PROFESSOR ERKLÄRBÄR

Serie Physik · Folge 13 · Advanced

PHYSIK

LEHRERINFO ZUM VIDEO

Atomphysik und Kernphysik

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium · Sek II (Matura/Abitur)	16 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- die Entwicklung der Atommodelle von Thomson über Rutherford zu Bohr begründen,
- Linienspektren mit gequantelten Energieniveaus erklären und mit $E_n = -13{,}6\ \text{eV}/n^2$ Wellenlängen berechnen,
- Zerfallsgleichungen für α-, β^-- und γ-Zerfall aufstellen (Erhaltung von Massen- und Ladungszahl),
- das Zerfallsgesetz $N = N_0 \cdot (\tfrac{1}{2})^{t/T_{1/2}} = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ und die Aktivität $A = \lambda N$ anwenden,
- den Massendefekt und die Bindungsenergie mit $E = \Delta m \cdot c^2$ berechnen,
- an der Kurve der Bindungsenergie pro Nukleon begründen, warum Fusion und Spaltung Energie liefern.

02 Voraussetzungen

Folge 13 Grundlagen („Atome und Radioaktivität“): Aufbau des Atoms, Isotope, α-, β-, γ-Strahlung, Halbwertszeit. Folge 11 Advanced: $E = m \cdot c^2$. Folge 12 Advanced: $E = h \cdot f$, Elektronvolt. Mathematisch: Zehnerpotenzen, Exponential- und Logarithmusfunktion.

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT UND PRAXISBEISPIEL
0:00	Einstieg	1 g U-235 ≈ 2,8 t Steinkohle · Ident · Serien-Fahrplan
0:52	Was du brauchst	Kern und Hülle, Isotope · α, β, γ, Halbwertszeit · $E = m \cdot c^2$, $E = h \cdot f$
1:30	Atommodelle	Thomson · Streuversuch (Geiger, Marsden, Rutherford) · Stabilitätsproblem · Bohr 1913 · Orbitale · Merksatz

2:46	Linienspektren	Wasserstoff durchs Gitter · $E_n = -13{,}6\ \text{eV}/n^2$ · 3 → 2: 1,89 eV, 656 nm · Helium 1868 · Leuchtreklame, Polarlicht
4:01	Der Atomkern	Nukleonen, Z, A · ^{238}U · starke Kernkraft · Nuklidkarte
4:57	Zerfallsgleichungen	Erhaltungssätze · α, β^- (mit Antineutrino), γ · C-14 → N-14 PAUSE-FRAGE $^{238}\text{U} \rightarrow {}^{234}\text{Th} + {}^{4}\text{He}$
6:04	Das Zerfallsgesetz	$N(t)$, $\lambda = \ln 2 / T_{½}$ · Aktivität, Becquerel · Holzprobe 30 % → 10 000 Jahre · Lebensdauer · Merksatz PAUSE-FRAGE 1/16 in 24 h → 6 h
7:29	Der Massendefekt	He-4: $\Delta m = 0{,}030376$ u → 28,3 MeV, 7,1 MeV/Nukleon · Bindungsenergiekurve, Maximum bei Eisen · Merksatz
8:37	Kernspaltung	Hahn, Strassmann, Meitner, Frisch · U-235 + n · 200 MeV · Rechnung 1 g → $8{,}2 \cdot 10^{10}$ J · Kettenreaktion · Moderator, Steuerstäbe · Schweizer KKW · Tiefenlager
10:12	Kernfusion	Sonnenkern 15 Mio. °C · 0,7 % der Masse · D + T → 17,6 MeV · Tokamak · ITER
11:04	Turbinen-Baustein 13	Dampfturbine im KKW, gutes Drittel Wirkungsgrad · 84 000 t Wasser aus 100 m gegen 1 g Uran
12:02	Prüfungsfallen	vier Fallen (siehe 04)
12:42	Zusammenfassung	fünf Kernaussagen · Auflösung des Einstiegs (≈ 1 ‰ der Masse)
13:25	Quiz	4 Fragen · Endkarte Folge 14 Advanced (Finale)

04 Typische Fehlvorstellungen und Prüfungsfallen

- Massen- oder Ordnungszahl in der Zerfallsgleichung nicht erhalten – oben und unten getrennt bilanzieren (Kapitel 5, 11).
- Halbwertszeit und mittlere Lebensdauer verwechselt – $\tau = T_{½} / \ln 2 \approx 1{,}44 \cdot T_{½}$ (Kapitel 6, 11).
- Atommasse statt Kernmasse eingesetzt – Elektronenmassen berücksichtigen (Kapitel 7, 11).
- Das Bohr-Modell als vollständige Beschreibung – es erklärt Wasserstoff gut, versagt aber bei Mehrelektronenatomen (Kapitel 2, 11).
- „Beim β^--Zerfall kommt ein Elektron aus der Hülle." – Es entsteht im Kern, wenn sich ein Neutron in ein Proton umwandelt (Kapitel 5).

05 Einsatz im Unterricht

Einstieg: Spektren von Gasentladungslampen (H, He, Na) mit Handspektroskop oder Gitter betrachten.

Experiment: Zerfallsgesetz mit Würfeln oder Münzen simulieren und halblogarithmisch auswerten (Folge 13 Grundlagen).

Vertiefung: Aufgaben 2–11; Bindungsenergien aus Atommassen-Tabellen berechnen.

Prüfungsvorbereitung: Kapitel 11 und das Arbeitsblatt (Aufgaben im Stil von Matura-/Abiturprüfungen).

Hinweis: Werte gerundet: Heizwert Steinkohle ≈ 29 MJ/kg; Anteil der Kernenergie an der Schweizer Stromproduktion je nach Jahr rund 30–36 %; der Wirkungsgrad von Kernkraftwerken liegt bei etwa 33–36 %.
Sicherheit: Versuche mit radioaktiven Quellen nur nach den Strahlenschutzvorschriften (CH: StSV, D: StrlSchV).

06 Quellen

- Geiger, H.; Marsden, E. (1909): On a Diffuse Reflection of the α-Particles. Proc. R. Soc. A 82 · Rutherford, E. (1911): The Scattering of α and β Particles by Matter. Phil. Mag. 21
- Bohr, N. (1913): On the Constitution of Atoms and Molecules. Phil. Mag. 26
- Hahn, O.; Strassmann, F. (1939): Naturwissenschaften 27 · Meitner, L.; Frisch, O. R. (1939): Nature 143
- Wang, M. et al. (2021): The AME 2020 atomic mass evaluation. Chinese Physics C 45 · CODATA 2018 – physics.nist.gov
- Bundesamt für Energie (BFE): Schweizerische Elektrizitätsstatistik · Nagra: Standortvorschlag Nördlich Lägern (2022) · ITER Organization: iter.org
- EDK: Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen (Physik) · KMK: Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020)

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Atomphysik und Kernphysik

$h \cdot c \approx 1240$ eV·nm · 1 u ≙ 931,5 MeV · 1 MeV = $1{,}602 \cdot 10^{-13}$ J · $m_p = 1{,}007276$ u · $m_n = 1{,}008665$ u · 1 a ≈ $3{,}156 \cdot 10^{7}$ s · $g = 9{,}81$ m/s².

1 Merksätze ergänzen ●○○

Elektronen besetzen nur bestimmte _____ – die Energie ist _____.

Leichte Kerne _____, schwere _____ – beide Wege führen zum _____.

2 Wasserstoffspektrum ●●○

a) Berechne die Wellenlänge des Photons beim Sprung von $n = 4$ auf $n = 2$. Welche Farbe hat es? b) Wie viel Energie braucht man mindestens, um das Elektron aus dem Grundzustand ganz zu lösen?

3 Zerfallsgleichungen ●○○

Ergänze: a) Radium-226 ($Z = 88$) zerfällt durch α. b) Cobalt-60 ($Z = 27$) zerfällt durch β^-. Gib jeweils Massenzahl, Ordnungszahl und Element des Tochterkerns an.

4 Zerfallsreihe ●●●

U-238 ($Z = 92$) zerfällt über viele Schritte bis zum stabilen Blei-206 ($Z = 82$). Wie viele α- und wie viele β^--Zerfälle sind dafür nötig?

5 Iod-131 ●●○

Iod-131 hat eine Halbwertszeit von 8 Tagen. a) Wie viel Prozent sind nach 30 Tagen noch vorhanden? b) Berechne die Zerfallskonstante λ in 1/s.

6 Aktivität ●●○

Eine Probe enthält $1{,}0 \cdot 10^{18}$ Kerne Cäsium-137 ($T_{1/2}$ = 30 Jahre). Berechne ihre Aktivität in Becquerel.

7 Radiokarbon ●●○

a) Holzkohle aus einer Höhle enthält noch 25 % des ursprünglichen C-14. Wie alt ist sie? b) Eine andere Probe enthält noch 60 %. ($T_{1/2}$ = 5730 Jahre)

8 Deuteron ●●○

Der Kern des Deuteriums (1 Proton, 1 Neutron) hat die Masse 2,013553 u. Berechne Massendefekt, Bindungsenergie und Bindungsenergie pro Nukleon.

9 Kernkraftwerk ●●●

Ein Kernkraftwerk liefert 1000 MW elektrische Leistung bei einem Wirkungsgrad von 33 %. Wie viel Uran-235 wird pro Tag gespalten? (1 g U-235 liefert $8{,}2 \cdot 10^{10}$ J)

10 Fusion ●●●

Berechne die Energie bei D + T → He-4 + n aus den Atommassen: D 2,014102 u, T 3,016049 u, He-4 4,002603 u, n 1,008665 u. Warum darf man hier mit Atommassen rechnen?

11 Wasserturbine ●○○

Aus welcher Höhe müsste eine Tonne Wasser fallen, um so viel Energie zu liefern wie 1 g Uran-235?

12 Quiz aus dem Video – kreuze an ●○○

a) Rutherfords Streuversuch ☐ massive Kugeln ☐ winziger, schwerer Kern ☐ feste Bahnen

b) β^--Zerfall im Kern ☐ p → n ☐ n → p ☐ zwei Protonen fliegen weg

c) Energie durch Fusion ☐ leichte Kerne bis Eisen ☐ schwere wie Uran ☐ alle Kerne

d) Energie der Sonne ☐ Verbrennung ☐ Kernspaltung ☐ Fusion H → He

Lösungen

1 Merksätze

Energieniveaus · gequantelt · verschmelzen · spalten sich · Eisen

2 Wasserstoffspektrum

a) $\Delta E = 13{,}6\ \text{eV} \cdot (1/4 - 1/16) = 2{,}55\ \text{eV}$ · $\lambda = 1240 : 2{,}55 \approx 486\ \text{nm}$ – türkis (H-beta) · b) 13,6 eV (Ionisierungsenergie)

3 Zerfallsgleichungen

a) Ra-226 → Rn-222 ($Z = 86$) + He-4 · b) Co-60 → Ni-60 ($Z = 28$) + e^- + Antineutrino

4 Zerfallsreihe

Massenzahl sinkt um 32 → 8 α-Zerfälle (nur α ändert A) · 8 α senken Z auf 92 − 16 = 76 · bis 82 fehlen 6 → 6 β^--Zerfälle

5 Iod-131

a) $(½)^{30/8} = 0{,}5^{3{,}75} \approx 0{,}074$ → rund 7,4 % · b) $\lambda = \ln 2 : (8 \cdot 86\,400\ \text{s}) \approx 1{,}0 \cdot 10^{-6}\ 1/\text{s}$

6 Aktivität

$\lambda = \ln 2 : (30 \cdot 3{,}156 \cdot 10^7\ \text{s}) \approx 7{,}3 \cdot 10^{-10}\ 1/\text{s}$ · $A = \lambda \cdot N \approx 7{,}3 \cdot 10^8\ \text{Bq}$

7 Radiokarbon

a) 25 % = $(½)^2$ → 2 Halbwertszeiten = 11 460 Jahre · b) $t = 5730 \cdot \ln(1/0{,}6) : \ln 2 \approx 4200$ Jahre

8 Deuteron

$\Delta m = 1{,}007276 + 1{,}008665 - 2{,}013553 = 0{,}002388\ \text{u}$ · $E_B = 0{,}002388 \cdot 931{,}5 \approx 2{,}22\ \text{MeV}$ · ≈ 1,11 MeV pro Nukleon (sehr schwach gebunden)

9 Kernkraftwerk

Wärmeleistung $1000 : 0{,}33 \approx 3030\ \text{MW}$ · pro Tag $3{,}03 \cdot 10^9\ \text{W} \cdot 86\,400\ \text{s} \approx 2{,}6 \cdot 10^{14}\ \text{J}$ · : $8{,}2 \cdot 10^{10}\ \text{J/g} \approx 3200\ \text{g} \approx 3{,}2\ \text{kg}$

10 Fusion

vorher 5,030151 u, nachher 5,011268 u · $\Delta m = 0{,}018883\ \text{u}$ · $E \approx 17{,}6\ \text{MeV}$ · Die Elektronen heben sich auf: links 1 + 1, rechts 2 Elektronen.

11 Wasserturbine

$h = E : (m \cdot g) = 8{,}2 \cdot 10^{10} : (1000 \cdot 9{,}81) \approx 8{,}4 \cdot 10^{6}$ m – über 8000 km, mehr als der Erdradius

12 Quiz

a) winziger, schwerer Kern b) n → p c) leichte Kerne bis Eisen d) Fusion H → He