

# 1 Das Daltonsche Atommodell: Wie groß ist ein Atom?

**Material** Geschirrspülmittel, Wasser, Messbecher, Spritze (5 ml), fein gemahlener Pfeffer, Schale

**Formeln** Kreisfläche:  $A = \pi r^2$ ; Zylindervolumen:  $V = h \cdot A$

## Durchführung

1. Verdünne das Geschirrspülmittel mit Wasser im Verhältnis 1:200.
2. Fülle die Lösung in die Spritze.
3. Fülle die Schale ca. 1 cm hoch mit Wasser und bestreue die Oberfläche dünn mit Pfeffer.
4. Gebe nun einen Tropfen Seifenlösung in die Mitte der Schale. Messe den Durchmesser des entstehenden Kreises.
5. Bestimme das Volumen des Tropfens durch Abmessen von 100 Tropfen.

## Auswertung

Durchmesser Seifenkreis: .....

Fläche Seifenkreis: .....

Volumen von 100 Tropfen Seifenlösung: .....

Volumen von einem Tropfen Seifenlösung: .....

Volumen der Seife in einem Tropfen Seifenlösung: .....

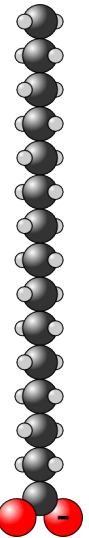
Höhe des Seifenzylinders: .....

Abschätzung der Moleküllänge: .....

Ein Seifenmolekül besteht aus einer Kette von 12 bis 18 Kohlenstoffatomen.

Abschätzung: Durchmesser des Kohlenstoffatoms: .....

Literaturwert: Durchmesser des Kohlenstoffatoms:  $\approx 150$  pm



## 2 Das Thomsonsche Atommodell

1897 untersucht Joseph John Thomson den Aufbau des Kathodenstrahls in der Kathodenstrahlröhre. Abbildung 2.1 zeigt den schematischen Aufbau einer braunschen Röhre, die einer spezielle Version der Kathodenstrahlröhre bzw. Fadenstrahlröhre ist.

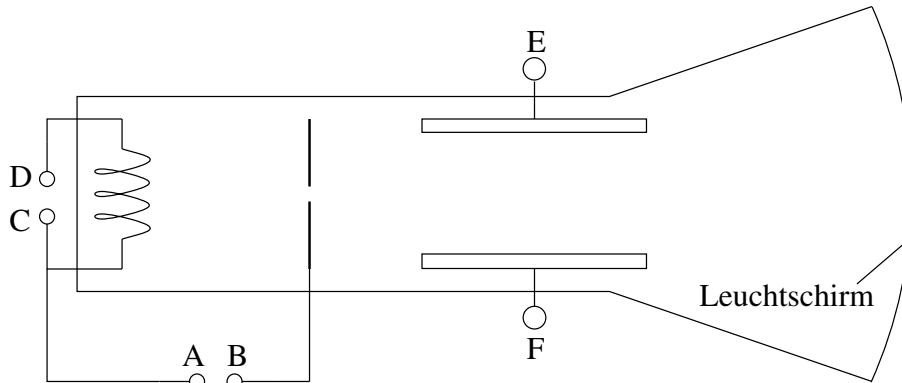
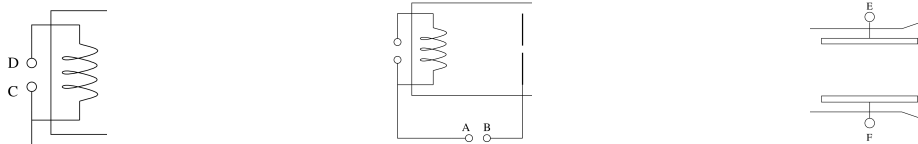


Abbildung 2.1: Braunsche Röhre (schematisch)

An einer Braunschen Röhre können an den Punkten A und B, C und D sowie E und F Spannungen angelegt werden. Bei geeigneter Einstellung ist auf dem Leuchtschirm ein heller Punkt zu sehen.



### Beobachtung

A B	C D	E F	Beobachtung
+ -	Aus	Aus	
- +	Aus	Aus	
Aus	An	Aus	
+ -	An	Aus	
- +	An	Aus	
- +	An	+ -	
- +	An	- +	

### Deutung

Um Ladungen aus einem Leiter herauszulösen benötigt man \_\_\_\_\_ in Form von \_\_\_\_\_. Diesen Effekt nennt man den \_\_\_\_\_.

In einem elektrischen Strom fließen \_\_\_\_\_ Ladungen. Diese Ladungen sind an Teilchen gebunden, die man \_\_\_\_\_ nennt.

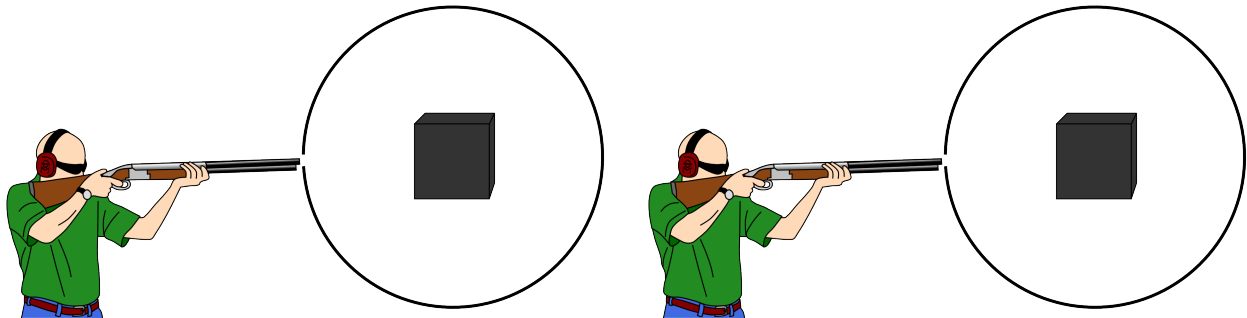
Die Elektronen stammen aus dem \_\_\_\_\_. Ein Atom kann daher nicht \_\_\_\_\_ sein. Atome bestehen aus \_\_\_\_\_ geladenen Elektronen, die in einem \_\_\_\_\_ geladenen Medium eingebettet sind.

### 3 Rutherford-Versuch

Im Rutherford-Versuch wird eine Metallfolie (z. B. Gold) mit Alpha-Teilchen beschossen und die winkelhangige Intensität gemessen.

**Atommodell nach Dalton (1840)** *Atome sind wie massive Billardkugel, die dicht aneinander liegen.*

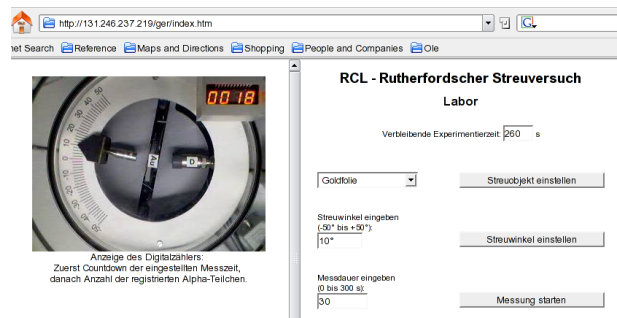
**Atommodell nach Thomson (1903)** *Atome bestehen aus einer diffusen gleichmäßig verteilten Masse, die positiv geladen ist, in der Elektronen wie Rosinen im Brotteig eingebunden sind. (Plumpudding- oder Rosinenbrot-Modell)*



**A 3.1.** Diskutiere, welches Verhalten die Alpha-Teilchen zeigen mustn, wenn Sie auf mehrere Lagen von Atomen treffen wurdn, die den oben beschriebenen Modellen entsprechen.

#### 3.1 Online-Versuch

Im WWW kann man ferngesteuerte Labore für den Rutherford-Versuch finden. Unter der Webadresse <http://137.193.61.237/ger/index.htm> findet man ein solches *Remotely Controlled Laboratory* kurz *RCL*. Folgende Daten wurden einem solchem RCL entnommen.



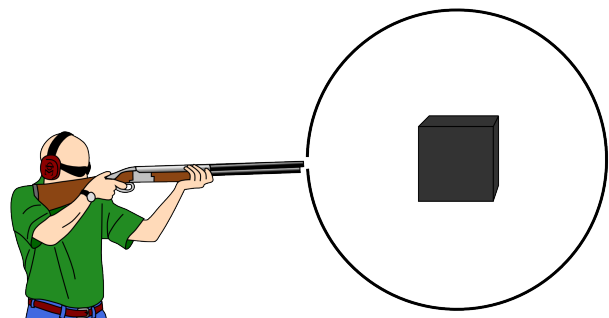
Winkel [Grad]	-20	-15	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	15	20
Zählrate	1	1	20	42	68	180	250	298	249	176	72	40	18	2	1

Ein Versuch über den vollen Umkreis liefert folgendes Ergebnis.

$\alpha$ [°]	-170	-150	-130	-110	-90	-70	-50	-30	-10
Rate	13	30	33	41	99	183	691	4580	36 249
$\alpha$ [°]	10	30	50	70	90	110	130	150	170
Rate	36 176	4730	633	193	77	40	35	33	29

**A 3.2.** Werte die Versuche aus.

- Zeichne die in der Tabelle angegebenen Werte in einen Graphen.
- Veranschauliche den Graphen in der nebenstehenden Grafik
- Begründe, welches Atommodell besser dem Versuchsergebnis entspricht.



## 4 Nuklidkarte

**A 4.1.** Vor 20 Jahren wurde ein Behälter mit reinem Kohlenstoff-14 befüllt. Als man eine Probe des Materials heute untersuchte, stellte man neben dem Kohlenstoff-14 auch Stickstoff-14 fest. Nimm an, dass die Probe nicht kontaminiert wurde.

- Trage C-14 und N-14 in die Nuklidkarte ein.
- Beschreibe den Unterschied zwischen C-14 und N-14.
- Stelle eine Theorie auf, wie sich C-14 in N-14 ohne äußere Einflüsse umwandeln kann.
- In Proben von Wasserstoff-3 findet man nach längerer Zeit auch Helium-3-Isotope. Trage beide Isotope in die Nuklidkarte ein. Passt Deine Theorie auch auf diese beiden Isotope.
- Kalium-40 findet man in der Natur in Kombination mit Calcium-40. Trage die Isotope wieder in die Nuklidkarte ein und überprüfe Deine Theorie.
- Bei allen drei Proben registrieren Teilchendetektoren energiereiche freie Elektronen. Überprüfe, ob Deine Theorie mit dieser Beobachtung übereinstimmt.

Diese Form des radioaktiven Zerfalls nennt man **Beta-Minus-Zerfall**. Dabei zerfällt ein \_\_\_\_\_ in ein \_\_\_\_\_ und ein \_\_\_\_\_.

**A 4.2.** Vor 10 Jahren wurde ein Behälter mit reinem Natrium befüllt. Neben dem stabilen Isotop Natrium-23 befand sich in der Probe auch das radioaktive Natrium-22. Als man eine Probe des Materials heute untersuchte, stellte man kaum noch Natrium-22 in der Probe fest, dafür aber Neon-22. Nimm an, dass die Probe nicht kontaminiert wurde.

- Trage Na-22, Na-23 und Ne-22 in die Nuklidkarte ein.
- Beschreibe den Unterschied zwischen Na-22 und Ne-22.
- Stelle eine Theorie auf, wie sich Na-22 in Ne-22 ohne äußere Einflüsse umwandeln kann.
- Es wurde versucht per Kernreaktion Sauerstoff-14 herzustellen. Nach ein paar Minuten war aber nichts mehr vom Sauerstoff-14 zu finden, dafür gabe es jetzt Stickstoff-14-Isotope in der Probe. Trage beide Isotope in die Nuklidkarte ein. Passt Deine Theorie auch auf diese beiden Isotope.
- Beryllium-7 findet man in der Natur in Kombination mit Lithium-7. Trage die Isotope wieder in die Nuklidkarte ein und überprüfe Deine Theorie.
- Bei allen drei Proben registrieren Teilchendetektoren energiereiche freie Positronen. Überprüfe, ob

Deine Theorie mit dieser Beobachtung übereinstimmt.

Diese Form des radioaktiven Zerfalls nennt man **Beta-Plus-Zerfall**. Dabei zerfällt ein \_\_\_\_\_ in ein \_\_\_\_\_ und ein \_\_\_\_\_.

**A 4.3.** Benutze die Nuklidkarte aus Deinem Tafelwerk um folgende Aufgaben zu lösen.

- Zeichne die Isotope, Isotone und Isobare von Ne-22 in die Nuklidkarte ein.
- Zeichne die Isotope, Isotone und Isobare von O-18 in die Nuklidkarte ein.
- Zeichne die Isotope, Isotone und Isobare von Si-28 in die Nuklidkarte ein.
- Ergänze die Nuklidkarte mit allen stabilen Nukliden.

**A 4.4.** Uran besteht aus den langlebigen Isotopen U-234, U-235 und U-238. In Uranerz können auch die folgenden Isotope des Thoriums Th-230, Th-231 und Th-234 festgestellt werden.

- Trage die genannten Isotope in die zweite Nuklidkarte ein.
- Begründe, welche Uran und Thoriumisotope zusammengehören.
- Beschreibe den Unterschied jeweils zwischen den Uran- und Thorium-Isotopen.
- Stelle eine Theorie auf, wie sich die genannten Uran-Isotope ohne äußere Einflüsse in Thorium umwandeln können.
- Bei allen drei Vorgängen registrieren Teilchendetektoren energiereiche freie Heliumkerne. Überprüfe, ob Deine Theorie mit dieser Beobachtung übereinstimmt.

Beider dieser Form des radioaktiven Zerfalls handelt es sich um den **Alpha-Zerfall**. Dabei stößt der Kern einen \_\_\_\_\_ ab, der aus zwei \_\_\_\_\_ und zwei \_\_\_\_\_ besteht.

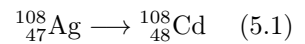
**A 4.5.** Die Isotope U-234, U-235, U-238 und Th-232 sind Ausgangspunkte von Zerfallsreihen. Trage in die Nuklidkarte alle Tochterkerne der Zerfallsreihen ein. Bei welchen Kernen enden die Zerfallsreihen.





## 5 Zerfallsgesetz

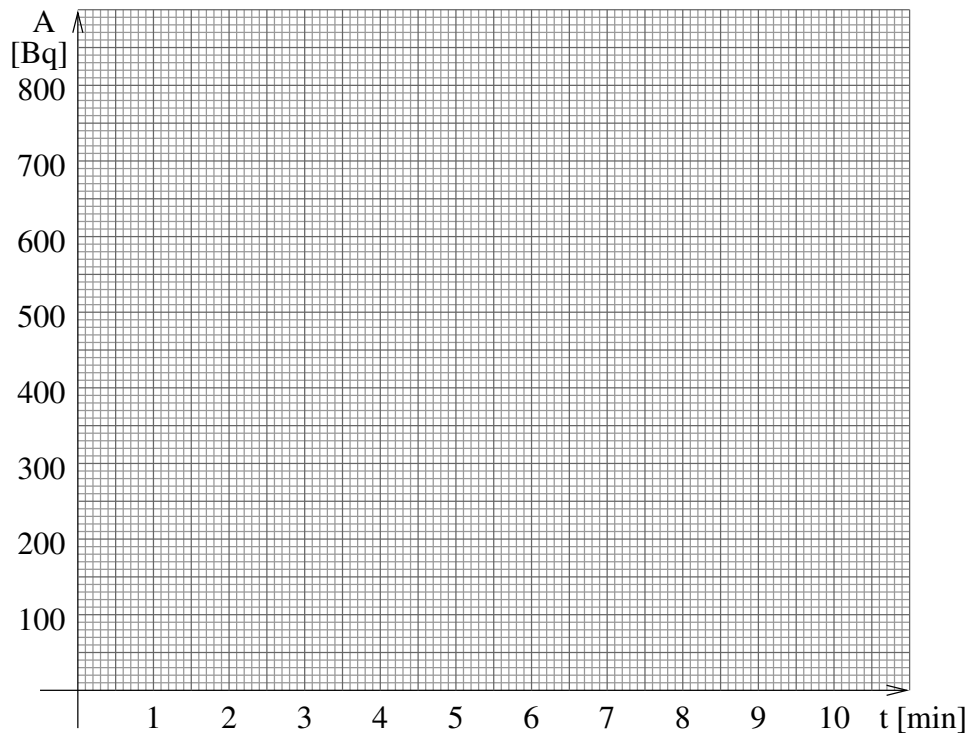
Silber-108 ist ein Betastrahler, der in das stabile Isotop Cadmium-108 zerfällt.



Zeit in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aktivität in Bq	832	631	478	362	274	208	158	119	91	69	52

Tabelle 5.1: Für eine Probe von Silber-108 gemessene Aktivitätswerte.

1. Stelle die Messwerte als Graphen dar.



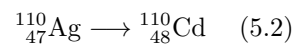
2. Bestimme aus dem Graphen die Zeit, in der die Aktivität auf die Hälfte, auf ein Viertel, auf ein Achtel gefallen ist.

Aktivität in %	100	50	25	12,5
Aktivität in Bq	832			
Zeit in min	0			

Die Aktivität der Probe halbiert sich alle \_\_\_\_\_ Minuten.

3. Bestimme die Zeit, wenn eine Aktivität von 26 Bq gemessen werden würde.

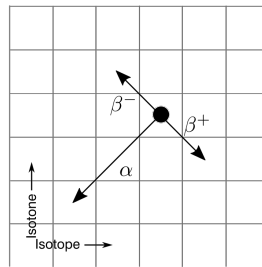
4. Der Zeitraum, in dem sich die Aktivität bzw. die Anzahl der Kerne um die Hälfte reduziert, bezeichnet man als **Halbwertszeit**. Das Isotop Silber 110 hat eine Halbwertszeit von ungefähr 25 s.



Zeit in s	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
Aktivität in Bq	832										
Zeit in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aktivität in Bq	832										

Tabelle 5.2: Ergänze die zu erwartenden Aktivitätswerte für eine Probe von Silber-110.

## 6 Zerfallsreihen



**A 6.1.** Ergänze sinnvoll die Lücken im Text.

- a) Bei einem  $\beta^-$ -Zerfall verringert sich die \_\_\_\_\_ um 1. Dagegen erhöht sich um 1 die \_\_\_\_\_. Die \_\_\_\_\_ bleibt gleich.
- b) Bei einem  $\beta^+$ -Zerfall \_\_\_\_\_ sich die Ordnungszahl um \_\_\_\_, während sich die Neutronenzahl um \_\_\_\_\_. Die Massenzahl \_\_\_\_\_.
- c) Nach einem  $\alpha$ -Zerfall hat sich die Ordnungszahl um \_\_\_\_\_, die Neutronenzahl um \_\_\_\_\_ und die Massenzahl um \_\_\_\_\_.
- d) Den vereinfachten Auszug aus der Nuklidkarte findet man in der Formelsammlung auf den Seiten \_\_\_\_\_. Das Periodensystem steht auf Seite \_\_\_\_\_.
- e) Die Abkürzung Pu steht für das Element \_\_\_\_\_.
- f) Die Abkürzungen Ra und Rn stehen für die Elemente \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_.
- g) Polonium hat die Abkürzung \_\_\_\_\_ und Bismut hat die Abkürzung \_\_\_\_\_.
- h)  $^{232}\text{Th}$  ist ein Isotop des Elements \_\_\_\_\_, wobei \_\_\_\_\_ Protonen und \_\_\_\_\_ Neutronen im Kern sind.
- i) Das Nuklid  $^{238}\text{Pa}$  zerfällt durch einen \_\_\_\_\_-Zerfall zu \_\_\_\_\_.
- j) Das Nuklid  $^{232}\text{Np}$  ist ein \_\_\_\_\_-Strahler. Das Tochternuklid ist \_\_\_\_\_.
- k) Durch einen \_\_\_\_\_-Zerfall zerfällt  $^{14}\text{C}$  in das Nuklid \_\_\_\_\_.
- l)  $^{212}\text{Po}$  ist ein Nuklid, dass sich durch einen \_\_\_\_\_-Zerfall in das Nuklid \_\_\_\_\_ umwandelt.
- m) Das Nuklid  $^{230}\text{Th}$  entsteht durch einen  $\beta^+$ -Zerfall aus \_\_\_\_\_, durch einen  $\beta^-$ -Zerfall aus \_\_\_\_\_ und durch einen  $\alpha$ -Zerfall aus \_\_\_\_\_.
- n)  $^{238}\text{Pu}$  ist ein \_\_\_\_\_-Strahler mit einer Halbwertszeit von \_\_\_\_\_. Das dadurch entstehende Tochternuklid ist \_\_\_\_\_.
- o) Das schwerste stabile Nuklid ist  $^{209}\text{Bi}$ . Es kann aus den Nukliden \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ entstehen. In seltenen Fällen auch aus dem Nuklid \_\_\_\_\_.
- p) Die Zerfallsreihe von  $^{226}\text{Ra}$  endet beim stabilen Nuklid \_\_\_\_\_.
- q) Die Zerfallsreihe von  $^{220}\text{Rn}$  endet beim stabilen Nuklid \_\_\_\_\_.



## 7 Massendefekt

Atome besitzen eine sehr kleine Masse. Um diese besser beschreiben zu können, wurde die atomare Masseneinheit  $u$  eingeführt. Sie basiert auf der Masse des Kohlenstoff-12-Atoms ( $^{12}\text{C}$ ) und ist definiert als  $\frac{1}{12}$  dieser Masse. Ein  $^{12}\text{C}$ -Atom wiegt daher genau 12  $u$ . Es gilt:  $1 u = 1,660540 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

Grob gesagt ist für die Masse eines Atoms der Atomkern mit seinen Protonen und Neutronen entscheidend. Als Näherung nehmen wir für die Masse eines Protons, sowie eines Neutrons 1  $u$  an.

Genauere Messungen der Atombausteine (Protonen, Neutronen und Elektronen) in freier Form ergaben folgende Massen.

$$m_{\text{Proton}} = 1,007276 u$$

$$m_{\text{Neutron}} = 1,008665 u$$

$$m_{\text{Elektronen}} = 0,000548580 u$$

**A 7.1.** Untersuchung am  $^{12}\text{C}$ -Atom.

- Gebe die Atombausteine eines  $^{12}\text{C}$ -Atoms an.
- Gebe die Masse eines  $^{12}\text{C}$ -Atoms in atomaren Masseneinheiten an.
- Berechne die Masse des  $^{12}\text{C}$ -Atoms aus den Massen der freien Atombausteine.
- Vergleiche beide Massen und bestimme die Differenz. Beurteile das Ergebnis.

	Anzahl	Masse
Protonen		
Neutronen		
Elektronen		
Masse Bausteine		
Masse Atom		
Differenz		

**A 7.2.** Für ein Helium-4-Atom kann die Masse sehr gut experimentell bestimmt werden. Man erhält den Wert  $m_{\text{He-4-Atom}} = 4,002603 u$ .

- Gebe die Atombausteine eines  $^4\text{He}$ -Atoms an.
- Berechne die Summe der Massen der einzelnen Atombausteine eines  $^4\text{He}$ -Atoms.
- Berechne die Differenz  $\Delta m$  zwischen Atommasse und der Masse der einzelnen Atombausteine. Bestimme um wieviel Prozent die Masse der einzelnen Bausteine von der Masse des Atoms abweicht.

**A 7.3.** Auch die Masse eines Helium-4-Kerns kann genau bestimmt werden. Seine Masse beträgt  $m_{\text{He-4-Kern}} = 4,001506 u$ . Berechne die Abweichung  $\Delta m$  der Massen der Kernbausteine von der Gesamtmasse des Kerns wie in der vorherigen Aufgabe.

Ergänze die folgenden Sätze:

Die Masse eines Atoms ist \_\_\_\_\_ als die Summe der Massen seiner Atombausteine.

Die Masse eines Atomkerns ist \_\_\_\_\_ als die Summe der Massen seiner Bausteine.

Dieses Phänomen wird als **Massendefekt**  $\Delta m$  bezeichnet.

**A 7.4.** Nach einer Theorie von Albert Einstein sind Masse  $m$  und Energie  $E$  proportionale Größen. Der

Proportionalitätsfaktor ist dabei das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit ( $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ).

$$E = m \cdot c^2 \quad [E] = 1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \quad (7.1)$$

a) Ergänze:

Wird einem System Energie zugeführt, dann \_\_\_\_\_ sich seine Masse.

Wird einem System Energie entzogen, dann \_\_\_\_\_ sich seine Masse.

b) Berechne nach der Formel von Einstein die Energie, die in einem Gramm Materie steckt.

**A 7.5.** Ein Atomkern ist leichter als seine Bausteine. Über den Massendefekt  $\Delta m$  kann mit Hilfe der Formel von Einstein die Bindungsenergie der Kernbausteine bestimmt werden. Es gilt:

$$E = \Delta m \cdot c^2 \quad (7.2)$$

Bestimme die Bindungsenergie eines He-4-Atoms. Rechne dazu erst den Massendefekt von atomaren Masseneinheiten in  $\text{kg}$  um.

**A 7.6.** Berechne die Energie, die benötigt wird um 1  $\text{kg}$  Heliumatome vollständig in die atomaren Bausteine zu zerlegen. Gebe das Ergebnis in Joule und  $\text{kWh}$  an. ( $1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$ ;  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ ) Nutze dazu die Ergebnisse der Aufgabe 7.2.

**A 7.7.** Bestimme die freiwerdende Energie, wenn man aus den atomaren Bausteinen 1  $\text{kg}$  Heliumkerne produziert.

**A 7.8.** Um ein Gramm Wasser um ein Grad Celsius zu erwärmen wird eine Energie von 4,2  $\text{J}$  benötigt. Berechne die Massenzunahme, wenn 1  $\text{kg}$  Wasser von  $20^\circ\text{C}$  auf  $100^\circ\text{C}$  erwärmt wird.

Die Sonne strahlt mit einer Leistung von  $3,6 \cdot 10^{26} \text{ W}$ .

- Berechne den Massenverlust pro Sekunde durch diese Strahlung.
- Diskutiere, woher vermutlich die große Energie kommt.