



**ILLUSTRIERENDE PRÜFUNGSAUFGABEN
FÜR DIE SCHRIFTLICHE ABITURPRÜFUNG**

Teil 2: Erläuterungen und Lösungsvorschläge

Die Illustrierenden Prüfungsaufgaben (Teil 1: Beispielaufgaben, Teil 2: Erläuterungen und Lösungsvorschläge) dienen der einmaligen exemplarischen Veranschaulichung von Struktur, Anspruch und Niveau der Abiturprüfung auf grundlegendem bzw. erhöhtem Anforderungsniveau im neunjährigen Gymnasium in Bayern.

Physik
grundlegendes Anforderungsniveau

Erläuterungen und Lösungsvorschläge

Bewertungsschlüssel und Erwartungshorizont

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der jeweils am rechten Rand der Aufgabenstellung vermerkten, maximal erreichbaren Anzahl von Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

Für jede Teilaufgabe sind die Anforderungsbereiche und die Standards ausgewiesen, die für die Bearbeitung eine wesentliche Rolle spielen.

Die von einem Prüfling insgesamt erreichten Bewertungseinheiten werden gemäß folgender Tabelle in Notenpunkte umgesetzt:

Intervall	Anzahl der mindestens zu erreichenden Bewertungseinheiten	Notenpunkte	Notenstufe
15 %	86	15	+ 1
	81	14	1
	77	13	1 –
15 %	72	12	+ 2
	68	11	2
	63	10	2 –
15 %	59	9	+ 3
	54	8	3
	50	7	3 –
15 %	45	6	+ 4
	41	5	4
	36	4	4 –
20 %	30	3	+ 5
	24	2	5
	18	1	5 –
20 %	0	0	6

Kosmische Strahlung

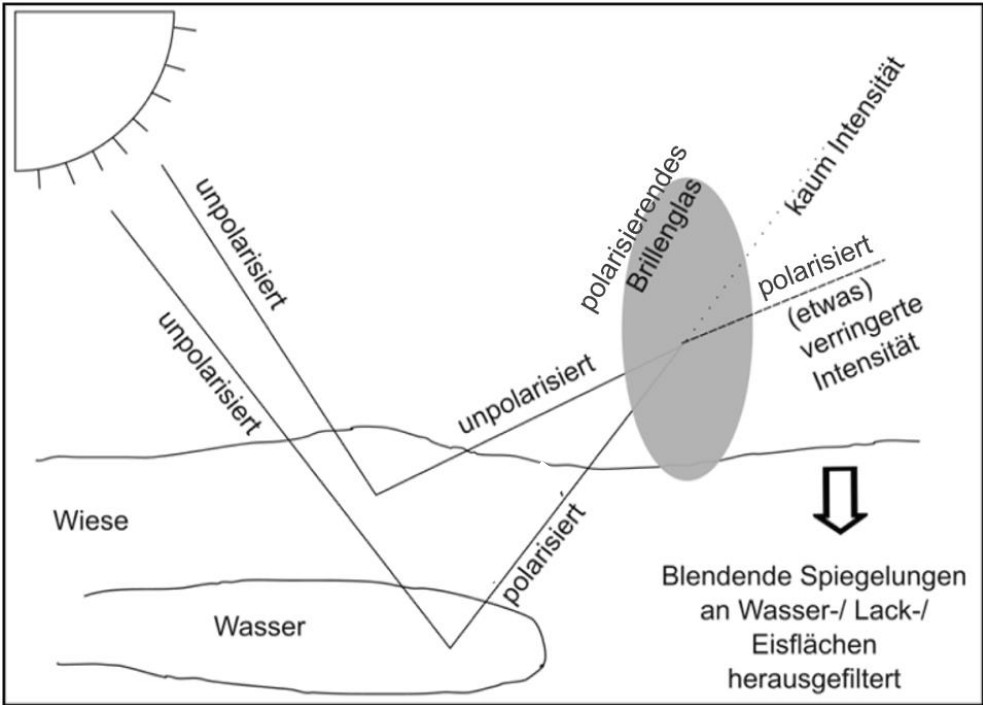
Nr.		I	II	III
1a	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen. $t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ Das Proton bewegt sich in dieser Zeitdauer (gleichförmig) durch die jeweilige Driftröhre. Zwischen den Driftröhren nimmt die Geschwindigkeit des Protons jeweils zu. Deshalb werden in gleichen Zeiten immer größere Strecken zurückgelegt. Daher muss die Länge der Driftröhre mit der Eintrittsgeschwindigkeit v des Protons in die Driftröhre zunehmen. Für $v \approx c$ müsste die Driftröhre eine Länge von etwa $L = c \cdot 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ s} = 15 \text{ m}$ aufweisen.		1	
b	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen; K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellung und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. Das Proton bewegt sich während der Zeitdauer $5,0 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ durch die jeweilige Driftröhre. Da das Innere der Driftröhren feldfrei ist, bleibt während dieser Zeitdauer die kinetische Energie unverändert, weshalb der Graph im t-E_{kin}-Diagramm waagrecht verläuft. Zwischen zwei benachbarten Driftröhren nimmt die Energie des Protons durch den Potentialunterschied U_0 jeweils um denselben Energiebetrag $e \cdot U_0 = 0,60 \text{ MeV}$ zu, was zu Sprüngen im t-E_{kin}-Diagramm führt. E_{kin} in MeV t in 10^{-8} s		2	

c	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen. $\gamma = \frac{E}{E_0} = \frac{1,0 \cdot 10^{15} \text{ eV}}{m_p \cdot c^2} = 1,1 \cdot 10^6$ Aus $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1,1 \cdot 10^6$ folgt $1 - \frac{v^2}{c^2} \approx 8,8 \cdot 10^{-13}$ bzw. $\frac{v}{c} \approx 1$. Somit muss v fast so groß sein wie c.	4		
d	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen. Es wären ca. $\frac{E_{\text{kin}}}{e \cdot U} \approx \frac{E}{e \cdot U_0} = \frac{1,0 \cdot 10^{15} \text{ eV}}{0,60 \text{ MeV}} = 1,7 \cdot 10^9$ Beschleunigungsvorgänge notwendig. Jede Driftröhre hat eine Länge zwischen 0,54 m (M2) und 15 m (Teilaufgabe a). Hätten alle Driftröhren nur die Länge 0,54 m, wäre die Gesamtlänge mit $1,7 \cdot 10^9 \cdot 0,54 \text{ m} = 0,92 \cdot 10^6 \text{ km}$ bereits deutlich größer als der Erdumfang von ca. $40 \cdot 10^3 \text{ km}$.	2		
2a	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen. Da die Lorentzkraft im homogenen Magnetfeld einen konstanten Betrag hat und die Richtung der Kraft immer senkrecht zu v und B ist, bewegt sich das Proton auf einer Kreisbahn. $F_r = F_L$ $m \cdot \frac{v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$ Wegen $v \approx c$ ist $m \cdot v^2 \approx E$, also folgt $\frac{E}{r} \approx e \cdot v \cdot B$ und daraus $r \approx \frac{E}{e \cdot c \cdot B}$. $r_{\text{Supernovarest}} = 3 \text{ cm}, r_{\text{Erde}} = r_{\text{Supernovarest}} \cdot 10^{13} = 3 \cdot 10^{11} \text{ m}$	2	3	1
b	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen. Die Lorentzkraft wirkt immer senkrecht zur Bewegungsrichtung, damit kann keine Arbeit verrichtet werden. Die Energie und der Betrag der Geschwindigkeit der Protonen ändern sich nicht. Die Richtung der Geschwindigkeit kann sich aber, wie in Teilaufgabe 2a gezeigt, ändern.	2		

c	Die Lernenden ... K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellung und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder; S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen. Zerfall (1) ist nicht möglich, da die elektrische Ladung nicht erhalten bleibt, Zerfall (3) ist nicht möglich, da die Leptonenzahl nicht erhalten bleibt. Also ist Zerfall (2) richtig.	2		
d	Die Lernenden ... E 2 beurteilen die Eignung von Untersuchungsverfahren zur Prüfung bestimmter Hypothesen; K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellung und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. Da Protonen in den Magnetfeldern des Supernovarests und der Erde abgelenkt werden, könnte aus der am Detektor registrierten Bewegungsrichtung der hochenergetischen Protonen nicht auf die Herkunftsregion der Teilchen am Himmel geschlossen werden. Hochenergetische Protonen aus der Umgebung eines Supernovarests erzeugen neutrale Pionen, die beim Zerfall Photonen aussenden. Diese Photonen können somit als indirekter Nachweis der hochenergetischen Protonen verwendet werden. Da sie in Magnetfeldern nicht abgelenkt werden, ist aus der am Detektor bestimmten Bewegungsrichtung der Photonen ein Rückschluss auf die Ursprungsregion möglich.	3		
3	Die Lernenden ... B 4 bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil. Bei einer Mars-Missionsdauer von ca. drei Jahren sind die gesundheitlichen Risiken wie das Krebsrisiko und das Risiko für Schäden an Augen oder Gehirn für die Astronautinnen und Astronauten durch die kosmische Strahlung ganz erheblich. Der Schutz des Lebens vor gesundheitlicher Beeinträchtigung durch die kosmische Strahlung spricht als übergeordnete moralische Norm gegen bemannte Mars-Missionen. Der menschliche Drang, den Mars zu erforschen kann allerdings vom einzelnen Individuum (Raumfahrer) stärker gewichtet werden, weswegen – Freiwilligkeit vorausgesetzt – bemannte Mars-Missionen befürwortet werden können.	3		

II Sonnenbrillen

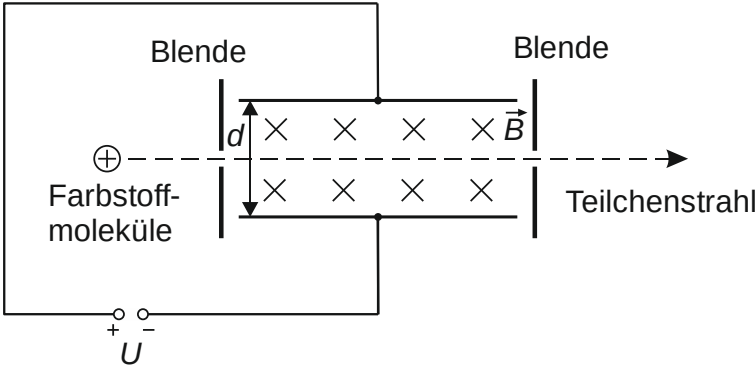
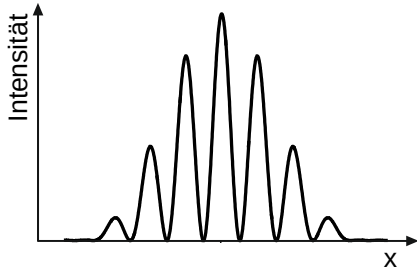
Nr.		I	II	III
1	Die Lernenden ... S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien; S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an. Weißes Licht besteht aus Licht verschiedener Spektralfarben, die zum physiologischen Eindruck „weiß“ führen. $E = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = 354 \text{ nm}$ 354 nm gehört zu Licht im UV-Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Die zugehörigen Photonen haben eine höhere Energie als die des sichtbaren Lichts und sind für die Netzhaut daher schädlicher.	1		
		2		
		2		
2a	Die Lernenden ... S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an. Flächeninhalt der Gläser einer Sonnenbrille: $5 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm} \cdot 2 = 50 \text{ cm}^2$ Anzahl der pro Sekunde höchstens transmittierten Photonen: $N = (1 - 0,57) \cdot \frac{150 \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2} \cdot 50 \text{ cm}^2 \cdot 1 \text{ s}}{2,48 \text{ eV}} = 8 \cdot 10^{15}$	1		
			3	
b	Die Lernenden ... E 4 modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen; K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. Bei einer beliebigen Sonnenbrille der Kategorie 2 ist bekannt, dass 57 bis 82 % der Gesamtenergie aller einfallenden Photonen im sichtbaren Spektralbereich absorbiert wird. Aussagen über das Absorptionsverhalten in den verschiedenen Energiebereichen können nicht getroffen werden. Bei einer Sonnenbrille der Kategorie 2 mit Grautönung ist im sichtbaren Bereich für jede Photonenenergie der Anteil der absorbierten Photonen an allen mit dieser Photonenenergie einfallenden Photonen gleich groß.			2
3a	Die Lernenden ... S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien; S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen; K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. Bei senkrechtem Einfall durchläuft der Strahl ② die Beschichtung der Dicke d zweimal, daher beträgt die Wegdifferenz $2 \cdot d$.	1		

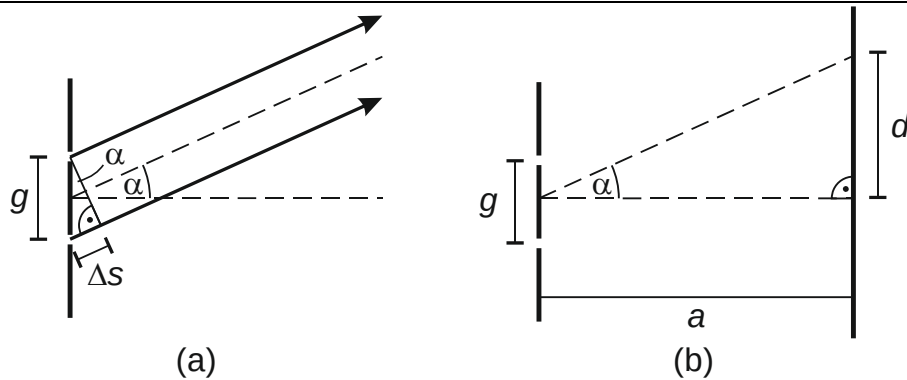
	Für den Gangunterschied muss man die Wegdifferenz mit n multiplizieren: $\Delta s = 2 \cdot d \cdot n$ Bedingung für 1. Interferenzmaximum: $\Delta s = \lambda (*)$ Mit $\Delta s = 2 \cdot d \cdot n$ folgt $d = \frac{\lambda}{2n} = \frac{390 \text{ nm}}{2 \cdot 1,22} = 160 \text{ nm}$ Bedingung für 1. Interferenzminimum: $\Delta s = \frac{\lambda_{\min}}{2}$ Mit (*): $\lambda_{\min} = 2 \cdot 390 \text{ nm} = 780 \text{ nm}$ <i>Hinweis: Ein Eingehen auf Phasensprünge bei der Reflexion an optisch dichteren Medien wird hier nicht erwartet und ist auch nicht Inhalt des LehrplanPLUS.</i>	1	1
b	Die Lernenden ... S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien. Wegen der Reflexion an den Schichten wird weniger Licht transmittiert – die Umgebung erscheint für den Brillenträger dunkler. Für eine Person, die auf die Brille blickt, wirkt das Glas wie ein Spiegel.		2
4	Die Lernenden ... S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien; K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder; K 5 wählen ziel-, sach- und adressatengerecht geeignete Schwerpunkte für die Inhalte von Präsentationen, Diskussionen oder anderen Kommunikationsformen aus; K 6 veranschaulichen Informationen und Daten in ziel-, sach- und adressatengerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge.  <i>Hinweise: Der LehrplanPLUS fordert nicht, über Filterfunktion einer polarisierenden Schicht gesprochen zu haben. Das Entnehmen der fachlichen Informationen und Verknüpfen mit Vorwissen ist eine Prüfungsleistung.</i>	2	4

	<i>Bewertungseinheiten werden für sachlich korrekte Darstellung, passende(r) Schwerpunkt(e) und Umfang, passende Veranschaulichung, korrekte Beschriftung in Fachsprache vergeben.</i>			
5	Die Lernenden ... K 2 prüfen verwendete Quellen hinsichtlich der Kriterien Korrektheit, Fachsprache und Relevanz für den untersuchten Sachverhalt; B 3 entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab. Durch die leicht getönten Gläser mit UV 400-Kennzeichnung wird das Auge nicht nur vor der sehr energiereichen UV-Strahlung, sondern auch vor energiereicher Strahlung im blau-violetten Bereich geschützt. Die Helligkeit wird aber nur wenig reduziert und die Pupillen bleiben ziemlich klein. Wegen des Zusammenkneifens der Augenlider können ggf. Kopfschmerzen auftreten. Durch die stark getönten und polarisierenden Gläser mit CE-Siegel wird von der Wasseroberfläche reflektiertes Sonnenlicht herausgefiltert, so dass Marie besser sieht (kontrastreich, verbesserte Farbwahrnehmung). Die starke Reduktion der Helligkeit wegen der starken Tönung führt zu weniger Anstrengung beim Sehen. Die Pupillen werden geweitet. Da der Schutz vor UV-Strahlung zwischen 380 nm und 400 nm nicht garantiert ist, kann das gefährlich werden für die Netzhaut. Individuelle Abwägung Weitere mögliche Eigenschaft: Große Gläser, die gut an die Gesichtsform angepasst sind, verhindern, dass ungefiltertes Licht an der Brille vorbei in die Augen gelangen kann.	4	1	1

III

Untersuchung von Quantenobjekten

Nr.		I	II	III
1a	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen und Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen.  mögliche Werte: $B = 1,0 \text{ mT}$, $U = 6,3 \text{ mV}$, Plattenabstand $d = 4,0 \text{ cm}$	3		
b	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen. $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} = 1,95 \cdot 10^{-12} \text{ m}$	2		
c	Die Lernenden ... S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an. 	2		
d	Die Lernenden ... S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an; S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an. Maße aus Abb. 2: Schirmbreite in der Darstellung 75 mm, Abstand beider Maxima 3. Ordnung 34 mm Abstand d zwischen 0. und 3. Maximum: $d = \frac{34 \text{ mm} : 2}{75 \text{ mm}} \cdot 150 \mu\text{m} = 34 \mu\text{m}$	2		



Gangunterschied $\Delta s = k \cdot \lambda = 3 \cdot \lambda = g \cdot \sin \alpha$ (aus Abb. a)

$$\rightarrow \sin \alpha = \frac{3 \cdot \lambda}{g} = \frac{3 \cdot 1,95 \cdot 10^{-12} \text{ m}}{100 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \rightarrow \alpha = 0,0034^\circ$$

$$\tan \alpha = \frac{d}{a} \rightarrow a = \frac{d}{\tan \alpha} = \frac{34 \mu\text{m}}{\tan \alpha} = 0,58 \text{ m} \text{ (aus Abb. b)}$$

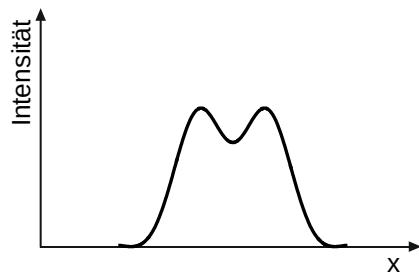
Näherung: Der Abstand a der Spaltebene vom Schirm ist sehr viel größer als der Abstand g der Spaltmitten, so dass g gegenüber anderen Längen vernachlässigt werden kann. Daraus ergeben sich folgende Vereinfachungen:

- parallele Verbindungslinien von den Spaltmitten zum Auftreffpunkt am Schirm
→ $\Delta s = g \cdot \sin \alpha$ möglich (siehe Abb. a)
- Spaltmittenabstand klein gegenüber Abstand d des Schirmpunkts zum Ort des 0. Maximums
→ $\tan \alpha = \frac{d}{a}$ möglich (siehe Abb. b)

Hinweis: Die sogenannte Kleinwinkelnäherung $\sin \alpha = \tan \alpha$ ist hier nicht notwendig und entsprechend nicht mit BE zu honorieren.

e Die Lernenden ...

S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien.



Die Detektion des Spaltdurchgangs beendet die Superposition aller möglicher Zustände und legt einen Zustand für das Farbstoffmolekül fest. Damit geht die Interferenzfähigkeit verloren und auf dem Schirm ergibt sich eine Überlagerung der Schirmbilder bei jeweils nur einem geöffneten Spalt.

2 Die Lernenden ...

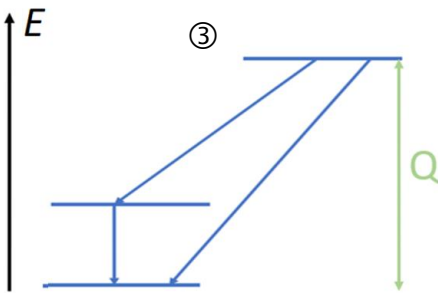
S 2 erläutern Gültigkeitsbereiche von Modellen und Theorien und beschreiben deren Aussage- und Vorhersagemöglichkeiten;

E 9 reflektieren die Relevanz von Modellen, Theorien, Hypothesen und Experimenten für die physikalische Erkenntnisgewinnung;

	K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. In M2 ist dargestellt, mit welchen Molekülen im Laufe der Zeit erfolgreich Interferenzexperimente durchgeführt wurden. Dabei wurde die vorhergesagte Welleneigenschaft von Quantenobjekten bei immer massereicheren und größeren Objekten nachgewiesen, bei denen ein Teilchencharakter naheliegend ist. Damit wird belegt, dass die quantenphysikalischen Beschreibungen nicht nur für kleinste Objekte zutreffen, was den bestätigten Gültigkeitsbereich erweitert. <i>Hinweis: Ein Bezug zu M2 Abb. 3 ist erforderlich.</i>			3
3	Die Lernenden ... K 8 nutzen ihr Wissen über aus physikalischer Sicht gültige Argumentationsketten zur Beurteilung vorgegebener und zur Entwicklung eigener innerfachlicher Argumentationen; B 2 beurteilen Informationen und deren Darstellung aus Quellen unterschiedlicher Art hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit und Relevanz. Der Verfasser dieses Werbeflyers beschreibt zunächst die scheinbare Funktion des Atomstromfilters, bevor er sich ohne physikalisch tragfähige Argumentationsstruktur der angeblichen Funktionsweise widmet. Zu ihrer Erläuterung bedient er sich zwar zahlreicher Begriffe aus der Quantenphysik wie beispielsweise stochastisches Verhalten, Komplementaritätsprinzip oder Interferenzeffekte. Er verwendet diese jedoch in physikalisch falschen Zusammenhängen. So ist z. B. im stochastischen Verhalten keine Information hinterlegt und Interferenzeffekte übertragen keine Energie. Auch setzt er die Fachbegriffe nicht zueinander in korrekte kausale Bezüge, z. B. lässt eine große Elektronenenergie keinen Rückschluss auf eine Stromerzeugung im Kernkraftwerk zu. Dennoch soll auf diese Weise der Anschein einer physikalisch begründbaren ausgefeilten Anwendung suggeriert werden. Letzteres wird auch mit dem Hinweis auf den Dokortitel des Entwicklers bezweckt. Insgesamt ist die versprochene Funktionalität des Atomstromfilters aufgrund der offensichtlich fachlich falschen Argumentation mit der Quantenphysik nicht haltbar.			4

IV

Lecksuche mit radioaktivem Thorium

Nr.		I	II	III
1	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen und Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen. ${}^{227}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{223}_{88}\text{Ra} + {}^4_2\text{He}$ $Q = \left[m({}^{227}_{90}\text{Th}) - \left[m({}^{223}_{88}\text{Ra}) + m({}^4_2\text{He}) \right] \right] \cdot c^2$ $= [227,027703 - (223,018501 + 4,002603)] \cdot uc^2 = 6,15 \text{ MeV}$	4		
2	Die Lernenden ... K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder; E 6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen. Die beiden Spektren ① und ② besitzen scharf begrenzte Maxima. Sie sind also diskrete Energiespektren. Beim α-Zerfall von ${}^{227}\text{Th}$ gibt es nach Diagramm ③ zwei Möglichkeiten (zwei schräge Pfeile). Der entstehende Tochterkern kann in einem angeregten Zustand oder im Grundzustand vorliegen. Die beim Zerfall ausgesendeten α-Teilchen können damit zwei verschiedene Energien erhalten. Die beiden auftretenden Energien entsprechen den beiden Maxima in Diagramm ①, wobei das rechte Maximum der Energie der α-Teilchen entspricht, die beim Übergang in den Grundzustand des Tochterkerns entstehen. Der angeregte Tochterkern kann durch Aussenden von γ-Strahlung in den Zustand niedrigerer Energie übergehen (senkrechter Pfeil). Das Photon besitzt dann genau die Energiedifferenz als Energie. Diese Energie entspricht dem Peak in Diagramm ②. 	2	3	1
3a	Die Lernenden ... S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien. z_0 gibt die Zählrate vor dem Auftreffen auf die Materie an. Dies entspricht im Zerfallsgesetz der Anzahl N_0 der unzerfallenen Kerne zum Zeitpunkt $t = 0$. Die Größe μ beschreibt analog zur Zerfallskonstante λ die Schwächung. Dabei wird $D_{1/2}$ analog zu $T_{1/2}$ berechnet durch $D_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}.$			3

3b	Die Lernenden ... E4 modellieren Phänomene physikalisch (und mathematisch) begründet. Nachdem bereits ein Blatt Papier α-Strahlung zum Großteil absorbiert, ist davon auszugehen, dass diese Strahlungsart bereits nach wenigen Zentimeter Beton vollständig absorbiert ist. Die γ-Strahlung kann hingegen auch außerhalb einer Betonwand mit typischerweise mehreren Dezimetern Dicke nachgewiesen werden, da die Schichtdicke, nach der die Zählrate bei Durchgang durch Beton um die Hälfte abgesunken ist, 30 cm beträgt.			2
4	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen; E 10 beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen und reflektieren ihre Generalisierbarkeit. Annahmen: Bei der Messung mit dem Geiger-Müller-Zählrohr werden alle γ-Quanten, die auf die Person treffen, detektiert. Sie geben ihre komplette Energie an den Menschen ab. Der Mensch hat eine Masse von 80 kg und ist der Strahlung jährlich an etwa 220 Arbeitstage jeweils sieben Stunden pro Tag ausgesetzt. $H = q \cdot D = q \cdot \frac{E}{m} = q \cdot \frac{E_\gamma \cdot z \cdot \Delta t}{m} = 1 \cdot \frac{269 \text{ keV} \cdot 550 \frac{1}{\text{s}} \cdot 220 \cdot 7 \cdot 3600 \text{ s}}{80 \text{ kg}} = 1,6 \mu\text{Sv}$		5	
5	Die Lernenden ... S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an; E 6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen. Die Abweichung kann auch durch die stochastische Natur (Zufälligkeit) des Zerfalls entstanden sein. Mögliche Methode für die Bestimmung der Halbwertszeit: Einsetzen eines Punktes, der auf der Ausgleichskurve liegt, in die Gesetzmäßigkeit $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ mit $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$ und rechnerische Bestimmung von $T_{1/2}$. <i>Hinweis: Auch eine Lösung über Extrapolation und Ablesen der Halbwertszeit aus dem Graph ist als äquivalent anzusehen.</i>	1	2	
6	Die Lernenden ... S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen. $\frac{A(t)}{A_0} = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t}$ $t = -\frac{T_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln(0,10) = 62 \text{ d}$		3	

7	Die Lernenden ... B 6 bewerten Technologien und Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich Eignung und Konsequenz und schätzen Risiken (auch in Alltagssituationen) ein. Die γ-Strahlung hält nach obiger Abschätzung die vorgegebenen Grenzwerte deutlich ein. Sollten aber Arbeitende oder unbeteiligte Lebewesen durch unsachgemäßen Gebrauch oder einen Unfall in direkten Kontakt mit der Flüssigkeit oder dem kontaminierten Material kommen oder dies sogar in den Körper aufnehmen, ist die Strahlenbelastung, auch aufgrund der dann relevanten α-Strahlung, deutlich höher. Es muss gemäß der Strahlenschutzverordnung sichergestellt werden, dass das anfallende radioaktive Material vollständig wieder gesammelt und entsorgt wird, was die Methode aufwändig und teuer macht. Der Schutz des Lebens vor gesundheitlicher Beeinträchtigung spricht als übergeordnete moralische Norm gegen die Verwendung der ^{227}Th-Methode, wenn es akzeptable Alternativen gibt. Ist die Lecksuche mit ^{227}Th die einzige sachgerechte Methode, kann der Einsatz, wenn er unter Berücksichtigung aller Sicherheitsvorschriften erfolgt, in Betracht gezogen werden.	4		
---	---	---	--	--