

Aufgabe 1

Themenbereich: Wellenoptik

Bereits Ende des 17. Jahrhunderts werden optische Geräte wie das Fernrohr und das Mikroskop entwickelt. Zu dieser Zeit beginnt auch die Auseinandersetzung um die Natur des Lichts mit Newton und Huygens als berühmteste Vertreter der Teilchen- bzw. Wellentheorie.

1.a

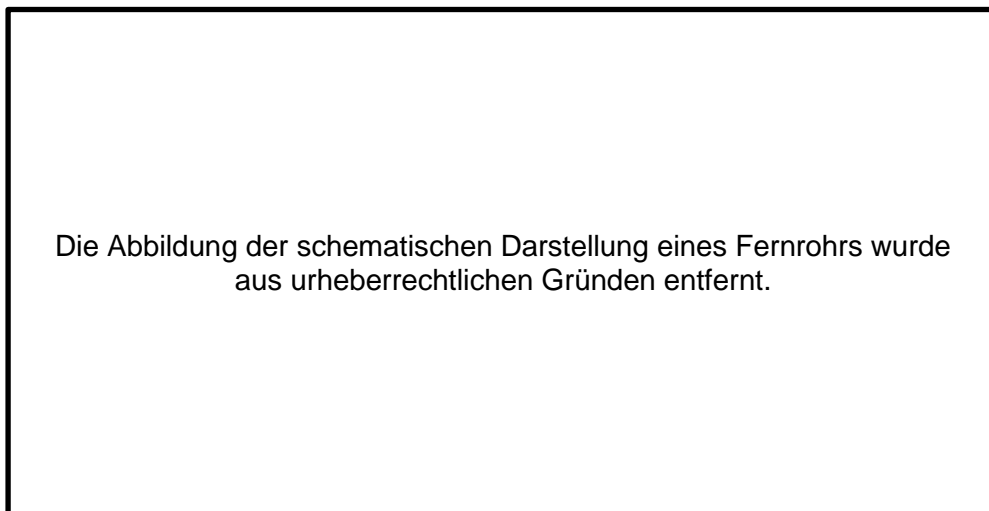


Abbildung 1: Klett 2006, Impulse Physik Mittelstufe, S.66

In Abbildung 1 ist ein Fernrohr dargestellt.

- Erläutern Sie die Funktionsweise eines Fernrohres. Gehen Sie dabei auf die Wirkung der Brennweiten des Objektivs bzw. des Okulars für die Vergrößerung ein.

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. (Hinweis: Benutzen Sie die Näherung für kleine Winkel)
- Bestimmen Sie den Abstand y zwischen dem zentralen Maximum und dem ersten Beugungsminimum auf einem $l = 8 \text{ m}$ entfernten Schirm.

Nun werden zwei Lichtquellen (mit Wellenlängen von je $\lambda = 700 \text{ nm}$) in einer Entfernung $l = 10 \text{ m}$ vor die Öffnung gestellt.

- Bestimmen Sie den Mindestabstand y der Lichtquellen, damit sie aufgrund ihres Beugungsmusters noch aufgelöst werden können.

(20 Punkte)

1.b

- Erläutern Sie das Zustandekommen von Interferenz anhand von Abbildung 2.

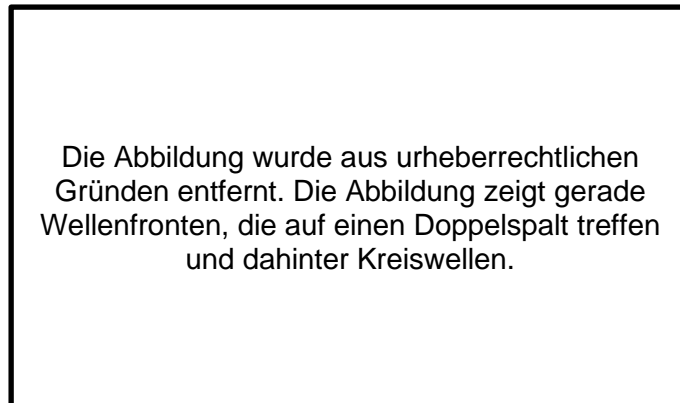


Abbildung 2: Bild entnommen und verändert aus: lightframefx.de am 6.6.2017

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.

(15 Punkte)

1.c 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.

(15 Punkte)

Aufgabe 2

Themenbereich: Photonen als Quantenobjekte

- 2.a In einer Röntgenröhre werden Elektronen mit einer Spannung U von 30 kV beschleunigt und treffen auf eine Anode aus Kupfer (vgl. Abbildung 1). Das Spektrum der dabei emittierten Röntgenstrahlung wird anschließend mit Hilfe eines drehbar gelagerten Lithiumfluorid (LiF) - Kristalls und einem Zählrohr analysiert.

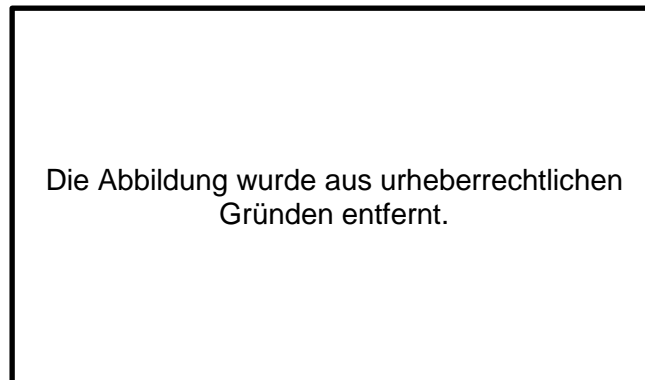


Abbildung 1: Die von einer Röntgenröhre erzeugte Strahlung trifft auf einen drehbar gelagerten LiF-Kristall. Mit einem Zählrohr wird die Intensität der Strahlung registriert. (Quelle: Fokus Physik SII, 2014, S. 161)

- Skizzieren Sie in einem geeigneten Diagramm den prinzipiellen Verlauf des Spektrums der Röntgenstrahlung.
- Beschreiben Sie die wesentlichen Eigenschaften des Spektrums der Röntgenstrahlung in ganzen Sätzen.
- Beschreiben Sie die Unterschiede und Gemeinsamkeiten eines Röntgenspektrums, das mit einer höheren Beschleunigungsspannung erzeugt wird.

Der oben beschriebene Versuch ist gut geeignet, die Quanteneigenschaften der Röntgenstrahlung zu demonstrieren.

- Erklären Sie die Entstehung der Röntgenstrahlung im Rahmen der klassischen Wellenvorstellung elektromagnetischer Strahlung.
- Begründen Sie, dass das beobachtete Spektrum nicht mit der klassischen Wellenvorstellung elektromagnetischer Strahlung erklärt werden kann, sondern die Annahme von Teilcheneigenschaften der Röntgenstrahlung erfordert.
- Begründen Sie auch, dass der Versuch nicht mit einer Vorstellung von Röntgenphotonen als klassischen Teilchen erklärt werden kann.

Für verschiedene Beschleunigungsspannungen U wurde jeweils die Grenzwellenlänge λ_{\min} bestimmt:

U in kV	30	50	100
λ_{\min} in pm	41	25	12

- Bestimmen Sie hieraus den Wert des Planck'schen Wirkungsquantums.

(38 Punkte)

- 2.b Röntgenstrahlung ist gut geeignet, um die Struktur von Kristallen zu untersuchen. Ein Lithiumfluorid-Kristall wird längs seiner Kristallachse von Röntgenstrahlen durchstrahlt (vgl. Abbildung 2). Hinter dem Kristall befindet sich eine Fotoplatte. Auf der Fotoplatte entsteht ein Muster, aus dem Rückschlüsse auf die Struktur des Kristalls gezogen werden können.

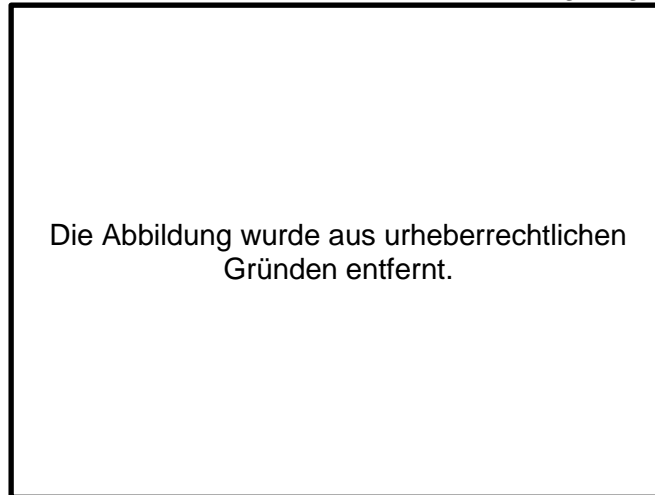


Abbildung 2: Ein LiF-Kristall wird längs seiner Kristallachse von Röntgenstrahlung durchstrahlt. Hinter dem Kristall befindet sich eine Fotoplatte. (Quelle: Impulse Physik Oberstufe, 2016, S. 295, modifiziert)

- Begründen Sie, dass Röntgenstrahlung gut für die Untersuchung der Struktur von Kristallen geeignet ist, sichtbares Licht hingegen nicht.

Bei einer geringen Intensität der Röntgenstrahlung und bei einer kurzen Belichtungsdauer sind auf der Fotoplatte nur einzelne geschwärzte Punkte zu erkennen, die scheinbar willkürlich verteilt sind (ohne Abbildung). Bei einer höheren Intensität und/oder längeren Belichtungsdauer entsteht das in Abbildung 3 gezeigte Muster.

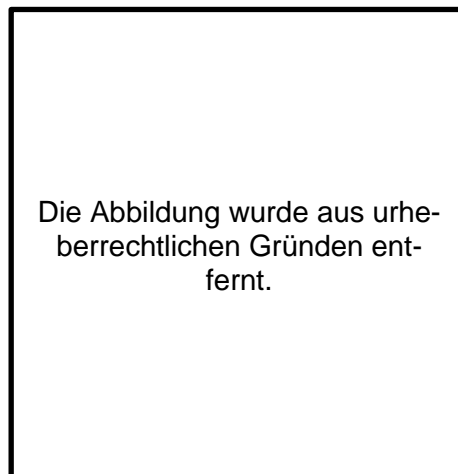


Abbildung 3: Laue-Diagramm eines LiF-Kristalls. (Quelle: www.uni-ulm.de)

- Erklären Sie diesen Sachverhalt und nehmen Sie dabei Bezug auf die Eigenschaften von Quantenobjekten.

(12 Punkte)

Aufgabe 3

Themenbereich: Radioaktive Strahlung und Zerfallsgesetz

Radioaktive Strahlung ist nicht fühlbar oder sichtbar. Der Nachweis oder die Messung radioaktiver Strahlung gehört heute aber fest zu unserem Alltag. Hierbei wird die Wirkung radioaktiver Strahlung auf Materie genutzt.

3.a

- Nennen Sie drei unterschiedliche 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.

(8 Punkte)

Ein Weinhändler verkauft einen sehr teuren Rotwein. Er behauptet, dass er die Flasche Rotwein vor sieben Jahren abgefüllt und verschlossen hat. Der Wein enthält viele verschiedene Atome, darunter befinden sich Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff. Diese weisen geringe Anteile an radioaktiven Nukliden auf, z. B.: $^{15}_8\text{O}$ (Halbwertszeit 122,2 s; β^+ -Strahler (2,754 MeV)), $^{14}_6\text{C}$ (Halbwertszeit 5730 a; β^- -Strahler (0,157 MeV)) und ^3_1H (Halbwertszeit 12,33 a; β^- -Strahler (0,019 MeV)). Die Aktivität jedes dieser Isotope ist zum Zeitpunkt des Verschlusses der Flasche bekannt.

3.b

- Für die Messung der Strahlung wurde ein Geiger-Müller-Zählrohr verwendet. Skizzieren Sie den Aufbau und erläutern Sie die Funktionsweise des Zählrohres.
- Geben Sie die Zerfallsgleichungen für die oben genannten Nuklide an und stellen Sie die Zerfälle in einem geeigneten Ausschnitt eines Neutronenzahl-Kernladungszahl-Diagramms dar.
- Die Anzahl der nach 7 Jahren noch nicht zerfallenen Atome eines bestimmten radioaktiven Isotops ist N . Die Anzahl der ursprünglich vorhandenen radioaktiven Atome ist N_0 . Bestimmen Sie das Verhältnis N/N_0 für $^{15}_8\text{O}$, $^{14}_6\text{C}$ und ^3_1H .
- Beurteilen Sie, ob alle drei Isotope geeignet wären, um das vom Weinhändler angegebene Alter des Weines zu überprüfen.
- Da Tritium und Radiocarbon beides β^- -Strahler sind, lassen sich die einzelnen Zerfälle nicht so leicht den Atomen zuordnen. Erläutern Sie, mit Hilfe welcher Eigenschaft sich die Aktivitäten von Tritium (^3_1H) und Radiokarbon ($^{14}_6\text{C}$) trotzdem unterscheiden lassen.

(22 Punkte)

Ein bedeutender Anteil der natürlichen terrestrischen Radioaktivität rührt von Alphazerfällen des Edelgases Radon her. Radon dringt aus dem Untergrund durch Risse und Spalten im Fundament in Gebäude ein. Aus gesundheitlichen Gründen wird empfohlen, dass bei regelmäßig durchgeführten Messungen die durchschnittliche Belastung mit $^{222}_{86}\text{Rn}$ unter $100 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ gehalten werden soll.

3.c

- Erläutern Sie den Begriff „Nulleffekt“ im Hinblick auf die durchgeführte Messung.
- Geben Sie drei mögliche Ursachen für den Nulleffekt an.
- Erläutern Sie, was die Angabe $100 \frac{Bq}{m^3}$ bedeutet und berechnen Sie mit Hilfe der Halbwertszeit die Anzahl der ${}^{222}_{86}Rn$ Kerne, die in einem Kubikmeter Raumluft durchschnittlich enthalten sind.
- Das Atemzugvolumen eines Erwachsenen bei ruhiger Atmung beträgt etwa $7,5 \text{ l}$ pro Minute. Ermitteln Sie die Gesamtzahl der ${}^{222}_{86}Rn$ Zerfälle in einer menschlichen Lunge im Laufe eines Jahres. Berücksichtigen Sie dabei, dass die angegebene Belastung von $100 \frac{Bq}{m^3}$ zeitlich konstant bleibt.
- Berechnen Sie die durch die α -Teilchen so übertragene Energiemenge in der Lunge im Laufe eines Jahres. Geben Sie den berechneten Wert in der Einheit Joule an. Die kinetische Anfangsenergie eines α -Teilchens entnehmen Sie der Isotopentafel.

(20 Punkte)

Schriftliche Abiturprüfung 2018 im dritten Prüfungsfach

Grundkurs 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 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

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<p>Beim Fernrohr dient eine Sammellinse als Objektiv mit deren Hilfe ein Zwischenbild erzeugt wird. Es ist ein reelles, umgekehrtes und verkleinertes Bild. Je größer die Brennweite des Objektivs desto größer wird das Zwischenbild. Das Zwischenbild wird mit einer zweiten Sammellinse/Lupe als Okular bezeichnet betrachtet und vergrößert. Je kleiner die Brennweite des Okulars desto größer die Vergrößerung. Das Fernrohr bewirkt eine Vergrößerung des Seh winkels.</p> <p>Der Winkel θ, 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> $y = l \cdot \theta = 6,83 \text{ cm} .$ <p>Damit Auflösung möglich ist, muss der Abstand zwischen den beiden Lichtquellen nach dem Rayleigh-Kriterium mindestens</p> $\alpha_k = \frac{1,22\lambda}{d} = 8,54 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \text{ betragen.}$ <p>Dabei beträgt ihr Abstand in einer Entfernung von $l = 10 \text{ m}$</p> $y = l \cdot \alpha_k = 8,54 \text{ cm}$	6	12	2
b.	<p>Eine ebene Wellenfront trifft auf ein aus nur drei Spalten bestehendes Gitter. Von jedem der Spalte gehen kohärente Kugelwellen aus, deren Überlagerung, aufgrund der Gangunterschiede, ein Interferenzmuster ergibt. Die Richtungen der Maxima sind als drei helle Streifen zu erkennen.</p> <p>Berechnung der Richtung der ersten Maxima ($n=1,2,3$) für Abstand der Spaltmitten $d = 2 \text{ cm}$ und der Wellenlänge $\lambda = 0,5 \text{ cm}$.</p> $\sin(\alpha_n) = \frac{n\lambda}{d}$ $\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{1\lambda}{d}\right) = 14,5^\circ \text{ und } \alpha_2 = \arcsin\left(\frac{2\lambda}{d}\right) = 30^\circ \text{ und } \alpha_3 = 48,6^\circ$			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<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>Metzler 2007 Grehn, Krause (Hrsg.) Physik S.297</p> <p>Den Gangunterschied Δs kann man in der Abbildung den rechtwinkligen Dreiecken ablesen. Ist der Gangunterschied Null oder ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge bilden sich Maxima $\Delta s = n\lambda$ mit $(n=0,1,2\dots)$.</p> <p>Den Zusammenhang zwischen dem Gangunterschied und dem dazugehörigen Winkel kann man aus der Zeichnung mit $\sin \alpha_n = \frac{n\lambda}{g}$ ablesen.</p> <p>Hinweis: Die Gitterkonstante ist in den Zeichnungen dieser Lösung mit g in der Aufgabenstellung im Einklang mit der Formelsammlung aber mit d bezeichnet.</p>	4	5	6
c.	<p>Material: 2 Polarisationsfilter sowie Sonnenlicht (z.B. durch ein Loch in einer Raumabdunkelung)</p> <p>Versuchsaufbau: Beide Polarisationsfilter werden gemeinsam vor das Loch in der Raumabdunkelung gehalten.</p> <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>	5	8	2
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		15	25	10

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><i>Skizze des Spektrums der Röntgenstrahlung:</i> Intensität oder Zählrate als Funktion der Frequenz, Wellenlänge oder des Glanzwinkels. Es sollte die Grenzfrequenz bzw. die Grenzwellenlänge und die charakteristische Röntgenstrahlung erkennbar sein. Die genaue Lage der Maxima der charakteristischen Strahlung muss nicht wiedergegeben werden.</p> <p><i>Beschreibung der wesentlichen Eigenschaften des Röntgenspektrums:</i> Es sollte sowohl die kurzwellige Grenze der Röntgenstrahlung als auch die charakteristische Röntgenstrahlung beschrieben werden.</p> <p><i>Beschreibung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Röntgenspektren bei unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen:</i> Die kurzwellige Grenze der Röntgenstrahlung verschiebt sich. Bei einer höheren Beschleunigungsspannung werden kürzere Wellenlängen erreicht. Die Maxima der charakteristischen Röntgenstrahlung ändern ihre Lage nicht. Die Intensität der Röntgenstrahlung nimmt bei einer Erhöhung der Spannung insgesamt zu.</p> <p><i>Erklärung der Röntgenstrahlung im Rahmen der klassischen Wellenvorstellung:</i> Die beschleunigten Elektronen werden beim Auftreffen auf die Kupferanode stark abgebremst. Somit findet eine Beschleunigung elektrischer Ladungen statt. Bei einer Beschleunigung elektrischer Ladungen wird eine elektromagnetische Strahlung emittiert. In diesem Sinne kann die Röntgenstrahlung als Bremsstrahlung aufgefasst werden.</p> <p><i>Begründung der Teilcheneigenschaften der Röntgenstrahlung:</i> Die kurzwellige Grenze der Röntgenstrahlung kann nicht im Rahmen der klassischen Wellenvorstellung elektromagnetischer Strahlung erklärt werden. Gemäß der klassischen Theorie müssten auch sehr kurze Wellenlängen im Spektrum zu finden sein, wenn auch mit abnehmender Intensität. Die kurzwellige Grenze des Röntgenspektrums kann mit der Annahme von Röntgenphotonen als Teilchen erklärt werden. Die kinetische Energie der beschleunigten Elektronen wird beim Auftreffen auf die Anode zum Teil an die Kupferanode und zum Teil an ein Röntgenphoton abgegeben. Dabei gibt ein Elektron seine Energie an nur ein Röntgenphoton ab und ein Röntgenphoton erhält nur von einem Elektron Energie. Im Grenzfall gibt ein Elektron seine gesamte Energie an ein Röntgenphoton ab. Die maximale Energie eines Röntgenphotons ist somit die in der Beschleunigungsspannung erreichte kinetische Energie eines Elektrons. Mit der Energie eines Röntgenphotons ist eine bestimmte Wellenlänge verbunden. Die Wellenlänge der Röntgenphotonen maximaler Energie ist die Wellenlänge der kurzwelligen Grenze des Röntgenspektrums. Die Teilchenvorstellung wird auch durch die als Zählrate am Zählrohr registrierte Intensität unterstützt.</p> <p><i>Begründung: Es kann sich auch nicht um klassische Teilchen handeln:</i> Die Analyse des Spektrums der emittierten Röntgenstrahlung wird mit Hilfe eines drehbar gelagerten Kristalls durchgeführt. An diesem Kristall findet eine Bragg-Reflexion statt. Dabei führt die Interferenz der an den unterschiedlichen Kristallebenen reflektierten elektromagnetischen Strahlung da-</p>	4		
		4		
		4		
			4	
				8

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<p>zu, dass nur bei bestimmten Glanzwinkeln eine Reflexion beobachtbar ist. Interferenzerscheinungen sind nicht mit der Vorstellung klassischer Teilchen vereinbar.</p> <p><i>Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums:</i> Die kinetische Energie der Elektronen ist $E_{kin} = e \cdot U$</p> <p>Die Energie der Röntgenphotonen ist $E_{ph} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$</p> <p>Somit ergibt sich für die kurzwellige Grenze:</p> $E_{kin} \geq E_{ph} \Leftrightarrow e \cdot U \geq \frac{h \cdot c}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda_{min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U}$ <p>Für das Planck'sche Wirkungsquantum ergibt sich somit:</p> $h = \frac{\lambda_{min} \cdot e \cdot U}{c}$ <p>Mit den gegebenen Werten ergibt sich: $h_{30\text{ kV}} \approx 6,573 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, $h_{50\text{ kV}} \approx 6,680 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, $h_{100\text{ kV}} \approx 6,413 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ und im Mittel $h \approx 6,555 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$.</p> <p>Aus den gegebenen Werten ergibt sich für das Planck'sche Wirkungsquantum ein Wert von ca. $6,56 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$.</p>			5
b.	<p><i>Begründung: Röntgenstrahlen sind für Kristallstrukturuntersuchungen besser geeignet als sichtbares Licht:</i> Die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes ist viel zu groß um die Struktur der Kristalle aufzulösen. Die Wellenlängen der Röntgenstrahlung liegen in derselben Größenordnung wie die Abstände der Netzebenen im Kristall. Somit lassen sich die Strukturen von Kristallen mit Röntgenstrahlung auflösen.</p> <p><i>Erklärung der Entstehung des Musters auf der Fotoplatte:</i> Auf der Fotoplatte werden einzelne Röntgenphotonen nachgewiesen. Daher sind bei geringer Intensität und kurzer Belichtungsdauer einzelne geschwärzte Punkte zu erkennen. Erst nach dem Auftreffen vieler Röntgenphotonen wird ein Interferenzmuster erkennbar. Die Photonen können auf dem Weg von der Röntgenröhre zur Fotoplatte durch so genannte Wellenfunktionen beschrieben werden. Die durch diese Funktion beschriebenen Wellen werden an den verschiedenen Netzebenen reflektiert und es kann zur Interferenz der an den verschiedenen Netzebenen reflektierten Anteile kommen. Entsprechend führt die Wellenfunktion beim Auftreffen auf die Fotoplatte ein Interferenzmuster mit. Bei der Wechselwirkung der Röntgenphotonen mit der Fotoplatte bestimmt das Amplitudenquadrat der Wellenfunktion die Auftreffwahrscheinlichkeit auf der Fotoplatte. Das beobachtbare Interferenzmuster begründet sich in der Wahrscheinlichkeitsverteilung des Auftreffens auf der Fotoplatte. (Anmerkung: Der Begriff Wellenfunktion muss nicht genannt werden.)</p>	3	1	
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		15	25	10

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>	6	2	
b.	<p>Ein Lösungsvorschlag für den Aufbau:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> </div> <p>Das Zählrohr besteht aus einem gasgefüllten Metallrohr, in dem sich ein für die radioaktive Strahlung weitgehend durchlässiges Fenster befindet. Im Inneren des Metallrohres verläuft ein Metalldraht. Zwischen Metalldraht und Rohr wird eine äußere Spannung angelegt. Das Rohr wird mit einem Edelgas gefüllt (z.B. Argon oder Xenon). Ein radioaktives Teilchen führt zur Ionisation eines oder mehrere Füllgasatome. Wegen der äußeren Spannung bewegen sich die so erzeugten Ladungsträger und es wird eine Gasentladung induziert. Dadurch kommt es zu einem Stromstoß im Zählrohr, der durch Abgriff an einem äußeren Widerstand in einen Spannungsimpuls umgeformt und elektronisch weiterverarbeitet wird. Häufig erfolgt eine akustische Darstellung in Form eines „Knackens“ in einem Lautsprecher.</p> ${}^3_1\text{H} \xrightarrow{\beta^- \text{-Zerfall}} {}^3_2\text{He} + e^- + \bar{\nu}$ ${}^{13}_6\text{C} \xrightarrow{\beta^- \text{-Zerfall}} {}^{13}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}$ ${}^{15}_8\text{O} \xrightarrow{\beta^+ \text{-Zerfall}} {}^{15}_7\text{N} + e^+ + \nu$ <p>Der Mutterkern wird hellgrau hinterlegt der Tochterkern dunkelgrau.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt. Sie zeigt eine Sortierung der Kerne nach Neutronenzahl (x-Achse) und Kernladungszahl (y-Achse).</p> </div>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
$N = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} \text{ also gilt } \frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$ <p>Für $^{15}_8\text{O}$ gilt $\frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\ln 2}{122,2 \text{ s}} \cdot 7 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} \approx 0$</p> <p>Für $^{14}_6\text{C}$ gilt $\frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\ln 2}{5730 \text{ a}} \cdot 7 \text{ a}} \approx 0,9992 = 99,92 \%$</p> <p>Für ^3_1H gilt $\frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\ln 2}{12,33 \text{ a}} \cdot 7 \text{ a}} \approx 0,6747 = 67,47 \%$</p> <p>Im Falle von O-15 ist die Halbwertszeit verglichen mit 7 Jahren sehr klein, sodass nach dieser Zeitspanne die Aktivität kaum noch messbar ist.</p> <p>Im Falle von C-14 ändert sich bei der Halbwertszeit von 5730 Jahren die Aktivität des Isotops im Intervall von 7 Jahren nur unwesentlich. Wollte man daraus auf das Alter der Weinprobe schließen, dann müsste man diese ganz geringe Änderung mit höchster Genauigkeit messen können.</p> <p>Es bleibt das H-3-Isotop übrig, dessen Halbwertszeit von gleicher Größenordnung wie die zu erwartende Zeitspanne ist. Die Änderung dieser Aktivität ist gut messbar.</p> <p>Jedes Isotop hat ein typisches Energiespektrum, anhand dessen es identifiziert werden kann.</p> <p>Um die Aktivitäten von Tritium und Radiokarbon zu unterscheiden müsste man die Energiespektren der ausgesandten Strahlungen messen.</p>		5	12	5
c.	<p>Nulleffekt oder Nullrate wird die Anzeige eines Teilchen- oder Strahlendetektors bezeichnet, die bei Abwesenheit der eigentlichen zu messenden Strahlung auftritt.</p> <p>Die Strahlung, die so gemessen wird ist, auch als Hintergrundstrahlung bekannt. Diese setzt sich aus natürlicher und aus künstlicher Hintergrundstrahlung zusammen.</p> <p>Zur natürlichen Hintergrundstrahlung tragen zum Beispiel bei: terrestrische Strahlung, Radon aus Untergrundgestein, natürliche Radioaktivität in Baumaterialien und im menschlichen Körper (K-40, C-14 z.B.) primäre und sekundäre kosmische Strahlung.</p> <p>Zur künstlichen Hintergrundstrahlung gehört: Edelgase aus kerntechnischen Anlagen, Restaktivität aus den Reaktorunfällen (Tschernobyl oder Fukushima), Radioaktivität von Kernwaffentests usw.</p> <p>Die Angabe $100 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ ist die Aktivität von $^{222}_{86}\text{Rn}$. Die Aktivität oder Zerfallsrate einer radioaktiven Stoffmenge ist die Anzahl der Kernzerfälle pro Zeitintervall. Die SI-Einheit der Aktivität ist Becquerel (Bq). 1 Bq entspricht einem Kernzerfall pro Sekunde. Somit entspricht $100 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} = 100$ Kernzerfälle pro Sekunde in einem Kubikmeter Luftvolumen.</p>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze	Bewertung		
	I	II	III
<p>Aus der Formelsammlung ist zu entnehmen:</p> $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \cdot N(t) \text{ und } A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{ folgt } A_0 \cdot e^{-\lambda t} = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ $N_0 = \frac{A_0}{\lambda} = \frac{A_0}{\frac{\ln(2)}{T_{1/2}}} = \frac{100 \text{ Bq} / \text{m}^3}{\frac{\ln(2)}{3,824 \text{ d}}} = 4,76 \cdot 10^7 \text{ Teilchen/m}^3$ <p>Eine menschliche Lunge wird somit mit maximal</p> $7,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \text{ min} \cdot 4,76 \cdot 10^7 \frac{\text{Teilchen}}{\text{m}^3} = 1,8788 \cdot 10^{11} \text{ Teilchen in}$ <p>Berührung kommen.</p> <p>Es wird maximal $1,8788 \cdot 10^{11} \cdot 5,49 \text{ MeV} \approx 1,0314612 \cdot 10^{18} \text{ eV} \approx 0,165 \text{ J}$ Energie auf das Lungengewebe übertragen.</p>	4	11	5
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche	15	25	10

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))