

# Kernaufbau aus Protonen und Neutronen; Isotopie, Verschiebungssätze, Zerfallsreihen

„Nuklid“ = Kern (nucleus lat.)

## A. Isotope

Kernladungszahl  $Z$  = Ordnungszahl im Periodensystem (siehe Chadwick und Gesetz von Moseley)

$Z$  bestimmt das chem. Verhalten, legt also fest, zu welchem chem. Element das Atom gehört.

Untersuchungen mit dem Massenspektrograph (siehe B.) zeigten:

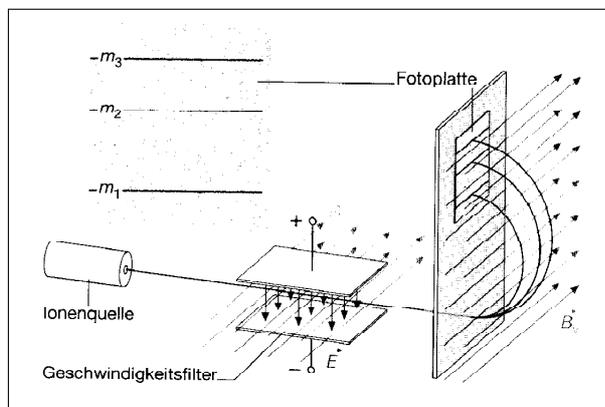
Nuklide desselben Elements können verschiedene Massen haben; man spricht von **Isotopen** eines Elements.

Bei heute rund 100 chem. verschiedenen Elementen sind ca. 2000 verschiedene Nuklide bekannt. (Nuklidkarte)

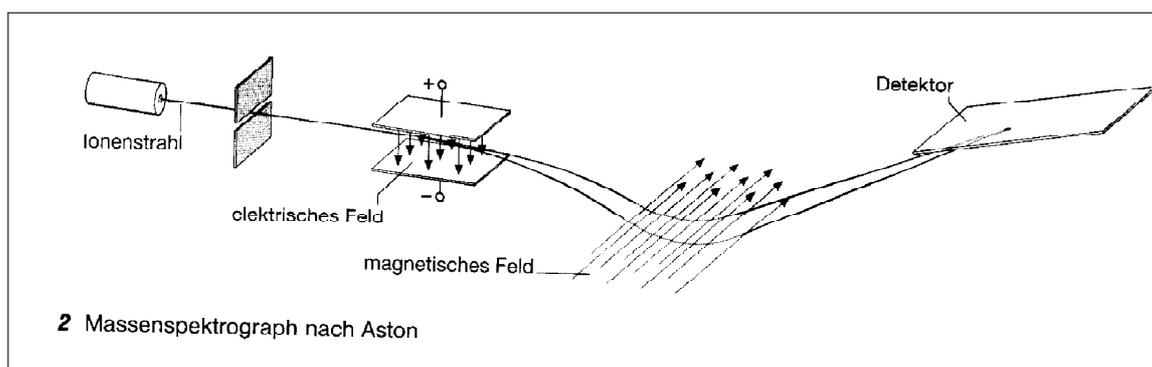
## B. Massenspektrograph

Prinzip: Ionen werden in elektr. und magnet. Feldern abgelenkt. Die Ablenkung hängt hierbei nur von der spezifischen Ladung der Ionen ab.

Die Ionenstammen häufig aus sog. Kanalstrahlen.



Astonscher Massenspektrograph:



Beim Aston'schen Massenspektrograph durchlaufen die Ionen nacheinander ein elektr. und ein magnetisches Feld. Durch Anordnung und Stärke wird bewirkt, dass Ionen gleicher spezifischer Ladung unabhängig von ihrer Geschwindigkeit auf S-förmigen Kurven zur selben Stelle der Photoplatte kommen (die langsameren erfahren in beiden Feldern stärkere Ablenkung, was sich jeweils kompensiert).

Hinweis: Auch Zählregistrierung statt photographischer Registrierung wird angewendet (Massenspektrometer).

### C. Andere Trennverfahren

In Massenspektrometern können Isotope vollständig getrennt werden. Die erhaltenen Mengen (wenn sie überhaupt aufgefangen werden) sind sehr gering.

Zur Isotopentrennung größerer Mengen gibt es verschiedene technische Verfahren, z.B.

#### Die Diffusionsmethode:

Prinzip: Gasatome desselben chemischen Elements und gleicher kinetischer Energie (d.h. einheitlicher Temperatur [  $E_{\text{kin,mittel}} = 1,5 k T$  ]) aber unterschiedlicher Masse haben unterschiedliche mittlere Geschwindigkeit. Die „leichteren“ diffundieren daher mit größerer Häufigkeit durch eine poröse Wand in einen Raum, der vorher evakuiert wurde. Die Isotope werden dadurch etwas entmischt. Nach Durchlaufen vieler „Diffusionskaskaden“ erhält man ein Isotop fast rein.

#### Gas-Zentrifuge:

Sie wurde speziell für die Anreicherung des spaltbaren Isotops  $^{235}\text{U}$  entwickelt.

Natururan enthält  $^{235}\text{U}$  nur in einer Konzentration von 0,71 %, im Kernreaktor wird aber eine Konzentration von ca. 3 % benötigt.

Zur Isotopentrennung wird Natururan in eine gasförmige Verbindung, Uranhexafluorid ( $\text{UF}_6$ ) übergeführt. Das Prinzip der Gegenstrom-Gas-Zentrifuge wird in Müller-Leitner-Dilg Band 4, Seite 68f ausführlich beschrieben.

### D. Kernbausteine („Nukleonen“)

Die Massen aller untersuchten Nuklide sind etwa ganzzahlige Vielfache der Masse des Wasserstoffkerns (Proton  $p$ ).

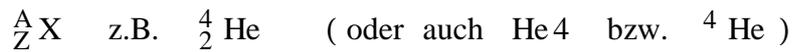
(Für die durchschnittliche Nuklidmasse im natürlich vorkommenden Isotopengemisch eines Elements braucht dies natürlich nicht zu gelten. Diese durchschnittlichen Nuklidmassen sind in der Formelsammlung im Periodensystem angegeben, z.B. Mg 24,32.)

Es liegt daher folgende Annahme für den Kernaufbau nahe:

#### Ein Kern besteht aus:

**Z**    **Protonen** und  
**N**    weiteren Teilchen, die etwa dieselbe Masse wie ein Proton haben, aber elektrisch neutral sind, sog. **Neutronen**.  
(Über deren Nachweis später mehr.)  
**A = Z + N** ist somit die Gesamtzahl der Nukleonen im Kern und heißt **Massenzahl** des Nuklids.

Schreibweisen für ein Nuklid des chemischen Elements X :



Die erste Schreibweise wird gelegentlich auch für Protonen und Neutronen verwendet, also:



Die meisten der heute bekannten Nuklide wandeln sich (jeweils mit einer bestimmten Halbwertszeit) von selbst um (spontaner Zerfall); Solche Nuklide heißen **instabil**.

Instabile Nuklide werden in der Natur nur dann beobachtet, wenn sie seit ihrer Entstehung nicht schon alle zerfallen sind. Das ist der Fall, wenn sie

- entweder dauernd in der Natur produziert werden oder
- wenn ihre Halbwertszeit genügend groß ist, so dass sie seit ihrer einmaligen Entstehung z.T. „überleben“ konnten.

#### E. Die radioaktiven Zerfallsreihen

Es gibt genau **vier** sogenannte **radioaktive Zerfallsreihen** (vergleiche Formelsammlung!).

- |                        |                      |                             |
|------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1. Uran-Radium-Reihe   | ( $4n + 2$ - Reihe ) | Diese drei Reihen           |
| 2. Uran-Actinium-Reihe | ( $4n + 3$ - Reihe ) | enden jeweils bei           |
| 3. Thorium-Reihe       | ( $4n$ - Reihe )     | einem stabilen Blei-Isotop. |

Das Ausgangsnuklid ist jeweils das mit der größten Halbwertszeit.

Die Halbwertszeit (HWZ) ist hier entweder größer als das Erdalter (ca. 5 Milliarden Jahre) oder wenigstens in vergleichbarer Größenordnung.

Diese drei Zerfallsreihen kommen heute noch in der Natur vor; man nennt sie deshalb gelegentlich auch die drei natürlichen Zerfallsreihen.

4. Neptunium-Reihe (  $4n + 1$  - Reihe)

Die vierte Zerfallsreihe kam in der Natur nicht mehr vor, sondern wurde durch den Menschen durch künstliche Erzeugung von  ${}^{241}\text{Pu}$  erst wieder in Gang gebracht.

Die vierte Zerfallsreihe heisst Neptunium-Reihe, weil  $\text{Np}$  das Nuklid mit der größten HWZ in dieser Zerfallsreihe ist und somit die „Lebensdauer“ dieser Reihe bestimmt.

Aufgabe: Warum nennt man die Zerfallsreihen  $4n+2$ -,  $4n+3$ -,  $4n$ - und  $4n+1$ -Reihe?  
Tragen Sie die Zerfallsreihen in je eine N-Z-Nuklidkarte ein! Was fällt auf?  
Welche **Verschiebungssätze** im N-Z-Diagramm gelten für den Alpha-, Beta- bzw. Gamma-Zerfall?  
Warum kann ein Nuklid nie mehreren Zerfallsreihen zugleich angehören?

G.R.