

## Kernphysik - Lerntafel

### Massenspektrograph und Massendicht

Ziel der Unterrichtseinheit ist die experimentelle Bestimmung der Masse von Atomkernen.

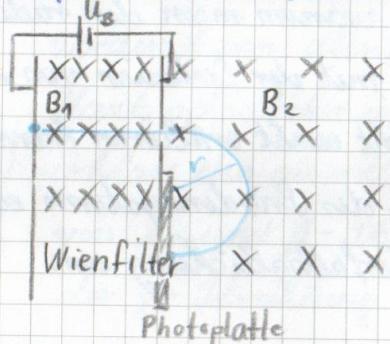
Zentrale Idee:

Geladene Teilchen beschreiben in einem homogenen Magnetfeld eine Kreisbahn.

Der Radius der Kreisbahn ist direkt proportional zur Masse des Teilchens.

Damit kann aus dem Radius die Masse des Kerns bestimmt werden.

Aufbau des Versuchs:



## Kernphysik - Lerntafel

### Allgemeine Beziehungen

- Geschwindigkeit der Protonen (Teilchen)

$$q \cdot \frac{U_B}{d} = q \cdot v \cdot B_1$$

aufgelöst nach  $v$  ergibt dies den folgenden Term:

$$v = \frac{U_B \cdot B_1^{-1}}{d} = \frac{U_B}{B_1 \cdot d}$$

Im zweiten homogenen Magnetfeld ergibt sich aus dem Kräftegleichgewicht wegen dem Umlauf auf einer Kreisbahn:

$$\frac{m}{r} \cdot v^2 = q v B_2$$

$$\frac{mv}{r} = q B_2 \Rightarrow m = qr B_2 \cdot v^{-1}$$

Mit dem oben für  $v$  ermittelten Term ergibt sich damit:

$$m = qr B_2 \cdot \left( \frac{U_B}{d B_1} \right)^{-1}$$

$$m = \frac{dq r B_1 B_2}{U_B}$$



## Kernphysik - Lernzettel

Damit ist ein Term für die Teilchenmasse  $m$  entstanden, der nur aus festgewählten Größen oder Messgrößen entstanden ist. Somit kann  $m$  experimentell ermittelt werden.

Mit dieser Methode wird die Masse  
- eines Protons  
- eines Heliumatoms  
bestimmt.

Auf anderen Wege wird noch zusätzlich die Masse eines Neutrons bestimmt:

Die Neutronenmasse wird aus Stoßversuchen eines  ${}^9_4\text{Be}$ -Kerns an einem  ${}^4_2\text{He}$ -Kern ermittelt:



Aus dem Energieerhaltungssatz und der Impulserhaltung wird  $m_n$  ermittelt.

## Kernphysik - Lernzettel

Ergebnisse der Versuche zur Massenbestimmung.

$$m_p = 1,007276 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_N = 1,008664 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_{\text{He}} = 4,002602 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Abwertung der Versuche:

Ein Heliumkern besteht aus 2 Protonen und 2 Neutronen. Damit müsste gelten:

$$m = 1,007276 \text{ u} \cdot 2 + 1,008664 \text{ u} \cdot 2$$

$$m = 4,162848 \text{ u}$$

$$\underline{m_{\text{He}} = 4,002602 \text{ u}}$$

$$\Delta m = 0,160246 \text{ u}$$

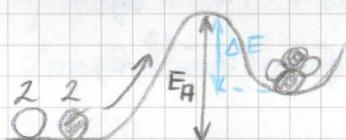
Bei der Fusion von 2 Protonen und 2 Neutronen tritt ein Massenverlust auf, den man als Massendefekt bezeichnet.

Erklärung des Massendefekts:

Bei der Fusion der Nuklide zu einem Atom-

## Kernphysik - Lernzettel

Wann wird Energie freigesetzt und damit emittiert. Mechanisches Analogon:



$$E_A = \text{Aktivierungsenergie}$$
$$\Delta E = \text{freigesetzte Energie}$$

Wegen der Einstein-Beziehung zwischen Masse und Energie gilt für die freigesetzte Energie:  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

↑  
Massendichte

Satz:

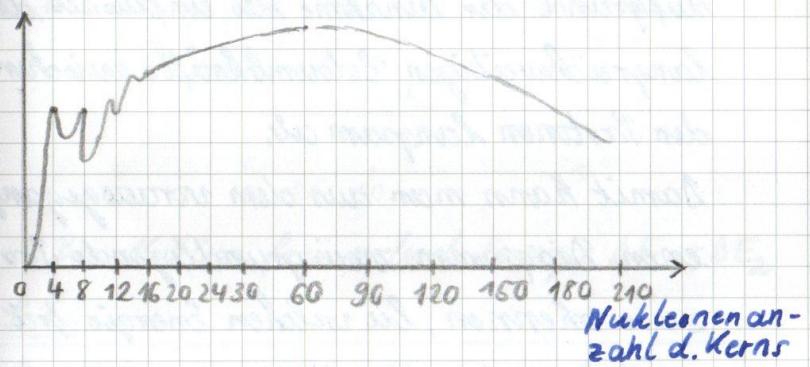
Bei der Fusion von Nukliden zu einem Atomkern wird Energie freigesetzt, die zu einem Massenverlust des fusionierten Kerns führt. Es gilt die quantitative Beziehung:

$$\Delta E = (k_1 \cdot m_p + k_2 \cdot m_N - m_{\text{kern}}) \cdot c^2$$

## Kernphysik - Lernzettel

### Die Kernbindungsenergie pro Nukleon

Da die Kernbindungsenergie sich um eine Energie handelt, die bei einem exothermen Vorgang, dem Zusammenbau von Atomkernen aus Nukliden resultiert, wird die bei dem Vorgang freiwerdende Energie positiv gezählt.



Erklärung der Kurve mit dem Tropfchenmodell  
Die Kurve weist bei  ${}^4\text{He}$  ein relatives Maximum auf, was die Stabilität des  ${}^4\text{He}$ -Kerns erklärt.



## Kernphysik - Lehrtext

Wegen der kurzen Reichweite der Kernkräfte besitzt ein neu eingebautes Nukleon nur eine Wechselwirkung mit seinen Nachbarnukleonen. Damit bleibt die Kernbindungsenergie pro Nukleon nahezu konstant. ab  $A \geq 60$  nimmt die mittlere Kernbindungsenergie pro Nukleon aufgrund der Zunahme des Einflusses der langreichweitigen Coulombkräfte zwischen den Protonen langsam ab.

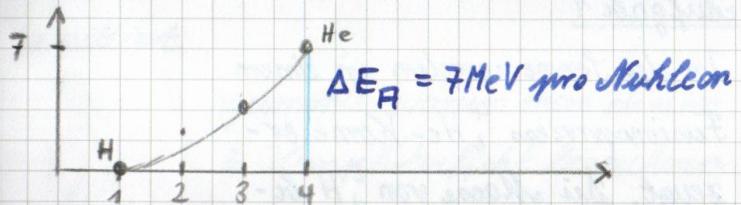
Damit kann man aus dem vorangegangenen Diagramm zwei grundlegende Prozesse erkennen, bei welchen Energie frei gesetzt wird:

- Bei der Fusion zweier leichten Atomkerne zu einem schwereren Atomkern.
- Bei der Spaltung schwerer Atomkerne in mittelschwere Atomkerne.

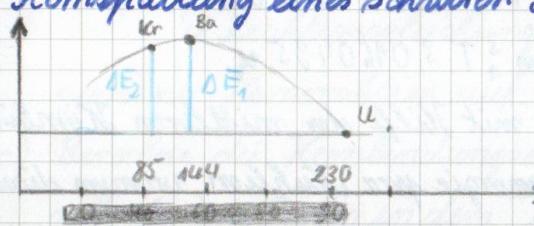
## Kernphysik - Lehrtext

Schematische Darstellung dieser beiden Prozesse im Diagramm:

- Fusion leichter Atomkerne



- b) Kernspaltung eines schweren Kernes:



Pro Nukleon freiwerdende Energie  $\Delta E_1 + \Delta E_2$

Satz:

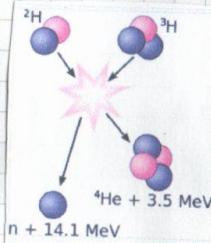
Der Betrag der MBE gibt an, wie stark ein Nukleon an den Kern gebunden ist. Eine Reaktion ist exotherm, wenn sie von einem kleinen Betrag von  $\frac{8}{A}$  zu einem großen Betrag führt.

## Kernphysik - Aufgaben

### Aufgaben zu Massenmehrheit u. Kombinierungsenergie

#### Aufgabe 1

In der Sonne werden in einem Fusionaprozess  ${}^4_2\text{He}$ -Kerne erzeugt. Die Masse von  ${}^1_1\text{H}$  beträgt  $2,014\,101\,75\text{ u}$  und die Masse von  ${}^3_1\text{T}$   $3,016\,049\,5\text{ u}$ .



- Erkläre mit Hilfe der mittleren Kombinierungsenergie pro Nukleon, warum diese Fusion exotherm ist.
- ${}^4_2\text{He}$  besitzt die Masse  $4,002\,602\text{ u}$ . Ermittle den Betrag der dabei emittierten Energie.
- Berechne den Energiebetrag, der bei der Fusion von  $250\text{ g }{}^4_2\text{He}$  entsteht.

## Kernphysik - Aufgaben

#### Aufgabe 2

Wird in einem Experiment  ${}^{12}_6\text{C}$  mit  $\gamma$ -Quanten bestrahlt, wird dabei ein Proton emittiert.

- Finde Argumente, warum man diesen Versuch als Kernphotoeffekt bezeichnen kann.
- Stelle die Reaktionsgleichung für die genannte Kernreaktion auf.
- Berechne die Kombinierungsenergie, mit der ein Proton in dem  ${}^{12}_6\text{C}$ -Kern gebunden ist.
- Erkläre, welche Anforderung an die  $\gamma$ -Quanten zu stellen ist, damit die obenstehende Reaktion zu beobachten ist.

## Kernphysik - Aufgaben

### Aufgabe 3

Damit man bei einer Kernreaktion Energie freisetzt, gibt es zwei Alternativen, einmal die Kernfusion leichter Kerne und zum anderen die Kernspaltung schwerer Kerne.

- Erkläre mit Hilfe der Kernbindungsenergie pro Nukleon die Energiefreisetzung bei den genannten Kernreaktionen.
- Anfang der 1930er Jahre nahm man noch ein, dass man durch die Kernfusion schwerere Elemente als  $^{238}_{92}\text{U}$ , sogenannte Transurane finden könnte. Nehme hierzu kritisch Stellung.
- Erkläre in dem untersuchten Sachzusammenhang die besondere Rolle des  $^4_2\text{He}$ -Kerns und warum die Kernfusion für  $H \geq 30$  kaum mehr als exotherme Reaktion bezeichnet werden kann.

## Kernphysik - Aufgaben

### Aufgabe 4

1941 entdeckte Carl Friedrich von Weizäcker, dass  $^{238}_{92}\text{U}$  bei dem Beschuss mit schnellen Neutronen in das Isotop  $^{239}_{92}\text{U}$  übergeht.

Dieses zerfällt unter Abgabe von  $\beta^-$ -Strahlung. Der entstandene Tochterkern sendet ebenfalls  $\beta^-$ -Strahlung aus.

- Stelle für alle genannten Kernreaktionen die Reaktionsgleichungen auf.
- Erkläre, warum man für die Anfangsreaktion schnelle Neutronen verwenden muss und warum thermisch abgebremste Neutronen dazu keine Verwendung finden können.
- Erläutere, warum hier radioaktive Strahlung freigesetzt wird.
- Berechne die hier freigesetzte Energie.

## Kernphysik - Aufgaben

### Aufgabe 5

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde  $^{226}_{88}\text{Ra}$  in medizinischen Therapien eingesetzt.

Dieses Isotop zerfällt unter der Abgabe von  $\alpha$ -Strahlung.

- Stelle mit dem Periodensystem der Elemente die Zerfallsgleichung auf.
- Berechne die Geschwindigkeit der bei dieser Kernreaktion emittierten  $^4_2\text{He}$  Kerne.
- Erkläre warum die  $\alpha$ -Strahlung beim Auftreffen auf die Haut schwere Schäden verursacht. Argumentiere über an diesem Prozess beteiligte Erhaltungsgrößen und nehme an, dass die Masse eines Kautzmoleküls sehr viel größer als die Masse eines  $^4_2\text{He}$ -Kerno ist.

## Kernphysik - Aufgaben

### Aufgabe 6

Anfang der 1950er Jahre konnte man in vielen Zeitungen lesen, dass man sich vor radioaktiver Strahlung durch das Abdecken mit Papier schützen kann.

- Erkläre die Entstehung von radioaktiver Strahlung allgemein in diesem Sachzusammenhang.
- Nimm zu obiger Aussage kritisch Stellung.
- $^{293}_{93}\text{Np}$  zerfällt unter  $\beta^-$ -Strahlung. Stelle die Reaktionsgleichung auf und ermittle durch eine relativistische Betrachtung die Geschwindigkeit der emittierten Elektronen.
- Erkläre die gesundheitsschädliche Wirkung von  $\beta^-$ -Strahlung und gehe dabei auf Unterschiede zur  $\alpha$ -Strahlung ein.

## Kernphysik - Aufgaben

### Zusammenfassende Aufgaben

#### Aufgabe 1

Sowohl  $\beta^-$ -Strahlung als Röntgenstrahlen werden durch Elektronen verursacht.

- Erkläre den grundlegenden Unterschied zwischen der Röntgenstrahlung und der  $\beta^-$ -Strahlung.
- Erläutere in diesem Sachzusammenhang den Begriff der charakteristischen Röntgenstrahlung.
- Eine Röntgenröhre besitzt eine Wolfram-Anode. Bestimme welche Energie dabei durch die charakteristische  $K_{\alpha}$ -Strahlung freigesetzt wird.
- $^{13}_7 N$  zerfällt unter der Emision von radioaktiver  $\beta^+$ -Strahlung. Berechne mit dem  $95E$  die dabei emittierte Energie.

## Kernphysik - Aufgaben

#### Aufgabe 2

Der Atomkern  $^{12}_6 C$  soll hier näher untersucht werden.

- Bestimme den mittleren Kernradius dieses Atomkerns und erkläre, wie man den Zusammenhalt des Kerns trotzdem in ihm 6 Protonen vorhanden sind, deuten kann.
- Bestimme durch Rechnung die mittlere Dichte des Atomkerns.
- Berechne, welche Energie pro Nukleon bei der Bildung des  $^{12}_6 C$ -Kerns freigesetzt wird.
- Erläutere in diesem Sachzusammenhang den Begriff „Isotop“.
- Erläutere, warum durch das Hinzufügen eines Neutrons ein instabiler Atomkern entstehen kann.

## Tröpfchenmodell des Atomkerns

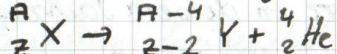
- Kernkraft hält den Kern zusammen analog der Oberflächenspannung

$$r_{\text{kern}} = r_0 \cdot \sqrt[3]{A}$$

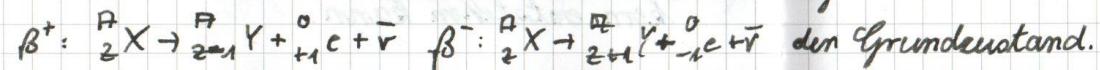
$$r_0 = 1,50 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

## Radioaktive Zerfallsarten

$\alpha$ -Zerfall: Emission eines  ${}^4_2\text{He}$ -Kerns



$\beta$ -Zerfall: Durch Umwandlung eines Protons in ein Neutron oder umgekehrt, Übergang vom angeregten Zustand in den Grundzustand.



## Kern - Physik

### Massendefekt

Bei der Bildung von Kernen durch Protonen und Neutronen wird Energie freigesetzt:

$$\Delta E = (k_1 \cdot m_N + k_2 \cdot m_p - m_{\text{kern}}) \cdot c^2$$

### Kernbindungsenergie pro Nukleon

Aus dem Graphenverlauf erkennt man 2 Prozesse, die Energie emittieren:

- Fusion leichter Kerne
- Spaltung schwerer Kerne