

Übungen zur Vorlesung Mod. Experimentalphysik I

KIT, Sommersemester 2024

Prof. Dr. T. Müller, Dr. D. Hinz



Vorlesungen	Di 9:45 + Do 11:30, Gerthsen-Hörsaal 30.21
Übungen	Mo 8:00, 9:45, 11:30 (Anmeldung im Ilias)
Sprechstunde	Dr. Hinz: nach Vereinbarung (dominic.hinz@kit.edu)
Ilias	s.kit.edu/ex4ss24

Übungsblatt 10 – Bearbeitung bis 08.07.2024

(30) Bindungsenergien und Kernmassen

In Tabelle 1 sind die Massen einiger leichter Kerne Atome aufgelistet.

(a) Was ist die maximale Energie des Beta-Teilchens aus dem Zerfall von ${}^3\text{H}$ in ${}^3\text{He}$?

(b) Welche Fusionsreaktion produziert mehr Energie?



Tabelle 1: Massen einiger leichter Atome (d.h. Kern inkl. der Elektronen) (1 amu = 931,5 MeV).

Nuklid	Masse (amu)	Nuklid	Masse (amu)
${}^1\text{H}$	1,00783	${}^3\text{He}$	3,01603
${}^2\text{H}$	2,01410	${}^4\text{He}$	4,02603
${}^3\text{H}$	3,01605	${}^6\text{Li}$	6,01512

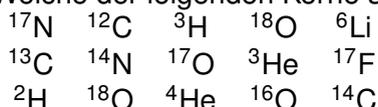
(31) Einstieg in die Kernphysik

Nuklide stimmen sowohl in der Anzahl der Protonen als auch in der Anzahl der Neutronen im Atomkern überein. Nuklide werden wie folgt notiert:



Hierbei ist A die Nukleonenzahl (oder Massenzahl), Z die Ordnungszahl und X das Elementsymbol.

(a) Welche der folgenden Kerne sind i) Isotope, ii) Isobare und iii) Isotone zueinander?



- (b) Vervollständigen Sie die Schreibweise nach Gleichung 3.

Anschließend betrachten wir ein paar Abschätzungen zur Dichte von Kernmaterie. Nehmen Sie in beiden Teilaufgabenstellungen an, dass die Neutronen wie Tropfen ohne Freiräume den gesuchten Raum ausfüllen können (Tröpfchenmodell).

- (c) Der Radius eines Protons sowie eines Neutrons ist ungefähr 0.8 fm. Stellen Sie sich einen Ball aus Neutronen vor, der die Größe Ihres Kopfes hat (z.B. mit Radius $r = 10$ cm). Wieviel würde er wiegen?
- (d) Ein Neutronenstern ist ein kollabierter Stern, der beinahe vollständig aus Neutronen besteht. Was wäre die Größe des Neutronensterns, falls er die doppelte Sonnenmasse aufweist? (Masse der Sonne $\approx 2 \cdot 10^{30}$ kg.)

Im Atomphysikteil der Vorlesung haben wir bereits die Rutherford-Streuung kennengelernt, die die Streuung an einer Punktladung beschreibt. Nun haben wir in der Vorlesung gelernt, dass der Kern und damit die Ladungsverteilung selber eine Ausdehnung besitzt und somit die Streuung beeinflusst wird.

- (e) Mit welchem Impuls müssen Elektronen ausgestattet sein, um Kernstrukturen aufzulösen?

Der Wirkungsquerschnitt der Rutherford-Streuung beträgt

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4E_{\text{kin}}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4 \Theta/2}. \quad (4)$$

Die endliche Ladungsverteilung im Kern verändert den Wirkungsquerschnitt mittels des sogenannten Formfaktors $F(\vec{q}^2) = \int e^{i\vec{q}\vec{x}/\hbar} \rho(\vec{x}) d\vec{x}$.

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R \cdot |F(\vec{q}^2)|^2 \quad (5)$$

- (f) Erklären Sie in eigenen Worten, was man unter \vec{q} versteht.
- (g) Berechnen Sie den Formfaktor eines kugelförmigen Kerns mit einer homogenen Ladungsverteilung $\rho(\vec{x})$.
Hinweis: Integrieren Sie in Kugelkoordinaten (d.h. $d\vec{x} = r^2 \sin(\theta) dr d\phi d\theta$ und $\vec{x} = r \cdot \cos(\theta)$). Für die Integration können Sie dann $u = i\vec{q} \cdot r \cdot \cos(\theta)$ substituieren und nach du integrieren.

(32) Bethe-Weizsäcker-Massenformel

Die Bethe-Weizsäcker-Formel ist eine Formel zur Beschreibung der Bindungsenergie von Atomkernen nach dem sogenannten Tröpfchenmodell. Bindungsenergie kann als negative potentielle Energie betrachtet werden. Im Tröpfchenmodell werden die Nukleonen wie Moleküle eines inkompressiblen geladenen Flüssigkeitströpfchens betrachtet.

- (a) Wie lautet die Bethe-Weizsäcker-Massenformel für die Bindungsenergie E_B ? Erklären Sie alle auftretenden Terme.
- (b) Was bedeutet der Ausdruck E_B/A und welcher Term wird für große Kerne am dominantesten?

- (c) Welcher Kern hat eine pro Nukleon größere Bindungsenergie, ^{60}Ni oder ^{52}Cr ?
- (d) Warum kann man durch die Spaltung von Uran-235 Energie gewinnen? Nehmen Sie an, dass ^{235}U in zwei ungefähr gleich große Kernfragmente zerfällt und schätzen Sie dadurch die Energie ab, die durch diese Reaktion frei wird.
- (e) Wie viel Energie wird frei, wenn 1 kg Uran gespalten wird? Vergleichen Sie diesen Wert mit der Energiemenge von konventionellen Sprengstoffen wie beispielsweise TNT ($\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$) mit einer Explosionswärme von $3725 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

(33) Fermigas-Modell

Der Radius eines Kerns der Nukleonenzahl A kann durch folgenden Ausdruck abgeschätzt werden

$$R = 1,2 \text{ fm} \cdot A^{1/3} . \quad (6)$$

- (a) Berechnen Sie die Größe von ^{56}Fe - und von ^{238}U -Kernen. In welcher Zeit kann ein Nukleon mit einer kinetischen Energie von 40 MeV, die der sogenannten Fermi-Energie entspricht, einen ^{56}Fe - sowie einen ^{238}U -Kern durchqueren?
- (b) Schätzen Sie aus der Heisenberg'schen Unschärferelation den typischen Impuls eines Nukleons in den genannten Kernen ab. Was ist die entsprechende typische Energie? Vergleichen Sie die Energien mit Fermienergie-Werten aus der Vorlesung.

(*) Punkteverteilung

Aufgabe	Teilaufgabe	Punkte
30	a, b	je 1
31	a, b, g	je 1
31	c-f	je 0,5
32	a	1,5
32	b	0,5
32	c, d, e	je 1
33	a, b	je 1

Bei Verständnisfragen gerne das Forum im ILIAS nutzen.