $\text{ist } U_B = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda_{min}} = \frac{h \cdot c}{e \cdot 2 \cdot d \cdot \sin(\vartheta)} = 25,24 kV.$ <p>Die K_α-Linie ist die intensivste der vier auftretenden Linien.</p> <p>Es gilt: $\lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\vartheta) = 1,46 \cdot 10^{-10} m$</p> <p>(NB: von links nach rechts: K_β, K_α sowie dieselben Linien noch einmal für den Gangunterschied $\Delta s = 2\lambda$ bei der Bragg-Reflektion.)</p> <p>Aus der Moseley-Formel $W_{K\alpha} = 0,75 \cdot 13,6 eV \cdot (Z-1)^2$ mit $\vartheta_{K\alpha} = 15^\circ$ folgt:</p> $W_{K\alpha} = \frac{h \cdot c}{2 \cdot d \cdot \sin(15^\circ)} = 10,2 eV \cdot (Z-1)^2 = 1,63 \cdot 10^{-18} J \cdot (Z-1)^2$ <p>und damit $Z = 1 + \sqrt{\frac{6,626 \cdot 10^{-34} Js \cdot 2,998 \cdot 10^8 m/s}{1,63 \cdot 10^{-18} J \cdot 2 \cdot 2,82 \cdot 10^{-10} m \cdot 0,259}} = 1 + 28,9 \approx 30$</p> <p>Das spricht gegen Molybdän (eher für Kupfer oder Zink). Andere Beweisführungen, z.B. solche, die $W_{K\alpha}$ für Mo berechnen, sind ebenso möglich.</p>	3	5	
g.	<p>Aus der Wellenlänge λ gewinnt man die Frequenz $f = \frac{c}{\lambda}$ und zieht anschließend die Wurzel. Für Al ($\lambda = 836,4 pm$) folgt</p> $y(13) = \sqrt{f} = \sqrt{\frac{2,988 \cdot 10^8 m/s}{8,364 \cdot 10^{-10} m}} = 5,977 \cdot 10^8 \sqrt{Hz}$		6	

	oder für Si: $y(14) = \sqrt{f} = \sqrt{\frac{2,988 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{7,142 \cdot 10^{-10} m}} = 6,468 \cdot 10^8 \sqrt{Hz}$			
h.	<ul style="list-style-type: none"> - Die Nummer 18 (K) liegt neben der Geraden. Es passt besser, wenn Kalium die Nummer 19 bekommt. <i>(Heute wissen wir, dass K nach dem Edelgas Ar im PSE liegt, obwohl K-Atome leichter sind als Ar-Atome.)</i> - Die Elemente Co und Ni (27 und 28) passen im damaligen PSE nicht. Die Werte liegen dann auf der Geraden, wenn man ihre Reihenfolge vertauscht. <i>(Das liegt daran, dass Co-Atome (Nr. 27) etwas schwerer sind als Ni-Atome (28).)</i> 			5
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
a.	<p>Mit $c = 2,998 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ und $T_{1/2} = 1,52 \cdot 10^{-6} s$ folgt:</p> $s = 0,998 \cdot c \cdot T_{1/2} = 0,998 \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \cdot 1,52 \cdot 10^{-6} s = 454,8m$ <p>Mit $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ und $T_{1/2} = 1,52 \cdot 10^{-6} s$ folgt:</p> $s = 0,998 \cdot c \cdot T_{1/2} = 0,998 \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \cdot 1,52 \cdot 10^{-6} s = 455,1m$ <p>Die Entfernung zwischen dem Entstehungsort der Myonen in 10km Höhe und der Erdoberfläche beträgt etwa 22 "Halbwertswege". Es gelangt kein Myon bis zur Erdoberfläche.</p>	2	2	
b.	<p>Unter einem Inertialsystem versteht man ein Koordinatensystem, in dem sich kräftefreie Körper geradlinig, gleichförmig bewegen. In einem Inertialsystem gilt die Newtonsche Mechanik. Alle Systeme, die sich gleichförmig gegenüber einem Inertialsystem bewegen, sind ebenfalls Intertrialssysteme.</p> <p>Einstein Postulate:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Die Gesetze der Physik sind in allen Inertialsystemen dieselben. Es existiert kein bevorzugtes System. 2. Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum hat in allen Inertialsystemen denselben Wert c. <p>Einsteins Postulate führten zu einem neuen Verständnis von Raum und Zeit. Einen absoluten Raum gibt es nicht. (Längenkontraktion, Zeitdilatation)</p>	4		
c.	<p>Mit $\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ oder $T_{1/2} = \frac{T'_{1/2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ folgt</p> $\Delta t = T_{1/2} = \frac{1,52 \cdot 10^{-6} s}{\sqrt{1 - \frac{0,998^2 \cdot c^2}{c^2}}} = \frac{1,52 \cdot 10^{-6} s}{\sqrt{1 - 0,996004}} = \frac{1,52 \cdot 10^{-6} s}{6,321 \cdot 10^{-2}}$ $= 2,41 \cdot 10^{-5} s$ <p>Mit $c = 2,998 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$</p> $\Delta s = v \cdot T_{1/2} = 0,998 \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \cdot 2,405 \cdot 10^{-5} s = 7194,4m$ <p>Mit $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ $\Delta s = 7199,2m$</p> <p>Damit gelangt ein großer Teil der Myonen bis auf die Erdoberfläche.</p>	2	2	
d.	<p>Aus $x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ folgt $x'_1 = \frac{x_1 - v \cdot t_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ und $x'_2 = \frac{x_2 - v \cdot t_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ und</p>			

	$x_1 = x'_1 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + v \cdot t_1 \quad \text{und} \quad x_2 = x'_2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + v \cdot t_2$ $(x_2 - x_1) = (x'_2 - x'_1) \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + v \cdot (t_2 - t_1) \quad \text{Mit } t_1 = t_2 \text{ folgt}$ $(x_2 - x_1) = (x'_2 - x'_1) \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{und damit } \ell_k = \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$	2	4	2
e.	<p>Mit $\ell_k = \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ aus der Formelsammlung ist darauf zu achten, dass hier das Ruhesystem das S'-System ist, also das Myonensystem und die Erde das bewegte System, also das S-System ist.</p> <p>Damit gilt: $\ell_k = \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$</p> $\ell_k = 10 \text{ km} \cdot \sqrt{1 - \frac{0,988^2 \cdot c^2}{c^2}} = 10 \text{ km} \cdot 6,321 \cdot 10^{-2}$ $= 0,6321 \text{ km} = 632,1 \text{ m}$	2	3	
f.	<p>Mit $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, $v = 0,998c$ und $m_\mu = 1,885 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$ folgt:</p> $m_\mu = \frac{m_{\mu_0}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1,885 \cdot 10^{-28} \text{ kg}}{\sqrt{1 - \frac{0,988^2 \cdot c^2}{c^2}}} = 2,982 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ <p>m_μ ist damit 15,8 mal größer als die Ruhemasse m_0 des Myons.</p>	2	2	
g.	<p>Mit $d = 10^5 \text{ LJ}$, $m_{p_0} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ und $W = 10^{19} \text{ eV}$ folgt</p> $W = m \cdot c^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot c^2 \quad \Rightarrow \quad v = c \cdot \sqrt{1 - \frac{m_0^2 \cdot c^4}{W^2}}$ $v = 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{1 - \frac{(1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg})^2 \cdot (2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^4}{1,602^2 \text{ kg}^2 \frac{\text{m}^4}{\text{s}^4}}} =$ $= 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{1 - 8,877 \cdot 10^{-21}} \approx 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ <p>Hinweis: Die Berechnung mit einem Taschenrechner liefert für $1 - 8,877 \cdot 10^{-21}$ den Wert 1 und damit auch für $\sqrt{1 - 8,877 \cdot 10^{-21}}$ den Wert 1. Damit ist $v \approx c$</p>	2	4	2

	Mit $v \approx c$ folgt unmittelbar $t = \frac{d}{v} = \frac{d}{c} = \frac{10^5 \text{ y} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 10^5 \text{ a}$			
h.	Mit $\ell_k = \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ folgt mit $\ell = 1 \cdot 10^5 \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \text{ s} = 9,454 \cdot 10^{20} \text{ m}$ $\ell_k = 9,454 \cdot 10^{20} \text{ m} \cdot 9,369 \cdot 10^{-11} = 8,858 \cdot 10^{10} \text{ m}$ $t' = \frac{\ell_k}{c} = \frac{8,858 \cdot 10^{10} \text{ m}}{2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 295,4 \text{ s} \hat{=} 4,924 \text{ min} = 4 \text{ min } 55,3 \text{ s}$	2	2	
i.	Aus $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ folgt $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_{p_0}}{m_P}$ $\frac{m_{p_0}}{m_P} = \frac{m_{p_0} \cdot c^2}{W_{\text{ges}}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot \left(2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{1,602 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 9,369 \cdot 10^{-11}$		4	1
j.	1. Begründung: Erdradius $r = 6371 \text{ km}$, $h = 300 \text{ km}$ damit ist $R = r + h = 6671 \text{ km}$ $U = 2\pi \cdot r = 41915,1 \text{ km}$ Umlauflänge. $t = 90 \text{ min} \hat{=} 5400 \text{ s}$ Damit ergibt sich eine Bahngeschwindigkeit von $v = \frac{U}{t} = \frac{41915,1 \text{ km}}{5400 \text{ s}} = 7,76 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 7762 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2794342 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ Damit ist $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{\left(7762 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\left(2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}} = 0,9999999993 \approx 1$. Die Geschwindigkeit v des SPACELAB ist damit sehr klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit c . 2. Begründung: Das SPACELAB stellt wegen seiner kreis- oder ellipsenförmigen Bewegung um die Erde kein Inertialsystem dar, da es nicht beschleunigungsfrei ist.	2	2	
	Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche	20	25	5