

2022

Abitur

Original-Prüfungsaufgaben
mit Lösungen

**MEHR
ERFAHREN**

Gymnasium *Physik* *NRW*

Physik

- + *Schwerpunktthemen 2022*
- + *Zusätzliche Aufgaben als PD*

ActiveBook
• Interaktives
Training

Original-Prüfungsaufgaben
2021 zum Download



STARK

Inhalt

Vorwort
Stichwortverzeichnis

Hinweise und Tipps zum Zentralabitur

Allgemeine Hinweise zum schriftlichen Abitur im Fach Physik	I
1 Die inhaltlichen Vorgaben für die schriftliche Prüfung	I
2 Organisatorisches	V
3 Zum Aufbau der Prüfungsaufgaben	VI
4 Durchführung der schriftlichen Abiturprüfung	VIII
5 Bewertung der Prüfungsarbeiten	VIII
Methodische Hinweise für die Anfertigung der Abiturklausur	IX
Wie man richtig für die Abiturprüfung lernt	X
1 Umgang mit Operatoren	X
2 Anlage von Mindmaps während des Unterrichts in der Oberstufe	XII
3 Anlage eines Arbeitsheftes für die Oberstufe	XIV
4 Eigene kleine Formelsammlung	XV
5 Lernen aus den Klausuren der Oberstufe	XVI
Zum Umgang mit diesem Buch	XVI

Übungsaufgaben zu den Schwerpunktthemen 2022 – Leistungskurs

1 Der Fotoeffekt und seine Bedeutung für die Physik	1
2 Experimente am Doppelspalt – Eigenschaften von Quantenobjekten	16
3 Oberflächen- und Kristallanalyse mit Materiewellen	25
4 Von Teilchen und Wellen zu Quantenobjekten	38
5 Elektrischer Schwingkreis.	52
6 Elektromagnetische Schwingungen und Resonanz.	62
7 Aspekte zur experimentellen Überprüfung des Induktionsgesetzes.	78
8 Induktion bei der Torlinientechnik.	91
9 Radioaktivität	107
10 Radioaktiver Zerfall von Uran und das Alter der Erde	117
11 Das Bohr'sche Atommodell und seine experimentelle Bestätigung.	126

Zentrale Abiturprüfungsaufgaben – Leistungskurs

Abiturprüfungsaufgaben 2018

1. Elektromagnetische Induktion LK 2018-1
2. Teilchen- und Welleneigenschaften von Licht LK 2018-16
3. Messung sehr langer Lebensdauern LK 2018-29
4. Radonexposition LK 2018-41

Abiturprüfungsaufgaben 2019

1. Experimentelle Untersuchung schneller Elektronen – ein direkter Nachweis einer Grenzgeschwindigkeit LK 2019-1
2. Durchgang eines Quantenobjekts durch einen Doppelspalt LK 2019-16
3. Röntgenstrahlung LK 2019-29
4. Radionuklidbatterie LK 2019-44

Abiturprüfungsaufgaben 2020

1. Beschleunigung von Elektronen. LK 2020-1
2. Neutronenstrahlung und ihre Welleneigenschaften. LK 2020-21
3. Altersbestimmung von Mondgestein LK 2020-38
4. Fluoreszenzintigraphie mit Americium-241 LK 2020-52

Abiturprüfungsaufgaben 2021 (Online)

Online als PDF zum Download. www.stark-verlag.de/mystark

Das Corona-Virus hat auch im vergangenen Schuljahr die Prüfungsabläufe durcheinandergebracht und manches verzögert. Daher sind die Aufgaben und Lösungen zur Prüfung 2021 in diesem Jahr nicht im Buch abgedruckt, sondern erscheinen in digitaler Form. Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2021 zur Veröffentlichung freigegeben sind, können Sie sie als PDF auf der Plattform MyStark herunterladen. Den Zugangscode finden Sie auf den Farbseiten vorne im Buch.



Zentrale Abiturprüfungsaufgaben Jahrgang 2021 im Leistungskurs

Zentrale Abiturprüfungsaufgaben im Grundkurs

Jahrgang 2008	1
Jahrgang 2009	31
Jahrgang 2010	63
Jahrgang 2013	92
Jahrgang 2014	133
Jahrgang 2015	168
Jahrgang 2016	205
Jahrgang 2017	249
Jahrgang 2018	286
Jahrgang 2019	325
Jahrgang 2020	360
Jahrgang 2021	394

Übungsaufgaben

1. Interferenzen an einer CD	1
2. Elektronenstrahlbeugung	5
3. Elektromagnetische Induktion	12
4. Radioaktivität und Kernphysik	19
5. Elektrisch geladene Teilchen in E- und B-Feldern	24
6. Wellenoptik	31

Übersicht: Prüfungsaufgaben und Sachgebiete, Grundkurs 2013 bis 2021

Zusatzblätter:

- Altersverteilung von Mondgestein zu LK 2020/3.3, Abb. 3
- Franck-Hertz-Röhre bei verschiedenen Spannungen U_B zu LK 2021/3.3, Abb. 5

Jeweils zu Beginn des neuen Schuljahres erscheinen die neuen Ausgaben der Abiturprüfungsaufgaben mit Lösungen.

Autoren der Tipps und Lösungen

Bis Jahrgang 2019: Stark Verlag
Seit Jahrgang 2020: Udo Mühlenfeld

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Sie haben Physik in Nordrhein-Westfalen als Grund- oder Leistungskurs belegt und planen, in diesem Fach ihr Abitur abzulegen. Für die schriftliche Abiturprüfung in Nordrhein-Westfalen bearbeiten seit 2007 die Schülerinnen und Schüler aller Gymnasien und Gesamtschulen – und seit 2008 auch die der Weiterbildungskollegs – dieselben **zentral gestellten Aufgaben**.

Mit diesem Buch möchten wir Ihnen helfen, sich effektiv auf dieses Zentralabitur vorzubereiten:

- Der Band enthält die vollständigen **Original-Prüfungsaufgaben** der Jahrgänge 2018 bis 2020 für den **Leistungskurs**.
- Er enthält zudem einen **Übungsteil** mit LK-Prüfungsaufgaben älterer Jahrgänge, die speziell auf die **Schwerpunktthemen 2022** hin ausgewählt sind.
- Auf sämtliche Aufgaben folgen **vollständige, kommentierte Lösungsvorschläge** sowie separate **Tipps zum Lösungsansatz**, die Ihnen das selbstständige Lösen der Aufgaben erleichtern.
- Sie erhalten im ersten Teil des Buches zahlreiche **Informationen zum Abitur** sowie viele praktische Hinweise, die Ihnen sowohl in der Vorbereitung auf das Abitur als auch während der Prüfung dazu verhelfen, Prüfungsaufgaben gut zu lösen.

Zudem ist dieses Buch ein **ActiveBook** – das bedeutet, Sie erhalten zusätzliches Übungsmaterial **online auf MyStark**:

- **Interaktives Training** mit Aufgaben und Lernvideos zu allen relevanten Themengebieten des Physikabiturs.
- **Original-Prüfungsaufgaben 2021** im Grund- und Leistungskurs zum Download.
- Die für das Abitur 2022 relevanten **Original-Prüfungsaufgaben** früherer Jahrgänge für den **Grundkurs** sowie zusätzliche **Übungsaufgaben** zum Download.

Ausführliche Infos inkl. Zugangscode finden Sie auf den Farbseiten vorne im Buch.

Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2022 vom Ministerium für Schule und Weiterbildung bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet ebenfalls auf MyStark.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Abiturprüfung!

Udo Mühlendorf

Udo Mühlendorf



Hinweise und Tipps zum Zentralabitur

Allgemeine Hinweise zum schriftlichen Abitur im Fach Physik

1 Die inhaltlichen Vorgaben für die schriftliche Prüfung

Der derzeit gültige Kernlehrplan Physik, wie der für alle anderen Fächer, stammt aus dem Jahre 2013 und setzt die allgemeinen verbindlichen Bedingungen für das Abitur ab dem Jahr 2017. Darüber hinaus spezifizieren sogenannte *Vorgaben Abitur 20xx – Physik* nicht nur die inhaltlichen Schwerpunkte aus den Inhaltsfeldern des Kernlehrplans, sondern konkretisieren vor allem in den von Jahr zu Jahr veränderten *Fokussierungen* diejenigen inhaltlichen Aspekte, die schwerpunktmäßig in den jeweiligen Abituraufgaben des betreffenden Jahrgangs behandelt werden. Diese inhaltlichen Fokussierungen sind für den Grundkurs und Leistungskurs in der Regel unterschiedlich und unbedingt zu beachten; sie können auf den Internetseiten des Schulministeriums von jedermann eingesehen werden.

Die Internet-Adresse für den Kernlehrplan Physik lautet:

www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-ii/gymnasiale-oberstufe/physik/

Die Adresse für die Vorgaben lautet:

www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/cms/zentralabitur-gost/faecher/fach.php?fach=22

Es wird in den Darstellungen des Schulministeriums explizit darauf hingewiesen, dass selbstverständlich alle im Lehrplan festgelegten Kompetenzen während des Unterrichts in der Oberstufe erworben sein müssen und in den Aufgaben der schriftlichen Abiturprüfung abgeprüft werden können – eine alleinige Beschränkung in der Abiturvorbereitung auf die oben genannten Fokussierungen darf daher nicht stattfinden.

Die **fachspezifischen inhaltlichen Schwerpunkte und Fokussierungen für das Physikabitur 2022** zeigen die beiden nachfolgenden Tabellen für Leistungs- und Grundkurs.

Leistungskurs: Inhaltliche Schwerpunkte 2022 und Fokussierungen 2022 (fett-kursiv)

Relativitätstheorie	Elektrik	Quantenphysik	Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik
Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	Eigenschaften elektr. Ladungen und ihrer Felder	Licht und Elektronen als Quantenobjekte <i>Experimentelle Untersuchungen mit Quantenobjekten</i>	Atomaufbau <i>Erkenntnisse über den Aufbau der Materie</i>
Problem der Gleichzeitigkeit	Bewegung v. Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern	Welle-Teilchen-Dualismus und Wahrscheinlichkeitsinterpretation	Ionisierende Strahlung

Zeitdilatation und Längenkontraktion	Elektromagn. Induktion <i>Experimentelle und theoretische Untersuchung zu induktiven Vorgängen</i>	Quantenphysik und klassische Physik <i>Experimentelle Untersuchungen mit Quantenobjekten</i>	Radioaktiver Zerfall <i>Erkenntnisse über den Aufbau der Materie</i>
Relativistische Massenzunahme	Elektromagn. Schwingungen u. Wellen <i>Experimentelle und theoretische Untersuchung zu induktiven Vorgängen</i>		Kernspaltung und Kernfusion
Energie-Masse-Beziehung			Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen <i>Erkenntnisse über den Aufbau der Materie</i>
Einfluss d. Gravitation auf die Zeitmessung			

Grundkurs: Inhaltliche Schwerpunkte 2022 und Fokussierungen 2022 (fett-kursiv)

Quantenobjekte	Elektrodynamik	Strahlung u. Materie	Relativität v. Raum u. Zeit
Elektron und Photon (Teilchen-/Wellenaspekt)	Spannung und elektrische Energie <i>Spannungserzeugung, Bereitstellung und Transport von elektrischer Energie</i>	Spektrum der elektromagnetischen Strahlung <i>Erkenntnisse über den Aufbau der Materie</i>	Konstanz der Lichtgeschwindigkeit
Quantenobjekte und ihre Eigenschaften <i>Experimentelle Untersuchungen mit Quantenobjekten</i>	Induktion <i>Spannungserzeugung, Bereitstellung und Transport von elektrischer Energie</i>	Energiequantelung in der Atomhülle <i>Erkenntnisse über den Aufbau der Materie</i>	Zeitdilatation
	Spannungswandlung <i>Spannungserzeugung, Bereitstellung und Transport von elektrischer Energie</i>	Ionisierende Strahlung	Veränderlichkeit der Masse
		Kernumwandlung	Energie-Masse-Äquivalenz
		Standardmodell der Elementarteilchen <i>Erkenntnisse über den Aufbau der Materie</i>	

In der folgenden tabellarischen **Inhaltsübersicht** zu den Abiturprüfungen der vergangenen drei Jahre im Leistungskurs sind die Inhaltsfelder mit Fokussierungen 2022 dunkelgrau hervorgehoben.

Übersicht Prüfungsaufgaben und Inhaltsfelder – Leistungskurs 2019 bis 2021

Prüfungsaufgabe	kombinierbar mit (vgl. Abschnitt 2)	Relativtheorie	Elektrik			Quantenphysik	Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik	
			Ladungen und Felder	El.-mag. Induktion	El.-mag. Schwingungen und Wellen		Atomaufbau	Radioaktivität
LK 2019	1. Experimentelle Untersuchung schneller Elektronen – ein direkter Nachweis einer Grenzgeschwindigkeit	×	×					
	2. Durchgang eines Quantenobjekts durch einen Doppelspalt				×		×	
	3. Röntgenstrahlung	×			×		×	
	4. Radionuklidbatterie		×				×	×
LK 2020	1. Beschleunigung von Elektronen	×	×			×		
	2. Neutronenstrahlung und ihre Welleneigenschaften					×		×
	3. Altersbestimmung von Mondgestein						×	×
	4. Fluoreszenzminigraphie mit Americium-241						×	×
LK 2021	1. Zerfall amorphischer Myonen	×						
	2. Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu induktiven Vorgängen				×			
	3. Der Franck-Hertz-Versuch mit Neon					×	×	
<i>(Im März 2021 wurden nur die Aufgaben vorrätige bereitgestellt.)</i>								

Abiturprüfung Physik 2020 (Nordrhein-Westfalen) – Leistungskurs
Aufgabe 4: Fluoreszenzszintigraphie mit Americium-241

Die Schilddrüse ist ein Organ im menschlichen Körper, das im vorderen Halsbereich sitzt und zahlreiche lebenswichtige Aufgaben erfüllt. Schilddrüsenhormone beeinflussen Stoffwechsel, Kreislauf und Wachstum. Zur Produktion dieser Hormone benötigt die Schilddrüse u. a. Jod, welches über die Nahrung aufgenommen wird.

Etwa 40 % der erwachsenen Personen in Deutschland leiden unter einem Jodmangel, d. h., sie nehmen über die Nahrung zu wenig Jod auf. Ein Jodmangel kann diagnostiziert werden, indem man den Jodgehalt in der Schilddrüse bestimmt.

Ein medizinisches Gerät zur Bestimmung dieses Jodgehalts ist der sogenannte Fluoreszenz-

szintigraphie-Scanner, der mit der Strahlung des radioaktiven Nuklids Americium-241 arbeitet.

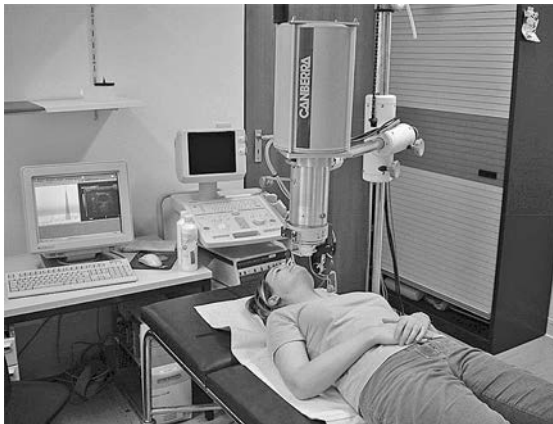


Abb. 1: Untersuchung einer Patientin mit einem Fluoreszenzszintigraphie-Scanner

Quelle: Claudia Andrea Schmidt,
<http://ul.qucosa.de/api/qucosa%3A11404/attachment/ATT-0/>

4.1 Americium-241

Americium-241 (Am-241) zerfällt durch einen α -Zerfall mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2} = 432$ a in ein radioaktives Tochternuklid. Das Tochternuklid von Am-241 zerfällt über zahlreiche α - und β -Zerfälle weiter.

- a) • Geben Sie die Kernumwandlungsgleichung für den radioaktiven Zerfall von Am-241 in das Tochternuklid an.
- Begründen Sie anhand der Zerfallsreihe von Am-241, dass man bei Experimenten mit Am-241-Präparaten die Aktivitäten der Folgeprodukte vernachlässigen kann.

4 P.

- b) Am-241 ist kein natürlich vorkommendes Nuklid. Es entsteht auf künstlichem Wege aus dem Element Plutonium (Pu) in Kernreaktoren, wenn ein in den Kernbrennstäben vorkommender **langlebiger Pu-Kern** ein Neutron einfängt. Dabei entsteht zunächst ein **kurzlebiger Pu-Kern**, der dann durch β^- -Zerfall in einen Am-241-Kern übergeht.
- Geben Sie die Gleichung für diejenige Kernumwandlung an, bei der aus dem langlebigen Pu-Kern ein kurzlebiger Pu-Kern entsteht.
 - Geben Sie die Kernumwandlungsgleichung für den radioaktiven Zerfall des Pu-Kerns in einen Am-241-Kern an.

4 P.

4.2 Energetische Betrachtung des Zerfalls von Am-241

- a) Gegeben sind die Atommassen $m_{\text{Am-241}} = 241,056829 \text{ u}$, $m_{\text{Np-237}} = 237,048174 \text{ u}$, $m_{\text{He-4}} = 4,002603 \text{ u}$.

Im Folgenden ist für die atomare Masseneinheit der Wert $u = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, für die Lichtgeschwindigkeit der Wert $c = 2,99792 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und für die Elementarladung der Wert $e = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ zu verwenden.

Berechnen Sie die gesamte beim α -Zerfall eines Am-241-Kerns freiwerdende Energie ΔE in den Einheiten J sowie MeV.

[Zur Kontrolle: $\Delta E = 5,64 \text{ MeV}$]

4 P.

- b) Abbildung 2 zeigt ein vereinfachtes Zerfallsschema für den radioaktiven Zerfall von Am-241 in Np-237. Gemäß der Abbildung gibt es vier mögliche Übergänge mit unterschiedlichen Übergangswahrscheinlichkeiten (siehe Prozentangaben in Abbildung 2).

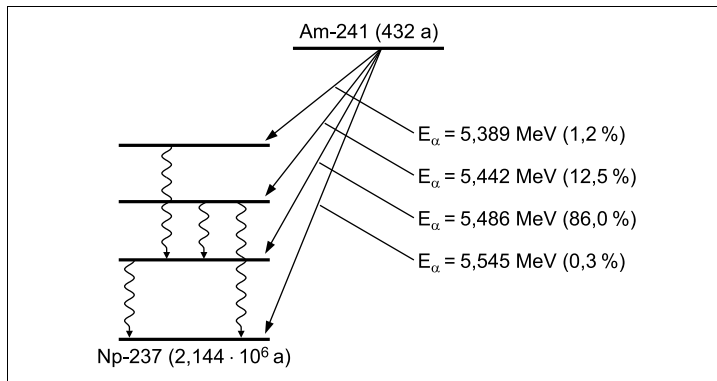


Abb. 2: Zerfallsschema von Am-241

Der Chemiker Otto Hahn schrieb in seinem Artikel „Über eine neue Erscheinung bei der Aktivierung mit Actinium“ im Jahr 1909:

„Der Zerfall eines radioaktiven Atoms geschieht bekanntlich explosionsartig, die Alpha-Strahlen erreichen eine Geschwindigkeit bis zu $1/10$ [der Lichtgeschwindigkeit], die Elektronen nahezu volle Lichtgeschwindigkeit. Zerplatzt nun ein derartiges radioaktives Atom, so wird das übrigbleibende Restatom durch das Ausschleudern der Elektronen oder mehr noch der Alpha-Strahlen einen Rückstoß bekommen, ähnlich wie eine Kanone, wenn das Geschoss den Lauf verlässt.“

- Begründen Sie mithilfe des Zitats von Otto Hahn, dass der in Teilaufgabe a berechnete Wert nicht in dem Zerfallsschema auftaucht.
 - Zeigen Sie ausgehend von einem nichtrelativistischen Energieansatz, dass die bei einem Zerfall eines Am-241-Kerns ausgesandten α -Teilchen das in dem Zitat genannte Geschwindigkeitsmaximum nicht überschreiten.
- 8 P.
- c) Ein Am-241-Präparat sendet neben α -Strahlung auch γ -Strahlung aus.
- Erklären Sie die Entstehung von γ -Strahlung anhand des Zerfalls von Am-241.
 - Bestimmen Sie anhand von Abbildung 2 die Energie der am häufigsten emittierten γ -Quanten.
- 4 P.
- d) Beim Einsatz von Am-241 zu medizinischen Zwecken soll ein Patient lediglich der γ -Strahlung eines Am-241-Präparates ausgesetzt werden. Beschreiben Sie eine effektive Möglichkeit, um dies zu erreichen.
- 2 P.

4.3 Röntgenfluoreszenzanregung von Jod

Trifft die von einem Am-241-Präparat ausgesandte γ -Strahlung auf eine Probe, die Atome des Elements Jod enthält, so entsteht Röntgenstrahlung einer für Jod typischen Energie. Man bezeichnet diesen Wechselwirkungsprozess als Röntgenfluoreszenz. Abbildung 3 zeigt schematisch einen möglichen Röntgenfluoreszenzprozess.

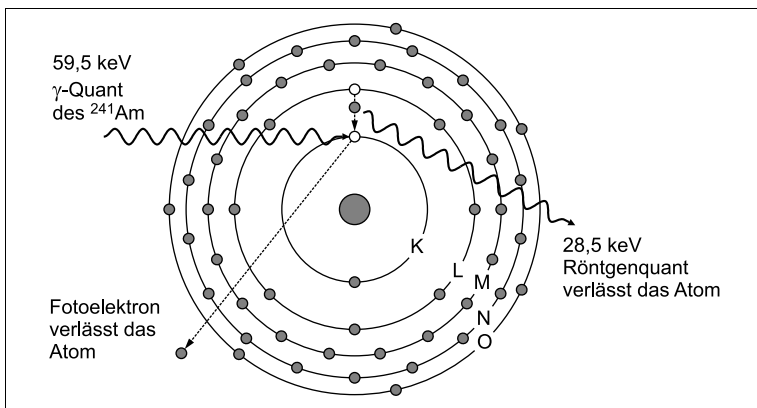


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Röntgenfluoreszenzprozesses bei einem Jod-Atom

Tipps und Hinweise zur Lösung von Aufgabe 4

Vorbemerkung: Die Aufgabe setzt grundlegende und vielschichtige Kenntnisse allein aus dem Bereich des Inhaltsfelds 5 „Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik“ voraus. Neben dem Atomaufbau und der ionisierenden Strahlung bildet dabei der radioaktive Zerfall einen inhaltlichen Schwerpunkt. Eine Verknüpfung mit anderen Inhaltsfeldern findet nicht statt. Basierend auf den Fokussierungen des Abiturjahrgangs 2020 „Eigenschaften ionisierender Strahlung und ihre Nutzung in Wissenschaft und Medizin“ wird in dieser Aufgabe einzig und allein die Fluoreszenzszintigraphie mit Americium-241 thematisiert. In den ersten beiden Teilaufgaben wird der Zerfall von Am-241 auch unter energetischen Betrachtungen thematisiert, die beiden letzten Teilaufgaben greifen mit der Röntgenfluoreszenzanregung durch Jod und dem Fluoreszenzszintigraphie-Scanner medizinische Anwendungen auf.

Teilaufgabe 4.1 a

- ♣ Achten Sie darauf, wie sich durch den α -Zerfall Massen- und Ordnungszahl ändern.
- ♣ Die Nuklidkarte ist hilfreich, um das Tochternuklid und seine Halbwertszeit zu bestimmen.
- ♣ Vergleichen Sie die Halbwertszeiten.

Teilaufgabe 4.1 b

- ♣ Die beiden Kernumwandlungen sind im Text nur vage beschrieben, verwenden Sie die Nuklidkarte.
- ♣ Versuchen Sie die Umwandlungskette rückwärts zu erschließen.
- ♣ Erinnern Sie sich an die Rolle des Neutrons beim β^- -Zerfall.

Teilaufgabe 4.2 a

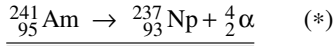
- ♣ Nutzen Sie die Masse-Energie-Beziehung.
- ♣ Achten Sie darauf, die Konstanten c , e und u mit der angegebenen Genauigkeit zu verwenden.
- ♣ Informieren Sie sich in der Formelsammlung über den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Energieeinheiten.
- ♣ Vergleichen Sie Ihr Ergebnis für ΔE mit dem angegebenen Kontrollergebnis.

Teilaufgabe 4.2 b

- ♣ Vergleichen Sie das Ergebnis aus Teilaufgabe 4.2 a mit den Energien im Zerfallschema von Am-241.
- ♣ Denken Sie an den Energieerhaltungssatz.
- ♣ Beachten Sie, dass Sie nichtrelativistisch rechnen sollen.
- ♣ Wichtig ist der Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und der kinetischen Energie.
- ♣ Im Zitat werden keine absoluten Werte verglichen, sondern Bruchteile der Lichtgeschwindigkeit.

Lösungen zu Aufgabe 4

- 4.1 a) Die **Gleichung für die Kernumwandlung** lautet:



Aufgrund des α -Zerfalls nimmt die Massenzahl um 4 und die Protonenzahl um 2 ab. Es entsteht das Tochternuklid Neptunium-237.

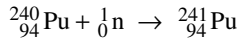
Warum kann man die Aktivitäten der Folgeprodukte vernachlässigen?

In der Nuklidkarte ist abzulesen, dass das radioaktive Neptunium-237

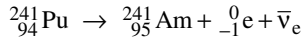
(Np-237) eine Halbwertszeit T_H von mehr als zwei Millionen Jahren hat.

Diese ist somit sehr viel größer als die angegebene Halbwertszeit T_H von Am-241 mit $T_H = 432$ a. Folglich ist die Anzahl der Zerfälle des Np-237, die man während der Dauer eines entsprechenden Experiments beobachten kann, deutlich kleiner als die Anzahl der Zerfälle des Am-241. Daher kann man die Aktivitäten des Np-237 und der weiteren Folgeprodukte vernachlässigen.

- b) Unter Verwendung der Nuklidkarte findet man für die **erste Kernumwandlung** (langlebiger Pu-Kern \rightarrow kurzlebiger Pu-Kern) die folgende Gleichung:



Der **radioaktive Zerfall des Pu-241** wird dann durch die folgende Gleichung beschrieben:



Neben dem Elektron wird ein Anti-Elektron-Neutrino ausgesandt.

- 4.2 a) Für die gesamte freiwerdende Energie ΔE gilt entsprechend der Masse-Energie-Beziehung $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$. Dabei ist Δm die Differenz zwischen den vor und nach der Kernumwandlung vorliegenden Massen, d. h. hier im konkreten Fall der Reaktion (*):

$$\Delta m = m_{\text{Am-241}} - (m_{\text{Np-237}} + m_{\text{He-4}})$$

Die gegebenen Werte werden eingesetzt:

$$\Delta m = 241,056829 \text{ u} - (237,048174 \text{ u} + 4,002603 \text{ u}) = 6,052 \cdot 10^{-3} \text{ u}$$

Mithilfe der atomaren Masseneinheit wird Δm in die Einheit kg umgerechnet:

$$\Delta m = 6,052 \cdot 10^{-3} \text{ u} = 6,052 \cdot 10^{-3} \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,004959 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

Für die **frei werdende Energie ΔE in der Einheit J** ergibt sich damit:

$$\begin{aligned} \Delta E &= 1,004959 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \cdot \left[2,99792 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2 \\ &= 9,032093 \cdot 10^{-13} \text{ J} \approx \underline{\underline{9,03 \cdot 10^{-13} \text{ J}}} \end{aligned}$$

Die Energie ΔE wird noch in die **Einheit MeV** umgerechnet:

$$\Delta E = \frac{9,032093 \cdot 10^{-13}}{1,60218 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 5,637377 \cdot 10^6 \text{ eV} \approx \underline{\underline{5,64 \text{ MeV}}}$$

b) **Vergleich von ΔE und E_α**

Die in dem Zerfallsschema genannten Energien E_α geben die kinetischen Energien der α -Teilchen an. Ein Vergleich mit der in Teilaufgabe 4.2 a berechneten frei gesetzten Energie $\Delta E = 5,64 \text{ MeV}$ zeigt, dass auch die größte Energie $E_\alpha = 5,545 \text{ MeV}$ kleiner ist. Dies bedeutet, dass die berechnete Energie nicht vollständig in kinetische Energie übergeht. Folgt man dem Zitat von Otto Hahn, erhält das beim Zerfall übrigbleibende Restatom einen Rückstoß. Dadurch erhält dieses einen Teil der beim Zerfall eines Am-241-Kerns frei werdenden Energie in Form kinetischer Energie. Nur der restliche Teil steht dem α -Teilchen als kinetische Energie zur Verfügung.

Zur Veranschaulichung ein Zahlenbeispiel:

Beim Zerfall frei werdende Energie: $5,64 \text{ MeV}$

Kinetische Energie des α -Teilchens: $5,545 \text{ MeV}$

Kinetische Energie des Restatoms: $5,64 \text{ MeV} - 5,545 \text{ MeV} = 0,095 \text{ MeV}$

Bestätigung des im Zitat genannten Geschwindigkeitsmaximums

Bei einem nichtrelativistischen Ansatz erhält man die Geschwindigkeit v_α eines α -Teilchens aus der Gleichung für die kinetische Energie E_α :

$$E_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha \cdot v_\alpha^2$$

Division durch $\frac{1}{2} m_\alpha$ und anschließendes Wurzelziehen ergibt:

$$v_\alpha = \sqrt{\frac{2E_\alpha}{m_\alpha}}$$

Die schnellsten α -Teilchen besitzen die größte kinetische Energie, also wird der Wert $E_\alpha = 5,545 \text{ MeV}$ in die Gleichung für v_α eingesetzt:

$$v_\alpha = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,545 \text{ MeV}}{4,002603 \text{ u}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,545 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{4,002603 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 1,635 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Um das Ergebnis mit der im Zitat genannten Grenze von $\frac{1}{10}$ der Lichtgeschwindigkeit c zu vergleichen, wird v_α als Bruchteil von c berechnet:

$$\frac{v_\alpha}{c} = \frac{1,635 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,99792 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 0,055 \Leftrightarrow v_\alpha = \underline{\underline{0,055 c}} < 0,1 c$$

Die genannte Geschwindigkeitsgrenze wird also auch von den schnellsten α -Teilchen nicht überschritten.

c) Erklärung der γ -Strahlung

Im Zerfallsschema von Am-241 sind für die vier möglichen Übergänge die unterschiedlichen Übergangswahrscheinlichkeiten angegeben. Daraus kann man schließen, dass nach dem α -Zerfall eines Am-241-Kerns sich der Tochterkern, also der Np-237-Kern, mit hoher Wahrscheinlichkeit noch in einem angeregten Zustand befindet. Der anschließende Übergang von diesem angeregten Zustand in den Grundzustand des Tochterkerns erfolgt unter Aussendung von γ -Strahlung.

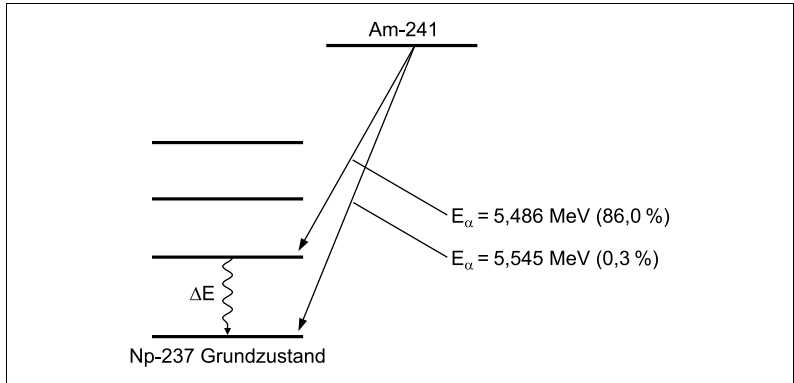


Abb. 7

Bestimmung der Energie

Die am häufigsten emittierten γ -Quanten sind diejenigen, die beim Zerfall mit der größten Übergangswahrscheinlichkeit emittiert werden. Nach Abb. 2 ist dies der Übergang, bei dem die α -Teilchen die Energie $E_{\alpha} = 5,486 \text{ MeV}$ erhalten. Der Np-237-Kern befindet sich dann in einem angeregten Zustand, der direkt in den Grundzustand übergeht. Dabei wird die Energiedifferenz $\Delta E = 5,545 \text{ MeV} - 5,486 \text{ MeV} = 0,059 \text{ MeV}$ in Form eines γ -Quants abgegeben (Abb. 7).

- d) Um den Patienten nur der γ -Strahlung, nicht aber der α -Strahlung auszusetzen, genügt es, einen **ausreichend großen Sicherheitsabstand** zum Am-241-Präparat einzuhalten. Grund: Die Reichweite von α -Teilchen beträgt in Luft nur wenige Zentimeter.

Sie können auch andere Maßnahmen anführen. Beispielsweise kann durch ein Blatt Papier, das man zwischen Patient und Am-241-Präparat positioniert, für eine ausreichende Absorption der α -Strahlung gesorgt werden.

4.3 a) Entstehung des Röntgenquants mit $E_{\text{Röntgen}} = 28,5 \text{ keV}$

Nach Abb. 3 trifft ein vom Am-241-Präparat emittiertes γ -Quant auf ein kernnahes Hüllelektron des Jod-Atoms, hier ein Elektron der K-Schale. Bei diesem **inneren Fotoeffekt** wird die Photonenergie vollständig auf das Hüll-



© **STARK Verlag**

www.pearson.de
info@pearson.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.