

# Zerfälle

Thomas Kuster

30. Mai 2007

## 1 Information

- Unterrichtsziele
  - Kernumwandlung kennenlernen (Element wird in ein anderes Element umgewandelt)
  - Die gebildeten Kerne (Tochterkerne) im Periodensystem bestimmen können
  - Kennenlernen der dabei ausgesendeten Strahlen
  - Verstehen wie diese Strahlen gemessen werden können
  - Theoretische Vorhersagen
- Bekanntes wird notiert
- Kernumwandlung kennenlernen
- Nachweisen der Zerfälle (Geiger-Müller-Zählrohr)
- Weitere Kernumwandlungen
- Neues Elementarteilchen

## 2 Repetition

### 2.0.1 Nuklid

$A$  : Anzahl Nukleonen, Massenzahl

$Z$  : Anzahl Protonen, Anzahl Elektronen, Ordnungszahl

$N$  : Anzahl Neutronen

$$A = Z + N$$

Bezeichnung eines Nuklid

$${}^A_Z X = X-A$$

Beispiele

${}^{16}_8\text{O}$  Sauerstoff (stabil)

${}^{18}_8\text{O}$  Sauerstoff (stabil)

${}^{226}_{88}\text{Ra}$  Radium (radioaktiv)

${}^{238}_{92}\text{U}$  Uran (radioaktiv)

## 3 $\alpha$ -Zerfall

Beispiel

- Americium ( ${}^{241}_{95}\text{Am}$ ) zerfällt zu Neptunium ( ${}^{239}_{93}\text{Np}$ )
- Radon ( ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ ) zerfällt zu Polonium ( ${}^{218}_{84}\text{Po}$ ) (Alexander Walterowitsch Litwinenko wurde mit Po-210 „vergiftet“)

### 3.1 Schüler erarbeiten selber

- Wie verändert sich die Zahl der:
  - Nukleonen
  - Protonen

– Neutronen

- Was bleibt übrig?
- Wie sieht es im Periodensystem aus?

### Lösung (an Wandtafel schreiben)

$$\begin{aligned}A &\rightarrow A - 4 \\Z &\rightarrow Z - 2 \\N &\rightarrow N - 2 \\{}^A_ZX &\rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + \alpha\end{aligned}$$

Der Kern wandelt sich in den Kern welcher zwei Positionen links im Periodensystem steht um.

Das entstehende Teilchen muss aus 2 Protonen und 2 Neutronen bestehen und wird  $\alpha$  genannt:

$$\alpha = {}^4_2\text{He} \text{ zweifach positiv geladener Heliumkern}$$

Die Energie (massen- und kinetische-Energie) des  $\alpha$ -Teilchens ist fest vorgegeben:

$$E_\alpha = E_{\text{Edukt}} - E_{\text{Produkt}}$$

## 3.2 Geschichtliches

Becquerel und das Ehepaar Curie erhielten für ihre Arbeiten über Strahlungen 1903 den Physiknobelpreis (Abbildung 1 und 2). Die Gefährlichkeit der Strahlung war damals noch nicht bekannt, Marie starb an einer durch die Strahlenbelastung hervorgerufenen Mangel an Blutkörperchen. Marie Curie ist die einzige Frau neben Maria Goeppert-Mayer die den Physiknobelpreis erhielt (jeweils nur  $\frac{1}{4}$  des Preises).

## 4 Geiger-Müller-Zählrohr

Nachweis von  $\alpha$ -Strahlen ist mit einem Geiger-Müller-Zählrohr möglich. Wird vorgeführt, am Schulpräparat und wenn möglich am Glühstrumpf (enthält Thoriumoxid).



Abbildung 1: Nobelpreis 1903 (1/2): Antoine Henri Becquerel (\* 15. Dezember 1852 in Paris; † 25. August 1908 in Le Croisic): „als Anerkennung des außerordentlichen Verdienstes, den er sich durch die Entdeckung der spontanen Radioaktivität erworben hat.“



(a) Marie Curie (geb. Maria Skłodowska) \* 7. November 1867 in Warschau; † 4. Juli 1934 in Sancellemoz



(b) Pierre Curie (\* 15. Mai 1859 in Paris; † 19. April 1906 in Paris)

Abbildung 2: Nobelpreis 1903 (je 1/4): Pierre und Marie Curie: „als Anerkennung des außerordentlichen Verdienstes, das sie sich durch ihre gemeinsamen Arbeiten über die von H. Becquerel entdeckten Strahlungsphänomene erworben haben“

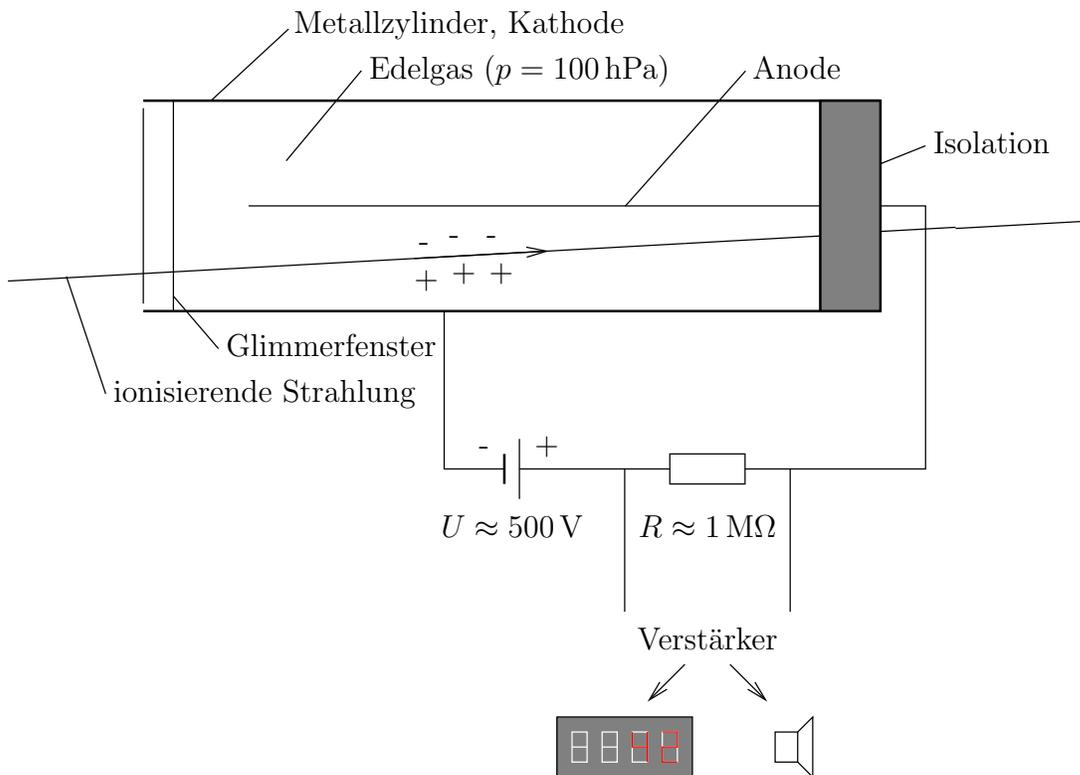


Abbildung 3: Geiger-Müller-Zählrohr

Abstandsabhängigkeit wird ebenfalls gezeigt.

Eine Schematische Darstellung des Geiger-Müller-Zähler ist in Abbildung 3 dargestellt (auf Wandtafelzeichen und Funktionsweise erklären)

#### 4.0.1 Funktionsweise

- Längs der Achse ist ein positiv geladener ( $\approx 500 \text{ V}$ ) dünner Draht gespannt.
- Zylinder ist mit einem Edelgas bei  $p = 100 \text{ hPa}$  gefüllt.
- Strahlung ionisiert das Edelgas  $\Rightarrow$  freie Elektronen werden in das starke Feld um den Draht gezogen  $\Rightarrow$  Lawinenartige Stossionisation  $\Rightarrow$  Gasentladung

- Entladung erfolgt  $\Rightarrow$  Strom fließt  $\Rightarrow$  Signal wird verstärkt und ein Knacksen ertönt

## 5 $\beta^-$ -Zerfall

Auch andere Zerfälle sind möglich. Ein Neutron kann sich in ein Proton umwandeln.

Wie ändert sich  $A$ ,  $Z$ ,  $N$  und wie sieht es im Periodensystem aus? Um was muss es sich bei den  $\beta^-$ -Strahlen handeln?

$$\begin{aligned} A &\rightarrow A \\ Z &\rightarrow Z + 1 \\ N &\rightarrow N - 1 \\ {}^A_Z X &\rightarrow {}^A_{Z+1} Y + \beta^- \end{aligned}$$

Als Tochterkern entsteht der Kern der rechts von diesem Kern im Periodensystem steht.

Die Ladung muss erhalten bleiben  $\Rightarrow \beta^-$  muss ein Elektron sein.

**Beispiel**  ${}^{90}_{38}\text{Sr}$  (Strontium)  $\rightarrow$   ${}^{90}_{39}\text{Y}$  (Yttrium)  $+ \beta^-$

### 5.1 Experiment

Die  $\beta^-$ -Strahlen müssten sich wie Elektronen verhalten. Ablenkung mit einem Magnetfeld muss also möglich sein.

#### Rechte-Hand-Regel

**Daumen** Stromfluss in Richtung  ${}^{90}\text{Sr}$ -Präparat (technische Stromrichtung ist der Elektrischen Entgegengesetzt)

**Zeigfinger** Magnetfeld von Nord (rot) nach Süd (grün)

**Mittelfinger** Lorentzkraft

Teilchen werden durch das Magnetfeld abgelenkt. Mehr Impulse wenn der Strahler rechtsoben vom Zähler ist (Südpol des Magneten gegen Zuschauer). Keine Ablenkung wenn kein Magnetfeld vorhanden ist.

## 5.2 Neue Teilchen

Die Energie der  $\beta^-$ -Teilchen (schnelle Elektronen) ist kontinuierlich. Dies widerspricht der Energie- und Impulserhaltung. Wolfgang Pauli (Abbildung 4) äusserte sich zuerst wie folgt über dieses Phänomen:

### Brief an Oskar Klein, Stockholm, vom 18. 2. 1929

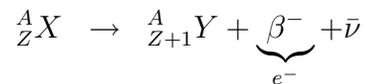
Aber ich verstehe zu wenig von Experimentalphysik um diese Ansicht beweisen zu können und so ist Bohr in der für ihn angenehmen Lage, unter Ausnützung meiner allgemeinen Hilfsigkeit bei der Diskussion von Experimenten sich selber und mir unter Berufung auf Cambridger Autoritäten (übrigens ohne Literaturangabe) da etwas beliebiges vormachen zu können.

### Brief an Oskar Klein, Stockholm, 1929

Ich selbst bin ziemlich sicher (Heisenberg nicht so unbedingt), dass  $\gamma$ -Strahlen die Ursache des kontinuierlichen Spektrums der  $\beta$ -Strahlen sein müssen und dass Bohr mit seinen diesbezüglichen Betrachtungen über eine Verletzung des Energiesatzes auf vollkommen falscher Fährte ist. Auch glaube ich, dass die wärmemessenden Experimentatoren irgendwie dabei mogeln und die  $\gamma$ -Strahlen ihnen nur infolge ihrer Ungeschicklichkeit bisher entgangen sind.

### 5.2.1 Neutrino

Schlug dann aber 1930 die Existenz eines neuen Teilchens (Neutrino) vor (Abbildung 5), experimenteller Nachweis 1957:



## 6 $\beta^+$ -Zerfall

Ein Proton kann sich in ein Neutron umwandeln.

Wie ändert sich  $A$ ,  $Z$ ,  $N$  und wie sieht es im Periodensystem aus? Um



Abbildung 4: Wolfgang Ernst Pauli (\* 25. April 1900 in Wien; † 15. Dezember 1958 in Zürich)

Original-Photogramm of Pauli 0373  
Abschrift/15.12.56 PM

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der  
Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift

Physikalisches Institut  
der Eidg. Technischen Hochschule  
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930  
Usterstrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Überbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst  
anzuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich  
angesichts der "falschen" Statistik der  $\beta$ - und  $\text{Li-6}$  Kerne, sowie  
des kontinuierlichen  $\beta$ -Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg  
verfallen, um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz  
zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale  
Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren,  
welche den Spin  $1/2$  haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und  
sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie  
nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen  
müsste von derselben Grössenordnung wie die Elektronenmasse sein und  
jedenfalls nicht grösser als  $0,01$  Protonenmasse. Das kontinuierliche  
 $\beta$ -Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim  
 $\beta$ -Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert  
wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron  
konstant ist.

Abbildung 5: Offener Brief an die Radioaktiven von Wolfgang Pauli. Das vorgeschlagene Neutron ist das heutige Neutrino. Abschrift (gekürzt): Liebe radioaktive Damen und Herren, wie der Überbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst anzuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich ... auf einen verzweifelten Ausweg verfallen, um den 'Wechselsatz' der Statistik und den Energiesatz zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in dem Kern existieren... Das kontinuierliche  $\beta$ -Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim  $\beta$ -Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron konstant ist. Ich traue mich vorläufig aber nicht, etwas über diese Idee zu publizieren, und wende mich erst vertrauensvoll an Euch, liebe Radioaktive, mit der Frage, wie es um den experimentellen Nachweis eines solchen Neutrons stände, wenn dieses ein ebensolches oder etwa 10 mal grösseres Durchdringungsvermögen besitzen würde wie ein  $\gamma$ -Strahl. Ich gebe zu, dass mein Ausweg vielleicht von vornherein wenig wahrscheinlich erscheinen mag, ... Aber nur wer wagt, gewinnt ... Also, liebe Radioaktive, prüfet und richtet. – Leider kann ich nicht persönlich in Tübingen erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht vom 6. zum 7. Dez. in Zürich stattfindenden Balles hier unabhkömmlich bin. Euer untertänigster Diener W. Pauli

was muss es sich bei den  $\beta^+$ -Strahlen handeln?

$$\begin{aligned}A &\rightarrow A \\Z &\rightarrow Z - 1 \\N &\rightarrow N + 1 \\{}^A_Z X &\rightarrow {}^A_{Z-1} Y + \underbrace{\beta^+}_{=e^+} + \nu\end{aligned}$$

Als Tochterkern entsteht der Kern der links von diesem Kern im Periodensystem steht.

Die Ladung muss erhalten bleiben  $\Rightarrow \beta^+$  muss ein Positron sein (ein positives Elektron).

**Beispiel**  ${}^{40}_{19}\text{K}$  (Kalium)  $\rightarrow$   ${}^{40}_{18}\text{Ar}$  (Argon)  $+ e^+ + \nu$

# A Unterrichtsablauf

**Klasse** 3. GYM, 22 Schüler

**Beginn** 09:10

**Ende** 09:55

**09:10-09:15 5'** Vorstellen und Information, Folie

**09:15-09:16 1'** Bekanntes notieren, Wandtafel

**09:16-09:17 1'** Beispiele für Nuklide notieren, Wandtafel

**09:17-09:19 2'** Zerfallsbeispiele notieren, Wandtafel

**09:19-09:20 1'** Lernaufgabe: Wie verändert sich A, Z, N? Periodensystem?  
Was bleibt übrig? Folie Periodensystem auflegen

**09:20-09:22 2'** Lösung notieren. Aufbau  $\alpha$ -Teilchen erklären. Energie  $\alpha$ -  
Teilchen erklären.

**09:22-09:24 2'** Nobelpreis 1903, wussten nicht von der Gefährlichkeit von  
Strahlung, einzige Frau neben Maria Goeppert-Mayer, Folie

**09:24-09:26 2'** Nachweis: Geiger-Müller-Zählrohr vorführen, an Schulpräpe-  
rat und wenn möglich an Glühstrumpf. Zufälligkeit erklären.

**09:26-09:31 5'** Geiger-Müller-Zählrohr an Wandtafel skizzieren und er-  
klären

**09:31-09:33 2'**  $\beta$ -Zerfall. Proton verwandelt sich in ein Neutron. Wieder-  
um A, Z, N? Periodensystem? Was bleibt übrig? Lösung an Wandtafel schrei-  
ben.

**09:33-09:36 3'** Müssen sich wie Elektronen verhalten. Ergebnis des Experiment abschätzen lassen! Experiment mit Magnet vorführen. Auswerten, Rechte-Hand-Regel erklären, Stromrichtung!

**09:36-09:37 1'** Energie des  $\beta$ -Teilchens ist kontinuierlich. Mit Skizze erklären wieso das nicht so sein sollte!

**09:37-09:38 1'** Pauli hatte damit ein Problem, kurz erklären wer Pauli war, Folie Pauli

**09:38-09:40 2'** Briefe von Pauli, Literaturangaben sind wichtig! Pauli war ein reiner Theoretiker, Folie Brief an Klein

**09:40-09:42 2'** Brief von Pauli an die Radioaktiven, Folie Brief an die Radioaktiven

**09:42-09:43 1'** Neutrino: Korrekte Reaktion aufschreiben, Wandtafel

**09:43-09:45 2'**  $\beta^+$ -Zerfall Proton wird zu Neutron, Was geschieht?