

## **Schriftliche Abiturprüfung 2018**

### **Leistungskurs Physik**

**Mittwoch, 18. April 2018 - 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: Wellenoptik

Die ersten Röntgengeräte fanden vielfältige Einsatzorte, so zum Beispiel in Schuhgeschäften, damit die Schuhe passen. Heute meidet man unnötige Röntgenstrahlung und führt dazu einen Röntgenpass.

1.a

- Vergleichen Sie Röntgenstrahlung und Sonnenlicht aus physikalischer Sicht.
- Nennen Sie die Ursache(n) für das höhere Gefährdungspotential von Röntgenstrahlung.
- Erläutern Sie mit Hilfe einer kommentierten Skizze das Verhalten von elektromagnetischen Wellen beim Übergang von einem optisch dünneren zu einem optisch dichteren Medium.

Manfred kennt den Unterschied zwischen longitudinalen und transversalen Wellen. Er fragt sich zu welcher Art Sonnenlicht gehört.

- Entwerfen Sie ein Experiment, das mit Hilfe von zwei Polarisationsfiltern Manfreds Frage klärt. Beschreiben Sie den Versuchsaufbau, die Versuchsdurchführung(en), die Versuchsbeobachtung(en) sowie die Versuchserklärung.

Auf eine kleine runde Öffnung (Durchmesser  $d = 0,1 \text{ mm}$ ) trifft Licht der Wellenlänge  $\lambda = 700 \text{ nm}$ .

- Bestimmen Sie den Winkel zwischen dem zentralen Maximum und dem ersten Beugungsminimum.
- Bestimmen Sie den Abstand  $y$  zwischen dem zentralen Maximum und dem ersten Beugungsminimum auf einem  $l = 8 \text{ m}$  entfernten Schirm.

(22 Punkte)

1.b

- Erläutern Sie das Zustandekommen von Interferenz anhand von Abbildung 1.

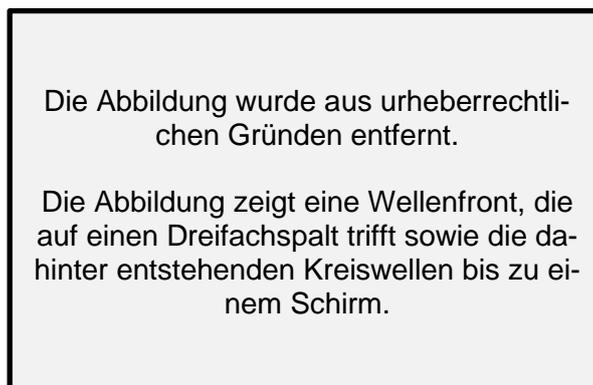


Abbildung 1 (Quelle: lightframefx.de am 6.6.2017, Bild entnommen und verändert)

Auf ein Gitter mit der Gitterkonstanten  $d = 2 \text{ cm}$  fallen senkrecht ebene Wellen der Wellenlänge  $\lambda = 0,5 \text{ cm}$ .

- Bestimmen Sie die Richtungen der ersten drei Maxima durch eine Rechnung.
- Leiten Sie die Bedingungen für Interferenzmaxima bei einem optischen Gitter her.

(12 Punkte)

1.c

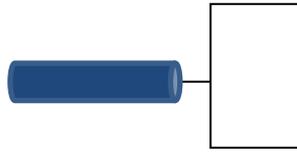


Abbildung 2: Griff mit Drahtrahmen

Ein rechteckiger Drahtrahmen (siehe Abbildung 2) wird in eine Seifenlösung getaucht, so dass in dem Rahmen eine Seifenhaut entsteht (Brechzahl  $n = 1,34$ ).

Aufgrund der Erdanziehungskraft nimmt die Dicke der Seifenhaut nach unten hin keilförmig zu. Ein wechselndes Farbenspiel ist bis kurz vor dem Platzen der Seifenhaut zu sehen.

- Erläutern Sie das Zustandekommen von Interferenz. Fertigen Sie hierzu auch eine Skizze an.
- Bestimmen Sie die minimale Dicke  $d$  der Seifenhaut, wenn bei senkrechter Aufsicht die Farbe Grün erscheint.  
(Hinweis: Die Komplementärfarbe Rot mit der Wellenlänge  $\lambda = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  ist ausgelöscht.)

Kurz vor dem Platzen wirkt die Seifenhaut schwarz.

- Begründen Sie dies.

(12 Punkte)

1.d Weit entfernte Berge erscheinen bläulich.

- Erläutern Sie die Blaufärbung entfernter Berge aus physikalischer Sicht.

(4 Punkte)

## Aufgabe 2

### Themenbereich: Quantenphysik und Wellenmechanik

2.a C. Jönsson gelang 1961 die Durchführung des Doppelspaltversuchs mit Elektronen. Die Elektronen wurden durch eine Spannung von  $U = 50 \text{ kV}$  beschleunigt und trafen dann auf einen Doppelspalt mit einer Spaltbreite von je  $0,5 \mu\text{m}$  und einen Spaltabstand von  $2 \mu\text{m}$ . Hinter dem Doppelspalt wurden die Elektronen auf einem geeigneten Schirm registriert.

- Berechnen Sie die De-Broglie-Wellenlänge  $\lambda$  der Elektronen. (Mögliche relativistische Effekte sollen bei dieser Rechnung nicht berücksichtigt werden.)
- Nennen Sie Bedingungen für ideale Interferenzbilder und schätzen Sie ab, ob diese bei dem Doppelspaltversuch von Jönsson erreicht worden sind.
- Skizzieren Sie in zwei Abbildungen das Muster, das sich ergibt, nachdem (a) nur wenige Elektronen registriert wurden und nachdem (b) eine sehr große Anzahl von Elektronen registriert wurde. Beschreiben Sie die wesentlichen Eigenschaften der beiden Muster in ganzen Sätzen. (Eine Rechnung ist nicht gefordert.)
- Interpretieren Sie die skizzierten Muster unter Bezug auf die Eigenschaften von Quantenobjekten.

(20 Punkte)

2.b Der Franck-Hertz-Versuch und die Untersuchung des Wasserstoffspektrums liefern experimentelle Befunde, die darauf hindeuten, dass Elektronen in Atomen nur bestimmte, diskrete Energiezustände annehmen können. Ein stark vereinfachtes Modell hierfür ist das Modell des linearen Potentialtopfs (vgl. Abbildung 1).

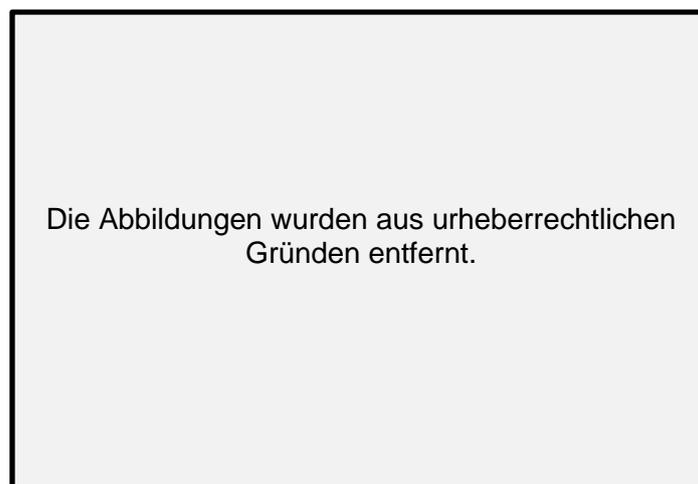


Abbildung 1: Der lineare Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden (links) und mit endlich hohen Wänden (rechts). Es sind jeweils die Wellenfunktionen der untersten drei stationären Zustände eingezeichnet. Die Breite der Potentialtöpfe ist hier  $L$ . Die Höhe der Potentialwände des Potentialtopfes mit endlich hohen Wänden ist  $U_0$ .

(Quelle: <http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de>)

- Erläutern Sie die Behauptung, dass es sich bei dem Modell des linearen Potentialtopfes um ein stark vereinfachtes Modell eines Atoms handelt.

Das Verhalten der Elektronen im Potentialtopf wird durch die Schrödinger-Gleichung beschrieben. Die eindimensionale zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung eines Quantenobjektes der Masse  $m$ , der Energie  $W$  in einem Potential  $W_{\text{pot}}$  lautet:

$$\psi''(x) + \frac{8 \cdot \pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (W - W_{\text{pot}}) \cdot \psi(x) = 0$$

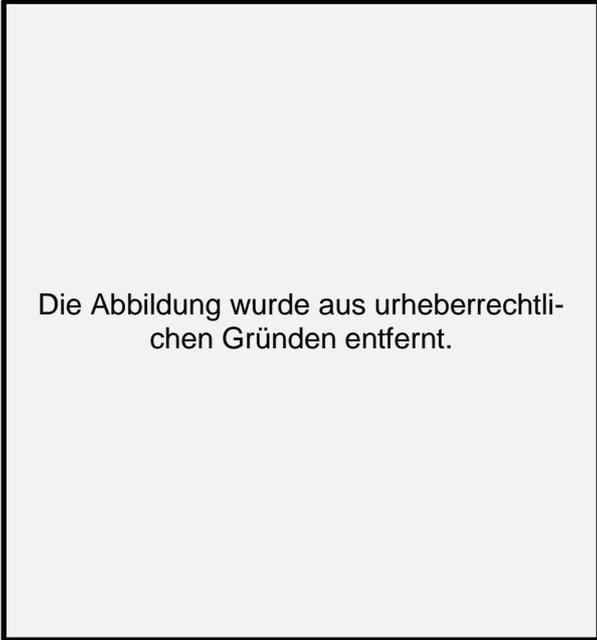
Zunächst soll der lineare Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden betrachtet werden.

- Begründen Sie durch Einsetzen in die Schrödinger-Gleichung, dass die Funktionen  $\psi_n(x) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot x\right)$  die Schrödinger-Gleichung im Inneren des Potentialtopfes erfüllen. Leiten Sie dabei die Formel  $W_n = \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} \cdot n^2$  für die Energieniveaus  $W_n$  eines linearen Potentialtopfes der Breite  $L$  mit unendlich hohen Wänden her.

Jetzt soll der lineare Potentialtopf mit endlich hohen Wänden betrachtet werden (siehe Abbildung 1, rechte Hälfte). Bei  $x \leq 0$  und  $x \geq L$  werden endlich hohe Potentialwände mit dem Potential  $W_{\text{pot}} = U_0$  angenommen.

- Begründen Sie durch Einsetzen in die Schrödinger-Gleichung, dass die Funktion  $\psi_{\text{Wand}}(x) = A \cdot e^{-k \cdot x}$  für  $x \geq L$  die Schrödinger-Gleichung erfüllt und leiten Sie den Ausdruck  $k = \sqrt{\frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (U_0 - W)}$  her.
- Interpretieren Sie die Funktion  $\psi_{\text{Wand}}(x) = A \cdot e^{-k \cdot x}$  für  $x \geq L$  sowie den Ausdruck  $k = \sqrt{\frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (U_0 - W)}$  physikalisch.

Ein Vorteil des Modells des linearen Potentialtopfes mit endlich hohen Wänden gegenüber einem Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden ist, dass auch ungebundene Elektronenzustände ( $W > U_0$ ) dargestellt werden können. Abbildung 2 zeigt für einen linearen Potentialtopf mit endlich hohen Wänden neben den drei untersten gebundenen Zuständen auch zwei ungebundene Zustände.



Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 2: Ein linearer Potentialtopf mit endlich hohen Wänden. Neben den Wellenfunktionen für die untersten drei gebundenen Zustände sind auch die Wellenfunktionen für zwei ungebundene Zustände eingezeichnet.

(Quelle: <http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de>)

- Beschreiben und begründen Sie die Wellenfunktionen für die ungebundenen Zustände. (Eine Rechnung ist für die Begründung nicht gefordert.)

(30 Punkte)

### Aufgabe 3

#### Themenbereich: Radioaktive Strahlung und Zerfallsgesetz

Radioaktive Strahlung ist nicht fühlbar oder sichtbar. Dementsprechend war ihre Entdeckung ein glücklicher Zufall. Ende des 19. Jahrhunderts experimentierte Henri Becquerel mit uranhaltigen Gesteinsproben und entdeckte die von diesen ausgesandte, seltsame Strahlung. Heute, nach Harrisburg (1979), Tschernobyl (1986) und Fukushima (2011) gehören der Nachweis und die Messung radioaktiver Strahlung fest zu unserem Alltag. Hierbei wird die Wirkung der radioaktiven Strahlung auf unterschiedliche Materie genutzt.

3.a

- Nennen Sie drei verschiedene Methoden, um radioaktive Strahlung zu messen bzw. nachzuweisen.
- Diese Messmethoden beruhen auf einer grundlegenden Eigenschaft der radioaktiven Strahlung. Erläutern Sie diese Eigenschaft und beschreiben Sie, wie diese in den von Ihnen gewählten Beispielen genutzt wird.

(6 Punkte)

Bodenproben aus oberflächennahen Schichten enthalten geringe, aber trotzdem nachweisbare Aktivitäten der  $\beta$ -Strahler  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{134}\text{Cs}$ . Diese Radionuklide wurden nahezu ausschließlich bei oberirdischen Kernwaffentests und durch Reaktorunfälle in die Biosphäre abgegeben. Diese Isotope sind relativ einfach durch  $\gamma$ -Spektroskopie nachzuweisen, weil beim Zerfall in der Folge  $\gamma$ -Strahlung emittiert wird. Hierzu verwendet man einen Szintillationszähler. Einige wichtige Informationen zu den beiden Nukliden finden Sie in Tabelle 1.

Tabelle 1

Isotop	Kernladungszahl	Halbwertszeit	Zerfallsart	Zerfallsenergie (MeV)	Vorkommen	Tochterkern
$^{134}\text{Cs}$	55	2,0648 a	$\beta^-$	2,059	synthetisch	$^{134}\text{Ba}$
$^{137}\text{Cs}$		30,17 a	$\beta^-$	1,176 (5,4%)		$^{137}\text{Ba}$
	$\beta^-$		0,512 (94,6%)			

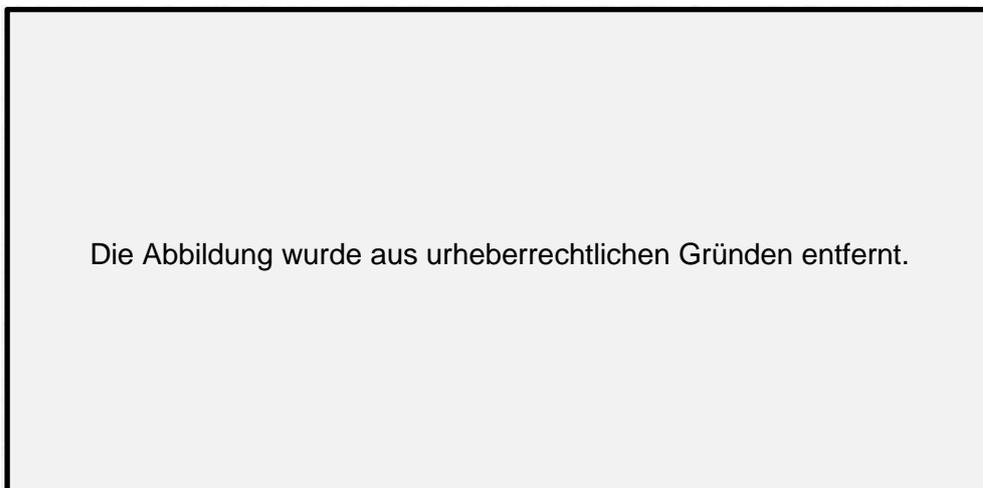


Abbildung 1: Szintillationszähler (Quelle: Metzler Physik, Schroedel Verlag, 4. Aufl., Seite 494)

3.b

- Geben Sie die Zerfallsgleichungen für  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{134}\text{Cs}$  an.
- Ergänzen Sie die fehlenden Informationen in Abbildung 4 (Anhang: Energieniveauschema) und interpretieren Sie die dort abgebildete „geschlängelte“ Linie.
- Erläutern Sie die Funktionsweise des Szintillationszählers aus Abbildung 1.
- Begründen Sie, dass sich Radionuklide an Hand ihrer  $\gamma$ -Strahlung in der Regel leicht identifizieren lassen.
- Techniker\*innen, die nach einem Unfall Messungen in der Nähe der Unfallorte vornahmen, waren  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung ausgesetzt. Beurteilen Sie die Wirksamkeit der Schutzanzüge aus Kunststoff-Folie, die hierbei zum Einsatz kamen, in Hinblick auf diese drei Strahlungsarten.
- Bei ersten Bodenprobemessungen (10.05.2011) nach dem Fukushima-GAU in Iitate (Japan), 40 km nordwestlich von Fukushima-Daiichi wurden  $227.000 \text{ Bq } ^{137}\text{Cäsium}$  gemessen. Berechnen Sie die Menge des hier abgereinigten radioaktiven Cäsiums.
- In dem gleichen Zeitraum wurde im Bereich Tschernobyl „nur noch“ eine  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität von  $7,2 \text{ kBq}$  gemessen. Ermitteln Sie die Größenordnung der  $^{137}\text{Cs}$  Kontamination in Tschernobyl in Vergleich zu Fukushima.

(22 Punkte)

Zur Untersuchung des Zerfallsgesetzes wird an vielen Schulen ein Präparat verwendet, das  $^{137}\text{Cs}$  enthält. Bei 94,6 % der Zerfälle entsteht zunächst der metastabile Zustand  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ , der anschließend durch  $\gamma$ -Emission in den Grundzustand übergeht. Diesen Zerfall benutzt man wegen seiner kurzen Halbwertszeit zur experimentellen Bestimmung des Zerfallsgesetzes. Dazu wird Barium aus dem Cs-Präparat ausgewaschen. Die bariumhaltige Lösung wird dann vor ein Zählrohr gebracht. In Tabelle 2 sind die um den Nulleffekt bereinigten Zählraten  $Z$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  angegeben:

Tabelle 2

t in s	0	80	160	240	320	400
Z in $\text{s}^{-1}$	195	136	93	66	46	32

3.c

- Stellen Sie die Messreihe in einem Zeit-Zählrate-Diagramm dar (auch halblogarithmisch möglich).
- Bestimmen Sie mit einem geeigneten Verfahren unter Einbeziehung aller Messwerte die Halbwertszeit und die Zerfallskonstante von  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  und beschreiben Sie ihr Verfahren.

(6 Punkte)

- 3.d In der Vorrichtung in Abbildung 2 wird die Luft zwischen den beiden Kondensatorplatten mit einem  $\alpha$ -Strahler bestrahlt. Es wird die Ionisationsstromstärke  $I$  in Abhängigkeit von der Spannung  $U$  gemessen.

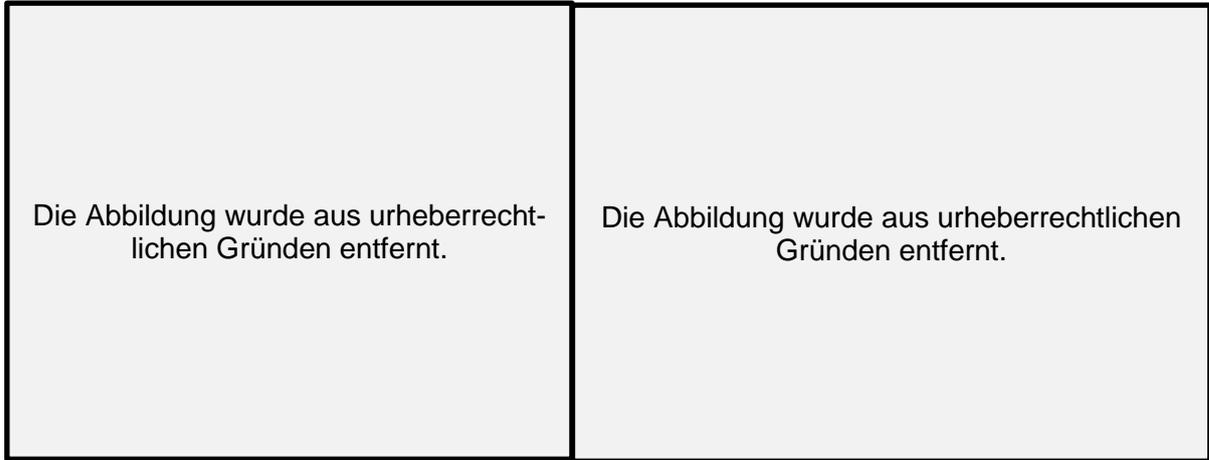


Abbildung 2: © MTA-R.de und  
Max Schmidt-Römshild KG

Abbildung 3: U-I-Diagramm

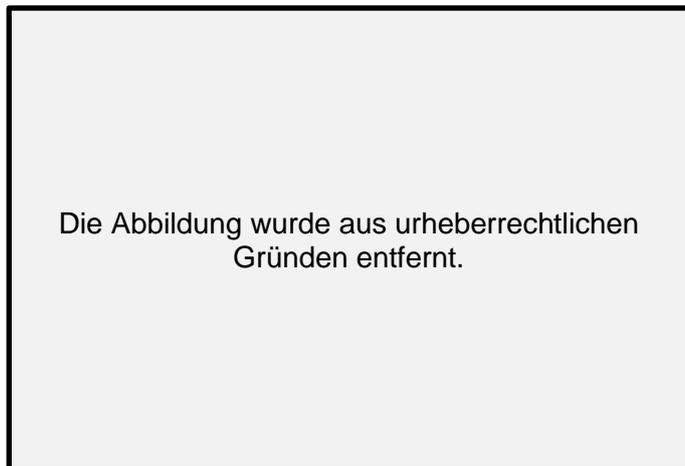
- Erklären Sie den Kurvenverlauf des U-I-Diagramms (Abbildung 3).
  - Erläutern Sie, ob mit diesem Versuchsaufbau (Abbildung 2) die Stärke radioaktiver Präparate miteinander verglichen werden kann.
  - Der im Versuch benutzte  $\alpha$ -Strahler emittiert Strahlung mit der kinetischen Energie von 4,5 MeV. Berechnen Sie die durchschnittlich durch ein  $\alpha$ -Teilchen erzeugte Ladungsträgermenge wissend, dass die Luftmoleküle einfach ionisiert werden und die hierzu erforderliche Ionisationsenergie 35 eV ist.
  - Das Amperemeter in Abbildung 2 zeigt die Stromstärke  $I = 1,45 \cdot 10^{-10}$  A an. Berechnen Sie die Anzahl der  $\alpha$ -Teilchen, die im Mittel pro Sekunde emittiert werden.
- (12 Punkte)

Bei einem Teilchen-Antiteilchen-Paar kann eine so genannte Paarvernichtung stattfinden, d.h. die Masse beider Teilchen wird vollständig in Energie umgewandelt, die in Form von  $\gamma$ -Quanten abgestrahlt wird.

- 3.e Betrachtet man den Spezialfall, dass sich die beiden Teilchen vor der Zerstrahlung in Ruhe befinden, dann ist es nicht möglich, dass bei der Paarvernichtung nur ein  $\gamma$ -Quant entsteht.
- Begründen Sie diesen Sachverhalt.
- (4 Punkte)

**Anhang:**

Abbildung 4: Energieniveauschema des Zerfalls von Cs-137



---

## Schriftliche Abiturprüfung 2018

### Leistungskurs Physik

Mittwoch, 18. April 2018, 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 über die **Hotline (0421...)** 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 240 Minuten.
- Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Formelsammlung, Taschenrechner.

**Aufgabe 1 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<p>Sonnenlicht und Röntgenstrahlung unterscheiden sich in Frequenz und Wellenlänge sowie in der pro Zeit und Fläche übertragenen Energie.                      Röntgenstrahlung (<math>10^{16} \text{ Hz} \leq f \leq 10^{22} \text{ Hz}</math>) (<math>3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \geq \lambda \geq 3 \cdot 10^{-14} \text{ m}</math>)                      Sonnenlicht (<math>\lambda \geq 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}</math>) setzt sich im Vergleich zur Röntgenstrahlung aus gleich großen und größeren Wellenlängen zusammen, so dass im Mittel weniger Energie pro Zeit und Fläche übertragen wird. Aus diesem Grund ist das Gefährdungspotential durch Sonnenstrahlung geringer.                      Gemeinsam ist beiden Strahlenarten, dass sie elektromagnetische Wellen sind. In ihrer Entstehung unterscheiden sie sich und auch ihr Durchdringungsvermögen ist unterschiedlich. Abschirmung ist für Röntgenstrahlung aufwendiger als für Sonnenlicht. Hierin ist eine weitere Ursache für das höhere Gefährdungspotential von Röntgenstrahlung zu sehen.</p> <p>Weder die Aufgabenstellung noch die Lösung gibt für den Vergleich beider Strahlungsarten eine Anzahl zu nennender Unterschiede und Gemeinsamkeiten vor. Wichtig für die Vergabe der vollen Punktzahl ist die Nennung und überzeugende Darstellung wesentlicher Aspekte.</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; text-align: center; padding: 20px;"> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> </div> <p>Quelle: Dorn/Bader Physik Gymnasium Sek II 12/13, Schroedel, 2005, S.202</p> <p>Trifft eine elektromagnetische Welle, zB. Licht unter einem Winkel größer <math>0^\circ</math> und ungleich <math>90^\circ</math> sowie kleiner <math>180^\circ</math> auf ein optisch dichteres Medium so ändern sich Betrag und Richtung der Ausbreitungsgeschwindigkeit. Dies kann mithilfe von Elementarwellen (Huygens) erklärt werden, wobei sich die Richtungsänderung als Folge unterschiedlicher Geschwindigkeitsbeträge in den verschiedenen Medien ergibt. Dieser Vorgang wird als Brechung bezeichnet. Trifft eine elektromagnetische Welle, wie z.B. Licht im sichtbaren Bereich senkrecht auf ein optisch dichteres Medium so ändert sich der Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle, nicht aber ihre Richtung.</p> <p>Material: 2 Polarisationsfilter sowie Sonnenlicht (z.B. durch ein Loch in einer Raumabdunkelung)                      Versuchsaufbau: Beide Polarisationsfilter werden gemeinsam vor das Loch in der Raumabdunkelung gehalten.</p>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<p>Versuchsdurchführungen: Die Position des einen Polarisationsfilters bleibt unverändert, während der zweite Polarisationsfilter (Analysator) gedreht wird.</p> <p>Versuchsbeobachtung(en): Je nach Position des zweiten Filters (Analysators) gelangt gar kein Licht oder unterschiedlich viel Licht durch das Loch.</p> <p>Versuchserklärung: Sonnenlicht muss aus transversalen Wellen bestehen, da longitudinale Wellen ungehindert durch Polarisationsfilter gelangen und eine Veränderung der Lichtintensität nicht erklärbar wäre. Bei transversalen Wellen bewirkt der erste Filter eine lineare Polarisation des Lichts und der Analysator blockiert dieses Licht wenn er im 90° Winkel zum ersten Filter steht bzw. lässt in anderen Positionen Anteile bzw. bei Gleichrichtung alles Licht durch. Somit gelangt unterschiedlich viel Licht durch das Loch.</p> <p>Der Winkel <math>\theta</math>, bei dem das erste Beugungsminimum auftritt berechnet sich mithilfe der Kleinwinkelnäherung zu</p> $\theta \approx \frac{1,22\lambda}{d} \approx 8,54 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$ <p>Auf einem 8 Meter entfernten Schirm beträgt dieser Abstand</p> $y = l \cdot \theta = 6,83 \text{ cm.}$	2	17	3
b.	<p>Eine ebene Wellenfront trifft auf ein aus nur drei Spalten bestehendes Gitter. Hinter jedem Spalt sind in Halbkreisen Wellenberge und Wellentäler dargestellt. Durch Kohärenz und Gangunterschiede ergibt sich ein Interferenzmuster. Die Richtungen der Maxima sind als drei helle Streifen zu erkennen.</p> <p>Berechnung der Richtung der ersten Maxima (<math>n=1,2,3</math>) für Abstand der Spaltmitten <math>d = 2 \text{ cm}</math> und der Wellenlänge <math>\lambda = 0,5 \text{ cm}</math>.</p> $\sin(\alpha_n) = \frac{n\lambda}{d}$ $\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{1\lambda}{d}\right) = 14,5^\circ \text{ und } \alpha_2 = \arcsin\left(\frac{2\lambda}{d}\right) = 30^\circ \text{ und } \alpha_3 = 48,6^\circ$ <p>Herleitung der Bedingungen für Interferenzmaxima:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> </div> <p>Quelle: Metzler Physik, Grehn, Krause (Hrsg.), 2007, S.297</p>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<p>Den Gangunterschied <math>\Delta s</math> kann man in der Abbildung den rechtwinkligen Dreiecken ablesen. Ist der Gangunterschied Null oder ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge bilden sich Maxima <math>\Delta s = n\lambda</math> mit <math>(n=0,1,2,\dots)</math>. Den Zusammenhang zwischen dem Gangunterschied und dem dazugehörigen Winkel kann man aus der Zeichnung mit <math>\sin \alpha_n = \frac{n\lambda}{g}</math> ablesen. (In der Formelsammlung ist die Gitterkonstante mit <math>d</math> und nicht mit <math>g</math> bezeichnet.)</p>	4	4	4
c.	<p>Licht wird sowohl an der Seifenhautvorderseite als auch an der Hautrückseite reflektiert. Daraus ergibt sich ein Gangunterschied, der sowohl von der Seifenhautdicke <math>d</math> als auch vom Betrachtungswinkel abhängt. Durch die Überlagerung beider Wellenzüge (siehe Abb.) entsteht Interferenz.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> </div> <p>Quelle: Dorn/Bader Physik Gymnasium Sek II 12/13, Schroedel, 2005, S.210</p> <p>Bestimmung der minimalen Dicke <math>d</math> wenn Rot bei senkrechter Aufsicht ausgelöscht wird</p> $2d \cdot n = m\lambda$ $d = \frac{m\lambda}{2n} = 2,43 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ <p>(<math>n</math> ist die Brechzahl und in der Aufgabe mit 1,34 gegeben. Für <math>m</math> ist 1 zu wählen, da die minimale Dicke <math>d</math> bestimmt werden soll.)</p> <p>Kurz vor dem Platzen ist die Seifenhaut so dünn, dass kein Gangunterschied mehr auftritt. Da bei der Reflexion an einem optisch dichteren Medium (hier Seifenblasenvorderseite <math>n=1,34</math>) ein Phasensprung von <math>180^\circ</math> auftritt, löschen sich die Wellenzüge 1 und 2 (Reflektiert an Vorder- und Rückseite) aus, wodurch der Eindruck „Schwarz“ entsteht.</p>	4	4	4
d.	<p>In unsere Augen gelangt Streulicht aus der Luft zwischen Berg und Augen. Je weiter entfernt der Berg ist, desto mehr Luft befindet sich zwischen uns und ihm und desto mehr Streulicht gelangt in unsere Augen. Da im gestreuten Himmelslicht (senkrecht zur Ausbreitungsrichtung) höhere Lichtfrequenzen bevorzugt sind, erscheint uns der Berg blau.</p>			4
Verteilung der insgesamt <b>50</b> Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		<b>10</b>	<b>25</b>	<b>15</b>

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.	<p><b>Berechnung der De-Broglie-Wellenlänge:</b></p> $\lambda = \frac{h}{p}, W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, p = m \cdot v, W = e \cdot U$ $\Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot e \cdot U}} \approx 5,48 \text{ pm}$ <p><b>Bedingung für ideale Interferenzbilder. Abschätzung der Erreichbarkeit:</b>                      Für ein ideales Interferenzbild sollte die Spaltbreite sehr klein im Vergleich zur Wellenlänge und der Spaltabstand von derselben Größenordnung wie die Wellenlänge sein. Die De-Broglie-Wellenlänge ist im Vergleich zur Spaltbreite und zum Spaltabstand sehr klein. Somit wurden die Bedingungen für ideale Interferenzbilder nicht erreicht.</p> <p><b>Skizze und Beschreibung der Muster:</b>                      Die Skizze zu a) sollte einzelne Punkte enthalten, die scheinbar willkürlich verteilt sind. Es sollte kein Interferenzmuster erkennbar sein. In der Skizze zu b) sollte ein streifenförmiges Interferenzmuster erkennbar sein, dass sich aus der Häufung der einzelnen Punkte ergibt. Die entsprechenden Eigenschaften sollten in ganzen Sätzen beschrieben werden.</p> <p><b>Interpretation der Muster:</b>                      Die Elektronen können auf dem Weg durch den Doppelspalt zum Schirm durch die sogenannte Wellenfunktion beschrieben werden. Der Durchgang durch den Doppelspalt führt am Schirm zu Interferenzen in der Wellenfunktion. Bei der Registrierung der Elektronen auf dem Schirm werden die Elektronen nur an einem Punkt registriert. Die Dichte der Wahrscheinlichkeit, dass die Elektronen an einer bestimmten Stelle auf dem Schirm registriert werden, ist durch das Betragsquadrat der Wellenfunktion gegeben. Das zu beobachtende Interferenzmuster zeichnet sich erst durch die Häufungen einer ausreichenden Anzahl an registrierten Elektronen ab. Werden nur wenige Elektronen registriert, so sind diese Häufungen nicht erkennbar.</p>	6	3	
b.	<p><b>Erläuterung der Behauptung:</b>                      Die Elektronen eines Atoms befinden sich im Coulomb-Potential des Atomkerns. (In der Regel wird das Potential des Atomkerns durch die Anwesenheit der anderen Elektronen im Atom modifiziert.) Beim Modell des linearen Potentialtopfs wird dieses Potential durch ein Kasten-förmiges Potential stark vereinfacht dargestellt.</p> <p>Die Elektronen befinden sich in einem dreidimensionalen Potential in einem dreidimensionalen Raum. Beim Modell des linearen Potentialtopfes wird nur eine Dimension betrachtet.</p> <p><b>Begründung von <math>\psi_n(x) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot x\right)</math> sowie der Energieniveaus:</b></p> $\psi_n(x) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot x\right) \Rightarrow \psi_n''(x) = -A \cdot \frac{4\pi^2}{\lambda_n^2} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot x\right)$		5	

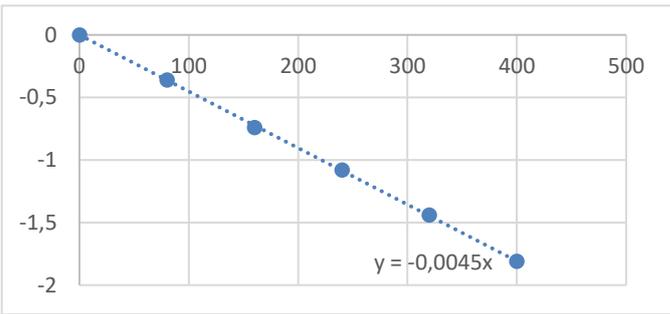
Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung		
	I	II	III
<p>Einsetzen in die Schrödinger-Gleichung (mit <math>W_{\text{pot}} = 0</math> im Inneren des Potentialtopfes):</p> $-A \cdot \frac{4\pi^2}{\lambda_n^2} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot x\right) + \frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot W \cdot A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot x\right) = 0$ $\Rightarrow -\frac{1}{\lambda_n^2} + \frac{2 \cdot m}{h^2} \cdot W = 0 \Rightarrow W = \frac{h^2}{2 \cdot m \cdot \lambda_n^2}$ <p>An den unendlich hohen Wänden Potentialtopfes muss die Wellenfunktion verschwinden: <math>\psi_n(0) = 0</math> und <math>\psi_n(L) = 0</math>.</p> <p>Hieraus folgt: <math>n \cdot \frac{\lambda_n}{2} = L \Rightarrow \lambda_n = \frac{2 \cdot L}{n}</math></p> <p>Und schließlich: <math>W_n = \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} \cdot n^2</math></p> <p><i>Begründung von <math>\psi_{\text{Wand}}(x) = A \cdot e^{-k \cdot x}</math> und Herleitung von <math>k</math>:</i></p> $\psi_{\text{Wand}}(x) = A \cdot e^{-k \cdot x} \Rightarrow \psi_{\text{Wand}}''(x) = A \cdot k^2 \cdot e^{-k \cdot x}$ <p>Einsetzen in die Schrödinger-Gleichung (mit <math>W_{\text{pot}} = U_0</math> innerhalb der Wände des Potentialtopfes):</p> $A \cdot k^2 \cdot e^{-k \cdot x} + \frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (W - U_0) \cdot A \cdot e^{-k \cdot x} = 0$ $\Rightarrow k^2 + \frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (W - U_0) = 0 \Rightarrow k = \sqrt{\frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (U_0 - W)}$ <p>Der Ansatz <math>\psi_{\text{Wand}}(x) = A \cdot e^{-k \cdot x}</math> erfüllt die Schrödinger-Gleichung wenn <math>U_0 \geq W</math>, also die Energie des Elektrons kleiner als die Höhe der Potentialwand ist.</p> <p><i>Interpretation von <math>\psi_{\text{Wand}}(x) = A \cdot e^{-k \cdot x}</math> und von <math>k</math>:</i></p> <p>Die Funktion <math>\psi_{\text{Wand}}(x) = A \cdot e^{-k \cdot x}</math> für <math>x \geq L</math> beschreibt das Eindringen der Wellenfunktion in die Potentialwand, also in den Bereich, in den klassische Teilchen nicht eindringen können. Die Wellenfunktion nimmt exponentiell mit der Eindringtiefe ab. Dies hat zur Folge, dass die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons exponentiell mit der Eindringtiefe abnimmt.</p> <p>Die Größe <math>k</math> gibt die Geschwindigkeit der exponentiellen Abnahme der Wellenfunktion mit der Eindringtiefe an. Aus dem Ausdruck <math>k = \sqrt{\frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (U_0 - W)}</math> folgt, dass die exponentielle Abnahme mit der</p>		10	
			5
			5

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung		
	I	II	III
<p>Eindringtiefe umso schneller erfolgt, je größer die Differenz zwischen der Höhe der Potentialwand und der Energie des Elektrons ist.</p> <p><i>Beschreibung und Begründung der Wellenfunktionen für die ungebundenen Zustände:</i></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> <p>Sie ist identisch mit Abbildung 2 in Aufgabe 2.</p> </div> <p>(Quelle: <a href="http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de">http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de</a>)</p> <p>Die Wellenfunktionen für die ungebundenen Zustände erstrecken sich über den gesamten Raum. Das Elektron kann sich überall (sowohl im Inneren des Potentialtopfes als auch an einer beliebigen Stelle über der Potentialwand) befinden.</p> <p>Die Wellenfunktion kann für den ganzen Raum (Abschnittsweise) durch Sinus- oder Kosinusfunktionen beschrieben werden. Das Potential ist Abschnittsweise konstant. Für Energien oberhalb des Potentials ergeben sich hieraus aus der Schrödinger-Gleichung Abschnittsweise Sinus- und Kosinusfunktionen.</p> <p>Die Wellenlänge der Wellenfunktion ändert sich Abschnittsweise. Innerhalb des Potentialtopfes ist die kinetische Energie größer und somit die Wellenlänge kleiner als oberhalb der Potentialwand.</p>			5
Verteilung der insgesamt <b>50</b> Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>15</b>

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.	<p>Für Nachweis und quantitative Messung der Strahlung gibt es viele Arten von Detektoren. Die Schülerinnen und Schüler können hier z. B. Elektroskop (Curie Methode), Ionisationskammer, Nebelkammer, Blaskammer, Szintillationszähler, Geiger-Müller-Zählrohr, Halbleiterzähler, Filmdosimeter, Stabdosimeter, usw. nennen.</p> <p>Die Mess- bzw. Nachweismethoden beruhen darauf, dass hier ionisierende Strahlung gemessen bzw. nachgewiesen wird. Je nach Detektorart macht man sich verschiedene Wechselwirkungsmechanismen zunutze. Diese sollten von den Schülerinnen und Schülern erläutert werden.</p>	4	2	
b.	${}^{134}_{55}\text{Cs} \xrightarrow{\beta^- \text{-Zerfall}} {}^{134}_{56}\text{Ba} + e^- + \bar{\nu}$ ${}^{137}_{55}\text{Cs} \xrightarrow{\beta^- \text{-Zerfall}} {}^{137m}_{56}\text{Ba} + e^- + \bar{\nu}$ ${}^{137m}_{56}\text{Ba} \xrightarrow{\gamma \text{-Zerfall}} {}^{137}_{56}\text{Ba} + \gamma$ <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p>Die Abbildung der Energien im Energieveauschema wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> </div> <p>Auf Grund der Informationen aus der Tabelle kann man folgern, dass das <math>{}^{134}\text{Cs}</math>-Nuklid ein Betazerfall erleiden muss, wobei unterer Abgabe von 2,059 MeV Energie <math>{}^{134}\text{Ba}</math> entsteht. Die meisten der <math>{}^{137}\text{Cs}</math>-Nuklide zerfallen erstmals in dem metastabilen <math>{}^{137m}\text{Ba}</math>-Nuklid. Dieses stabilisiert sich unter Abstrahlung eines Gammaquantums (die „geschlängelte“ Linie) der Energiemenge von 0.664 MeV.</p> <p>Im Kopf des Messgerätes befindet sich ein gegen äußeren Lichteinfall geschützter Szintillator, in dem durch die ionisierende Strahlung (indirekt) mehrere Lichtblitze ausgelöst werden, deren Anzahl von der Energie der einfallenden Strahlung abhängt. Diese sehr schwachen Lichtblitze setzen aus der Photokathode des dahinter angebrachten Photomultipliers Elektronen frei. Diese Elektronen werden durch Stöße an den Elektroden im Photomultiplier lawinenartig vervielfacht. An der Anode kann dann ein gut messbarer Stromimpuls abgenommen werden.</p> <p>Da die Amplitude des Stromimpulses von der Energie der einfallenden Strahlung abhängig ist und die Nuklide eine gut definierte Energiemenge abstrahlen, sind die untersuchten Elemente eindeutig identifizierbar.</p> <p>Geladene Teilchen, beispielsweise Alpha- oder Betastrahlung, haben in Materie jeweils eine bestimmte Reichweite, die von Teilchenart, Teilchenenergie und dem Material abhängt. Eine Abschirmung, die dicker ist, unterdrückt die einfallende Strahlung vollständig.</p> <p>Hochenergetische elektromagnetische Strahlung wie Gammastrahlung wird in Materie annähernd exponentiell abgeschwächt. Sie hat daher keine bestimmte Reichweite, stattdessen kann ihre Verringerung durch eine von</p>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung																							
		I	II	III																					
<p>Quantenenergie und Material abhängige Halbwertsdicke beschrieben werden.</p> <p>Die Anzüge können Alpha- und Betastrahlung weitgehend abschirmen, sind aber wenig effektiv in Bezug auf Gammastrahlung.</p> <p>Aus <math>N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}</math> und <math>A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t)</math> folgt <math>A(t) = N(t) \cdot \lambda</math></p> $N_0 = \frac{A_0}{\lambda} = \frac{227 \cdot 10^3 \frac{1}{s}}{\frac{\ln(2)}{30,17a}} \approx 3,118 \cdot 10^{14} \text{ Teilchen oder}$ <p><math>m \approx 5,178 \cdot 10^{-13} \text{ mol} \approx 7,09 \cdot 10^{-5} \text{ ng}</math> in litate (Japan).</p> $N(t) = \frac{A(t)}{\lambda} = \frac{7,2 \cdot 10^3 \frac{1}{s}}{\frac{\ln(2)}{30,17a}} \approx 9,89 \cdot 10^{12} \text{ Teilchen mit } t = 2011 - 1986 = 25 \text{ a}$ <p>folgt <math>N_0 = \frac{N(t)}{e^{-\lambda t}} = \frac{9,89 \cdot 10^{12}}{e^{-\frac{\ln(2)}{30,17a} \cdot 25a}} \approx 1,76 \cdot 10^{13} \text{ Teilchen in Tschernobyl.}</math></p> <p><math>N(\text{Tschernobyl}) / N(\text{Fukushima}) = 0,056</math> die Cs-Kontamination in Tschernobyl ist nur ein Bruchstück der Menge die in Fukushima emittiert wurde.</p>		4	12	6																					
c.	<p>Ein möglicher Lösungsweg wäre:</p> <table border="1"> <tr> <td>t in s</td> <td>0</td> <td>80</td> <td>160</td> <td>240</td> <td>320</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Z in s<sup>-1</sup></td> <td>195</td> <td>136</td> <td>93</td> <td>66</td> <td>46</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>ln(Z/Z(0))</td> <td>0</td> <td>-0,36</td> <td>-0,74</td> <td>-1,08</td> <td>-1,44</td> <td>-1,81</td> </tr> </table>  <p>Der halblogarithmische Graph ist eine Gerade mit negativer Steigung. Dies bestätigt die Annahme der exponentiellen Abnahme. Die Zerfallskonstante ist wegen <math>\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -\lambda \cdot t</math> die Steigung der Gerade <math>y = -0,0045 \cdot x</math> gleich</p> <p>und somit <math>\lambda = 0,0045 \text{ s}^{-1}</math>. Die Halbwertszeit beträgt <math>T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \approx 154,0 \text{ s}</math>.</p> <p>Jede Auswertung mit Hilfe eines Taschenrechners ist erlaubt, wenn das Verfahren hinreichend beschrieben wird.</p>	t in s	0	80	160	240	320	400	Z in s <sup>-1</sup>	195	136	93	66	46	32	ln(Z/Z(0))	0	-0,36	-0,74	-1,08	-1,44	-1,81		4	2
t in s	0	80	160	240	320	400																			
Z in s <sup>-1</sup>	195	136	93	66	46	32																			
ln(Z/Z(0))	0	-0,36	-0,74	-1,08	-1,44	-1,81																			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
d.	<p>Alphastrahlung ist ionisierend und erzeugt in der Luft Ion-Elektron-Paare. Mit zunehmender Spannung steigt die Anzahl der Ladungsträger, die die Elektrode erreichen. Ab 200V etwa erreichen alle vom radioaktiven Präparat erzeugten Ladungsträger (Ionen und Elektronen) die Elektroden.</p> <p>Im Sättigungsbereich ist die Stromstärke unabhängig von der angelegten Spannung. Die Stromstärke ist im Sättigungsbereich einzig von der Zahl der Ladungsträger, die von der radioaktiven Strahlung erzeugt werden, abhängig. Die Zahl der erzeugten Ladungsträger charakterisiert die Stärke eines radioaktiven Präparates.</p> <p>Ein <math>\alpha</math>-Teilchen verursacht im Mittel <math>n</math> Ionisationen. Es gilt:  <math display="block">n = \frac{4,5 \cdot 10^6 \text{ eV}}{35 \text{ eV}} = 1,3 \cdot 10^5</math>                     bei jeweils einfacher Ionisation entstehen <math>2n</math> Ladungsträger. Also erzeugt ein <math>\alpha</math>-Teilchen im Mittel <math>2,6 \cdot 10^5</math> Ladungsträger.</p> <p>Die Stromstärke ist durch <math>I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}</math> gegeben. Für die Ladung gilt <math>\Delta Q = n \cdot e</math>.</p> <p>Also folgt: <math>n = \frac{\Delta t \cdot I}{e} = \frac{1 \text{ s} \cdot 1,45 \cdot 10^{-10} \text{ A}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 9,1 \cdot 10^8</math>.</p> <p>Diese entstehen durch <math>\frac{9,1 \cdot 10^8}{2,6 \cdot 10^5} = 3500</math> <math>\alpha</math>-Teilchen.</p>	2	5	5
e.	<p>Da sich Teilchen und Antiteilchen vor der Zerstrahlung im Ruhezustand befanden, war der Gesamtimpuls des Systems gleich Null. Hätten <math>\gamma</math>-Quanten keinen Impuls wäre die Abstrahlung eines Photons zulässig. Wegen <math>\lambda = \frac{h}{p}</math> besitzen die <math>\gamma</math>-Quanten aber einen von der Wellenlänge abhängigen Impuls. Um auf den Gesamtimpuls Null zu kommen, müssen zwei Photonen mit entgegengesetztem Impuls ausgestrahlt werden.</p>		2	2
Verteilung der insgesamt <b>50</b> Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		<b>10</b>	<b>25</b>	<b>15</b>

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))