

Lehrplananbindung: 12.4 Ein einfaches Kernmodell der Quantenphysik, Eigenschaften der Kernkraft und zugehöriges Potentialtopfmodell

Kompetenzen: Neben den Fachkenntnissen liegt der Schwerpunkt bei

Erkenntnisgewinnung	<i>Fachmethoden wiedergeben</i>	Fachmethoden nutzen	<i>Fachmethoden problembezogen auswählen u. anwenden</i>
Kommunikation	<i>Mit vorgegebenen Darstellungsformen arbeiten</i>	Geeignete Darstellungsformen nutzen	<i>Darstellungsformen selbstständig auswählen u. nutzen</i>
Bewertung	<i>Vorgegebene Bewertungen nachvollziehen</i>	<i>Vorgegebene Bewertungen beurteilen und kommentieren</i>	<i>Eigene Bewertungen vornehmen</i>

Das Potentialtopfmodell von Ra-223

Ra-223 ist ein α - Strahler.

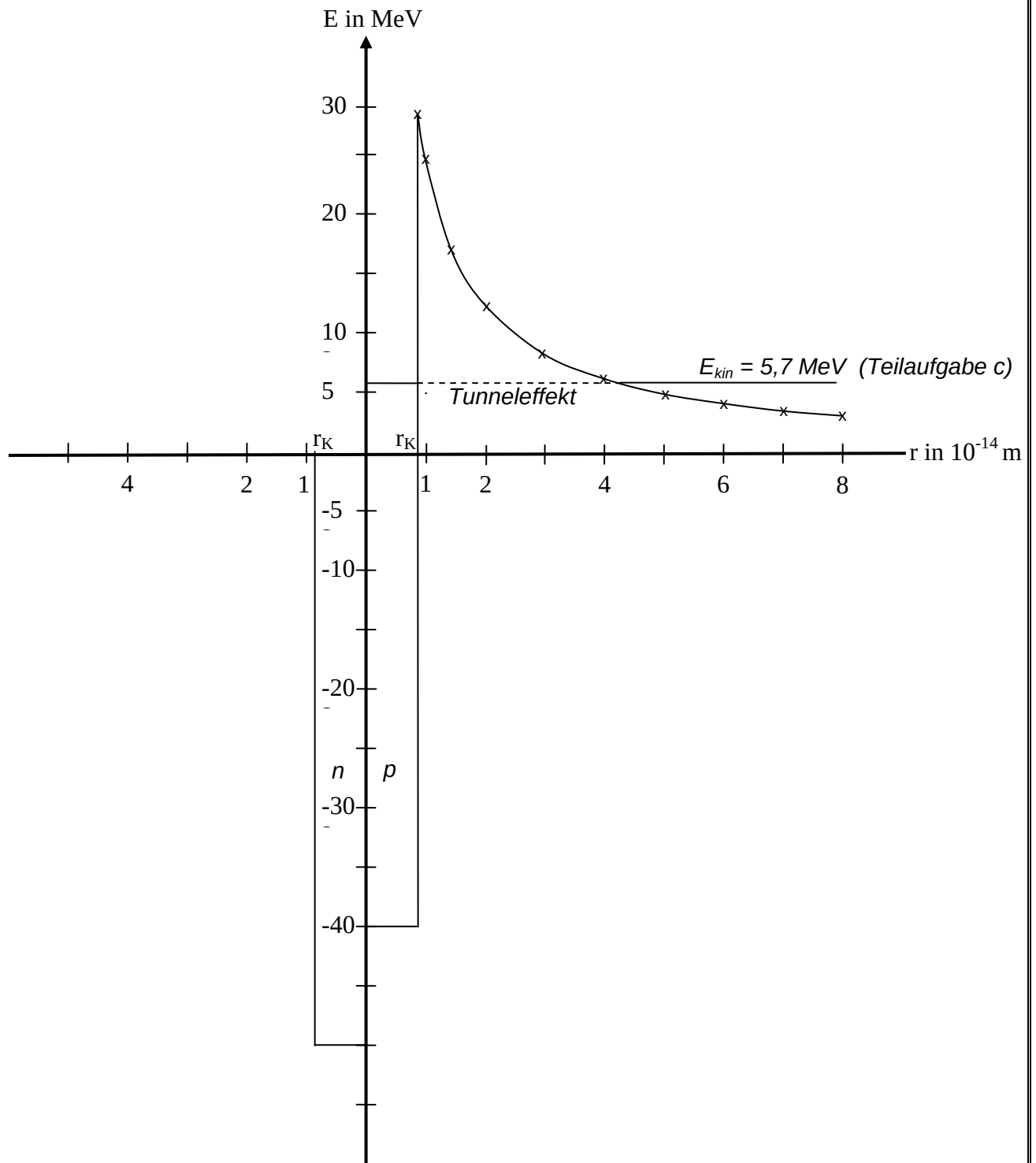
- Zeichnen Sie das Potentialtopfmodell für den Ra-223-Kern.
Verwenden Sie als Maßstab: RW-Achse: $1 \text{ cm} \triangleq 10^{-14} \text{ m}$; HW-Achse: $1 \text{ cm} \triangleq 5 \text{ MeV}$
Berücksichtigen Sie bei der Anfertigung der Zeichnung den Kernradius
 $r_K \approx 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{A}$ (mit der Massenzahl A).
Verwenden Sie dabei, dass bei schweren Kernen die Topftiefe für Protonen bei ungefähr – 40 MeV und für Neutronen bei circa – 50 MeV liegt.
- Begründen Sie wie groß die kinetische Energie eines beim Zerfall von Ra-223 freigesetzten α -Teilchens in sehr großer Entfernung vom Kern sein müsste, wenn sich das α -Teilchen klassisch (ohne quantenphysikalische Effekte) verhalten würde. Warum ist der Zusatz „in sehr großer Entfernung vom Kern“ erforderlich?
- Ra-223 emittiert α -Teilchen mit der kinetischen Energie von 5,7 MeV .Stellen Sie kurz die wesentlichen Elemente der quantenphysikalischen Deutung des α -Zerfalls dar (in Worten und in der Zeichnung aus a)).
- Die meisten α -Strahler emittieren α -Teilchen mit verschiedenen kinetischen Energien. Die beiden Forscher Geiger und Nutall entdeckten 1911, dass bei einem α -Strahler die Halbwertszeit des jeweiligen Zerfalls um so kleiner ist, je größer die kinetische Energie der emittierten Teilchen ist. Erklären Sie diese Beobachtung.

Lösungen:

a) $r_K \approx 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{A} = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{223} \approx 8,5 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

Höhe des Coulombwalls: $E_{\text{pot}} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r_K} = \frac{86 \cdot 2 \cdot e^2}{4\pi\epsilon_0 r_K} = 29 \text{ MeV}$

$r \text{ in } 10^{-14} \text{ m}$	r_K	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
$E \text{ in MeV}$	29	25	12	8,2	6,2	4,9	4,1	3,5	3,1



b) Die kinetische Energie des α -Teilchens müsste (mindestens) der Höhe des Coulombwalls entsprechen, also 29 MeV. Diese Energie ist nach klassischer Vorstellung notwendig, damit das α -Teilchen den Coulombwall überwinden kann.

In der Entfernung $r = r_K$ wird die gesamte Energie zunächst als potentielle Energie des α -Teilchens im elektrischen Feld des Kerns vorliegen. Während der Abstoßung vom Kern wird sie in kinetische Energie umgewandelt. Für $r \rightarrow \infty$ hat das Teilchen dann nur noch kinetische Energie.

c) Bei der Bildung des α -Teilchens aus zwei Neutronen und zwei Protonen im Kern wird soviel Bindungsenergie frei, dass das α -Teilchen auf ein Niveau gehoben wird, bei dem die Dicke des Potentialwalls endlich ist.

Quantenmechanische Rechnungen zeigen, dass bei endlicher Walldicke die dem α -Teilchen zugeordnete Wellenfunktion auch außerhalb des Kerns ein von Null verschiedenes Amplitudenquadrat besitzt. Dies bedeutet anschaulich, dass das α -Teilchen die Potentialbarriere endlicher Breite mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit "durchtunneln" kann.

d) Je geringer die Breite des Coulombwalls ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für das "Durchtunneln". Höhere kinetische Energien der α -Teilchen sind also wahrscheinlicher.

Eine höhere Zerfallswahrscheinlichkeit bedeutet aber eine kleinere Halbwertszeit ($\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$).