

## Experimente zur Untersuchung der Kernstrahlung

Dr. Rolf Winter, Potsdam

Jährlich erkranken in Deutschland Tausende Menschen an Krebs. Eine wirksame Methode zur Bekämpfung dieser Krankheit ist die Untersuchung und Therapie mithilfe von radioaktiver Strahlung. Da diese Strahlung aus dem Atomkern kommt, wird sie auch als **Kernstrahlung** bezeichnet.

In spannenden Experimenten untersuchen Ihre Schüler diesen Typ von Strahlung. Dabei setzen sie sich zunächst mit der Frage auseinander, wie Kernstrahlung entsteht, arbeiten die Eigenschaften dieser Strahlung heraus und lernen verschiedene Nachweisgeräte für Kernstrahlung kennen. Am Schluss gehen wir auf Anwendungen ein.



Abb. 1: Patient unter Gammakamera (Schilddrüsen-Szintigraphie)

© Wikimedia Commons/Bionerd. Lizenz: CC BY-SA 3.0

II/F

**Radioaktive Strahlen  
können Krebstumore zerstören!**

### Der Beitrag im Überblick

**Klasse:** 10–12

**Dauer:** 11 Stunden

**Ihr Plus:**

- ✓ viele interessante Experimente
- ✓ Erklärung der Funktionsweise der Nachweisgeräte für Kernstrahlung
- ✓ Erkennen der Bedeutung der Kernstrahlungsspektroskopie für die Erforschung der Kernphysik

**Inhalt:**

- Nachweisgeräte für Kernstrahlung
- Experimente zur Untersuchung der  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung
- Beispiele für **Anwendungen der Kernstrahlung:**
  - Messungen der Radioaktivität in der Umwelt
  - Radionuklide in der medizinischen Diagnostik und Therapie
  - Radionuklide in der Technik

## Mediathek

### Fachbücher für weitere Hintergrundinformationen:

Meschede, Dieter (Hrsg.). Gerthsen Physik. Springer Verlag. Berlin Heidelberg 2006. Kap. 18.2 Radioaktivität

Tipler, Paul. Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. Springer Verlag. Berlin Heidelberg 2015. Kap. 38.2 Radioaktivität

Hänsel/Neumann. Physik Band 3, Atome, Atomkerne, Elementarteilchen, Spektrum Akademischer Verlag 1995. Kap. 11, 12 und 13

Lexikon der Physik. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg Berlin 2000. Band 1–5

Wilke, Hans-Joachim (Hrsg.). Physikalische Schulexperimente Band 2. Volk und Wissen Verlag. Berlin 1999. S. 305–318

Wilke, Hans-Joachim (Hrsg.). Physikalische Schulexperimente Band 3. Volk und Wissen Verlag. Berlin 2002. S. 307–317

### Quellen für Literaturwerte:

[1] Lederer, C. M. (Charles M., Hollander, J. M., & Perlman, I. (1967). Table of isotopes (6th ed.). New York: Wiley.

[2] Bearden, J. A. (1967). X-Ray Wavelengths. Reviews of Modern Physics, 39(1), 78–124.

### Internet-Adressen

Sehr zu empfehlen sind die Seiten von LEIFI Physik, die Grundwissen, Experimente und Simulationen zum Thema Kernstrahlung bieten:

<http://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik>

Hinweise zu verschiedenen Experimenten und Experimentiergeräten zur Kernstrahlung erhalten Sie z. B. bei:

<http://www.leybold-shop.de/physik/versuche-sek-ii-universitaet/atom-und-kernphysik.html>

und bei:

<https://www.phywe.de/de/catalogsearch/result/?q=kernstrahlung>

Eine interessante Zusammenfassung zur Wiederholung finden Sie im Schülerlexikon

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/eigenschaften-radioaktiver-strahlung>

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/kapitel/72-physik-des-atomkerns>

## M 1 Atomkern im Modell – frischen Sie Ihr Wissen auf!

**Modelle für den Atomkern** gibt es viele. Mit jedem lassen sich bestimmte Eigenschaften des Kerns erklären, aber mit keinem Modell kann alles erklärt werden. Das ist analog zu den Modellen für die Atomhülle.

Es haben sich **drei Kernmodelle** bewährt:

### (1) Tröpfchenmodell:

Das Tröpfchenmodell behandelt den Kern ähnlich wie einen Flüssigkeitstropfen. Danach verhalten sich die Nukleonen eines Atomkerns wie die Moleküle einer Flüssigkeit. Ähnlich wie Kohäsionskräfte die Moleküle zu einem Tropfen vereinen, halten Kernkräfte die Nukleonen zusammen. Diese Kernkräfte werden als **starke Wechselwirkung** bezeichnet, die nur im Innern des Atomkerns wirken und selbst da nur zwischen benachbarten Nukleonen. Das Tröpfchenmodell verschafft eine Einsicht in den Verlauf der Bindungsenergie eines Kerns und damit dessen Masse (Abb. 2).

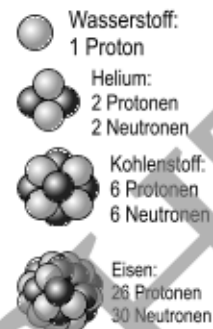


Abb. 2: Tröpfchenmodell

### (2) Schalenmodell:

Es ist bekannt, dass es bei bestimmten Werten der Protonen- bzw. der Neutronenanzahl in einem Atomkern zu Besonderheiten kommt. Sie werden deshalb als **magische Zahlen** bezeichnet. Beträgt die Anzahl der Neutronen eines Kerns 2, 8, 20, 28, 50 oder 82, gibt es besonders viele **stabile Isotope** des betreffenden Nuklids. Ist auch die Anzahl der Protonen entsprechend, weisen die Kerne außergewöhnlich **hohe Bindungsenergien** auf. Vergleicht man dieses Verhalten mit der Atomhülle, kann dem Atomkern durch die Einführung von **Quantenzahlen** auch eine Schalenstruktur zugeschrieben werden. Die Nukleonen befinden sich also in diskreten Energiezuständen. Das Schalenmodell des Atomkerns erklärt damit die diskreten Energien der  $\alpha$ -Teilchen und der  $\gamma$ -Quanten (Abb. 3).

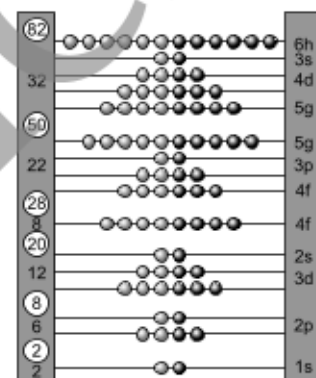


Abb. 3: Schalenmodell

### (3) Potenzialtopfmodell:

Die Anordnung der Protonen und Neutronen im Atomkern kann mithilfe eines Potenzialansatzes beschrieben werden. Den einfachsten Fall stellt ein **Kastenpotenzial** dar (Abb. 4). Hierbei ist die potenzielle Energie konstant innerhalb des Kerns und null außerhalb des Kerns. Da die Protonen neben der starken Wechselwirkung auch noch der **Coulombabstoßung** unterliegen, ist ihr Potenzialtopf nicht so tief wie derjenige der Neutronen. Außerdem wirkt die Coulombabstoßung noch über den Kernrand hinaus, sodass sich auf der Protonenseite ein **Potenzialwall** anschließt. Für die Besetzung der Energieniveaus gilt wie bei den Elektronen in der Atomhülle das **Pauli-Prinzip**: Zwei Teilchen dürfen nicht in allen Quantenzahlen übereinstimmen. Wie die Elektronen besitzen die Nukleonen eine **Spinquantenzahl** mit den Werten  $+1/2$  oder  $-1/2$ . Daher gibt es für die Protonen bzw. Neutronen pro Energieniveau nur je zwei Plätze.

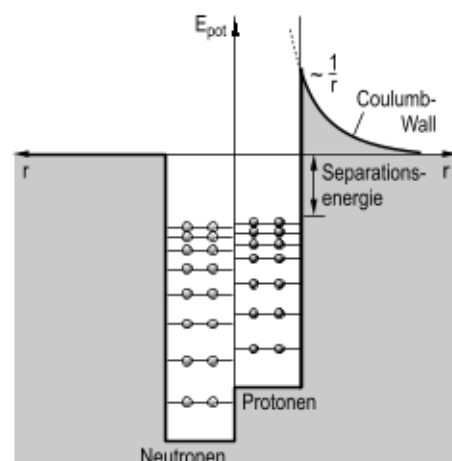


Abb. 4: Potenzialtopfmodell

Separationsenergie ist die zur Abtrennung eines Neutrons bzw. Protons von einem Atomkern nötige Energie.

II/F

## M 2 Die Entstehung der Kernstrahlung

Atome, deren Kerne die jeweils gleiche Zusammensetzung aus Protonen und Neutronen besitzen, sich aber in ihren chemischen Eigenschaften unterscheiden, werden in der Kernphysik als **Nuklide** bezeichnet. In der Natur kommen etwa **254 stabile** und etwa **100 instabile Nuklide** vor. Bei den instabilen Nukliden wandeln sich die Atomkerne **ohne äußere Einflüsse** unter Aussenden von Teilchen oder sehr kurzwelligen elektromagnetischen Wellen in andere Kerne um. Diese Eigenschaft bezeichnet man als **Radioaktivität<sup>1</sup>** und die ausgesendeten Teilchen bzw. elektromagnetischen Wellen als **radioaktive Strahlung**. Ob sich ein Atomkern von allein umwandelt oder nicht und welche Strahlung er dabei gegebenenfalls aussendet, hängt von dem **Verhältnis seiner Protonen und Neutronen** ab.

### $\alpha$ -Strahlung

$\alpha$ -Teilchen sind Atomkerne des Heliums, d. h., sie bestehen aus jeweils zwei Protonen und zwei Neutronen. Zur Erklärung der Entstehung der  $\alpha$ -Teilchen innerhalb eines Atomkerns kann das Modell „Potentialtopf“ herangezogen werden (Abb. 8). Zwei Protonen und zwei Neutronen der jeweils obersten Energieniveaus verbinden sich zu einem  $\alpha$ -Teilchen, das anschließend den Atomkern verlässt.

Bei der Umwandlung von Ra-226 besitzen z. B. ca. 94 % der emittierten  $\alpha$ -Teilchen eine kinetische Energie von 4,8 MeV. Der Potenzialwall (Coulombpotenzial) hat eine Höhe von etwa 25 MeV.

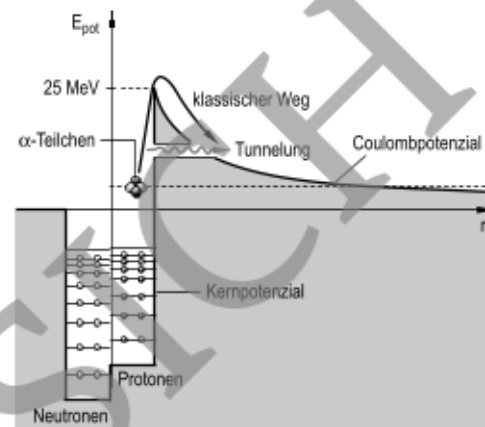


Abb. 8: Potentialtopf ( $\alpha$ -Strahlung)

Das bedeutet, dass das Auftreten der  $\alpha$ -Teilchen außerhalb des Kerns energetisch nicht erklärbar ist, denn sie können den Potenzialwall auf klassischem Weg nicht überwunden haben. Die Lösung des Problems liefert der **quantenmechanische Tunneleffekt**. Dieser besagt, dass ein  $\alpha$ -Teilchen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit die Energiebarriere überwinden kann, indem es den Potenzialwall quasi „durchtunnelt“.

### $\beta$ -Strahlung

Bei der  $\beta$ -Umwandlung verlassen keine Nukleonen den Atomkern, sondern **Elektronen** bzw. deren Antiteilchen, die **Positronen**. Auch hier kann das Potentialtopfmodell zur Erklärung genutzt werden (Abb. 9).

Bei der  **$\beta$ -minus-Umwandlung** (Abb. 9 a) sind die Neutronenniveaus des Kerns höher besetzt als die Protonenniveaus. Dadurch ist es für den Kern energetisch günstiger, durch Umwandlung eines Neutrons in ein Proton ein niedrigeres noch freies Niveau auf der Protonenseite aufzufüllen. Bei dieser Umwandlung wird ein schnelles Elektron, das  **$\beta$ -minus-Teilchen**, und ein **(Elektron-)Antineutrino** frei.

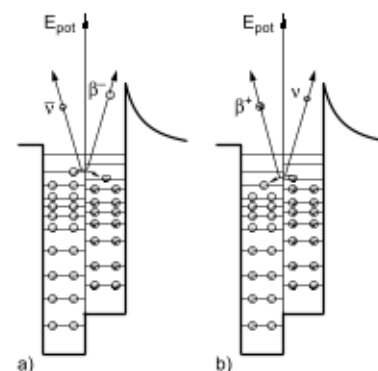


Abb. 9: Potentialtopf ( $\beta$ -Strahlung)

Bei der  **$\beta$ -plus-Umwandlung** sind die Besetzungsverhältnisse umgekehrt (Abb. 9b). Ein nicht voll besetztes Neutronenniveau befindet sich unterhalb eines besetzten Protonenniveaus. Das Neutronenniveau kann besetzt werden, indem sich ein Proton in ein Neutron umwandelt. Dabei werden ein **Positron** und ein **(Elektron-)Neutrino** ausgesendet.

<sup>1</sup> „Radioaktiv“ heißt übersetzt „strahlungsaktiv“.