

Zusammenfassung zum Thema Radioaktivität

Einleitung

Die Kernphysik, in die das Phänomen der Radioaktivität einzuordnen ist, ist eine relativ junge und damit eine sich schnell entwickelnde Teildisziplin der Physik. Im letzten Jahrhundert wurden mit der fortschreitenden Entwicklung von experimentellen und theoretischen Methoden nach und nach immer feinere Substrukturen des Atoms entdeckt und analysiert. Die intuitive Annahme¹, dass unsere komplexe Welt aus einigen wenigen Bausteinen aufgebaut ist, scheint sich zu bestätigen². Dabei ist diese Idee, so attraktiv sie auch erscheint, keineswegs selbstverständlich. Doch mehr noch, auch die Wechselwirkungen zwischen diesen kleinsten Bausteinen lassen sich wiederum mit wenigen Grundkräften erklären – zusammengefasst im heutigen Standardmodell³.

Größere Beschleuniger (bsp. LHC/CERN) und damit neue Forschungsergebnisse werden auf diesem Gebiet in den kommenden Jahren mit ziemlicher Sicherheit neue Erkenntnisse bringen (Stichwort: Higgs-Boson).

Gleichzeitig übersteigen Komplexität des Themas und der zum vollständigen Durchdringen benötigte mathematische Formalismus den schulischen Kontext bei weitem und so wird eine Reduktion auf die wesentlichen Inhalte nötig.

Die Eigenschaft von Atomkernen, sich spontan (und unter Energieabgabe) umzuwandeln, wird unter dem Begriff *Radioaktivität* zusammengefasst. Die dabei freiwerdende Energie wird in Form *ionisierender Strahlung* abgegeben. Ionisierende Strahlung umfasst Gammastrahlung, aber auch energiereiche Teilchen. Diese Umwandlung von Atomen findet nicht in der Hülle, sondern direkt im Atomkern statt. Die Hüllenelektronen spielen bei den folgenden Betrachtungen daher keine Rolle. Der positiv geladene Atomkern (*Nuklid*) besteht aus *Protonen* und *Neutronen*, die zu den *Nukleonen* zusammengefasst werden. Die Größenordnungen, in denen wir uns also bewegen, sind wenige Femtometer (10^{-15} m) und somit gewinnen quantenmechanische Eigenschaften der Materie an Bedeutung und die starke Kraft (*Kernkraft*) wird zur dominierenden Wechselwirkung. Wir betrachten diese bisher unbekannte Kraft nicht genauer, sondern stellen einfach fest, dass es eine anziehende Kraft gibt, die verhindert, dass Atomkerne auseinander fliegen.

Untersucht man nun die ionisierende Strahlung, so stellt man fest, dass sehr häufig drei Arten von Strahlung dominieren, diese sind die γ -Strahlung und die α - bzw. die $\beta^{(-)}$ -Strahlung⁴ (siehe Abb. 1) und nur diese drei werden ausführlicher diskutiert.

¹ „Es kann nicht sein, ließe sich ein Brett unendlich mal teilen, so bestünde das Brett schließlich aus nichts!“ (Demokrit, etwa 400 v. Chr.).

² „Das vereinfacht das Problem; wir haben nichts als Atome, überall dieselben Atome.“ (R. Feynman)

³ Feynman vertrat die Hypothese, dass diese Vorstellung die Information wäre, die man nach der Zerstörung aller wissenschaftlichen Erkenntnisse an die nächste Generation weitergeben sollte.

⁴ Da der β^+ -Zerfall nicht betrachtet wird, ist im Folgenden der β^- -Zerfall mit β -Zerfall bezeichnet.

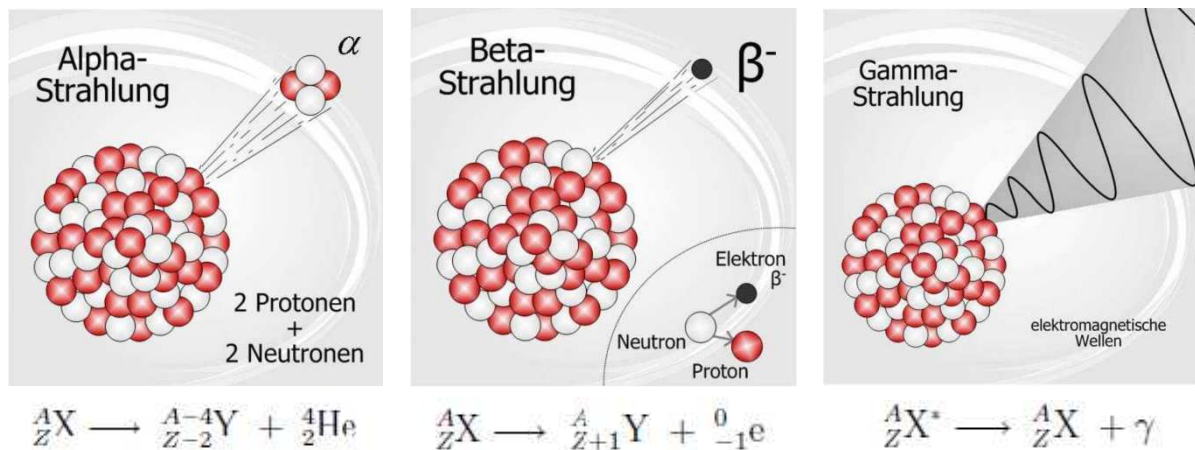


Abbildung 1. Übersicht der drei für den Unterricht relevanten Strahlungsarten (nach [Wik07]).

Da α - bzw. β -Teilchen geladen sind, lassen sie sich in (starken) Magnetfeldern ablenken.

Zum Nachweis der drei ionisierenden Strahlungen wird ein Geiger-Müller-Zählrohr eingesetzt. Historisch gesehen⁵ begann der Nachweis ebenfalls indirekt mit der Fotoplatte und anschließend mit der Nebelkammer, da der Mensch über kein Sinnesorgan für das Erkennen ionisierender Strahlung verfügt. Mit diesem Zählrohr kann man auch die Reichweite der Strahlungen untersuchen und stellt fest, dass sich diese stark unterscheiden (siehe Abb. 2), weil die mitgetragene Energie unterschiedlich schnell abgegeben wird.

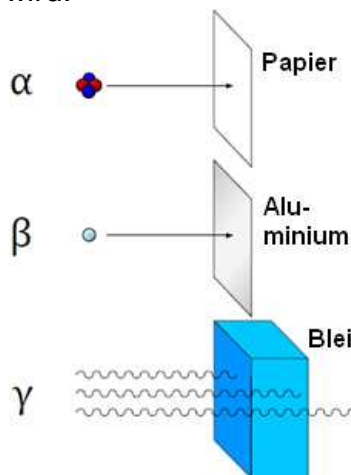


Abbildung 2. Übersicht über die unterschiedlichen Reichweiten von (nach [AAcom]).

Da Radioaktivität ein völlig natürlicher Prozess ist, bleibt der menschliche Körper jederzeit ionisierender Strahlung in geringer Dosis ausgesetzt. Neben der kosmischen Strahlung haben radioaktive Stoffe wie Radon (ein Gas, in das sich Radium, ein Erdalkalimetall, im Boden umwandelt), die natürlich in Lithosphäre und Atmosphäre vorkommen bzw. ständig gebildet werden, den größten Anteil an dieser Belastung. Im Rahmen der Diagnostik und der Therapie in der Medizin gibt es mittlerweile aber auch einen erheblichen künstlichen Anteil an der Gesamtdosis. Eine genauere Auflistung der Quellen von Radioaktivität in unserem Alltag findet sich in Abbildung 3.

⁵ Siehe dazu beispielsweise die Ausführungen in [Her87].

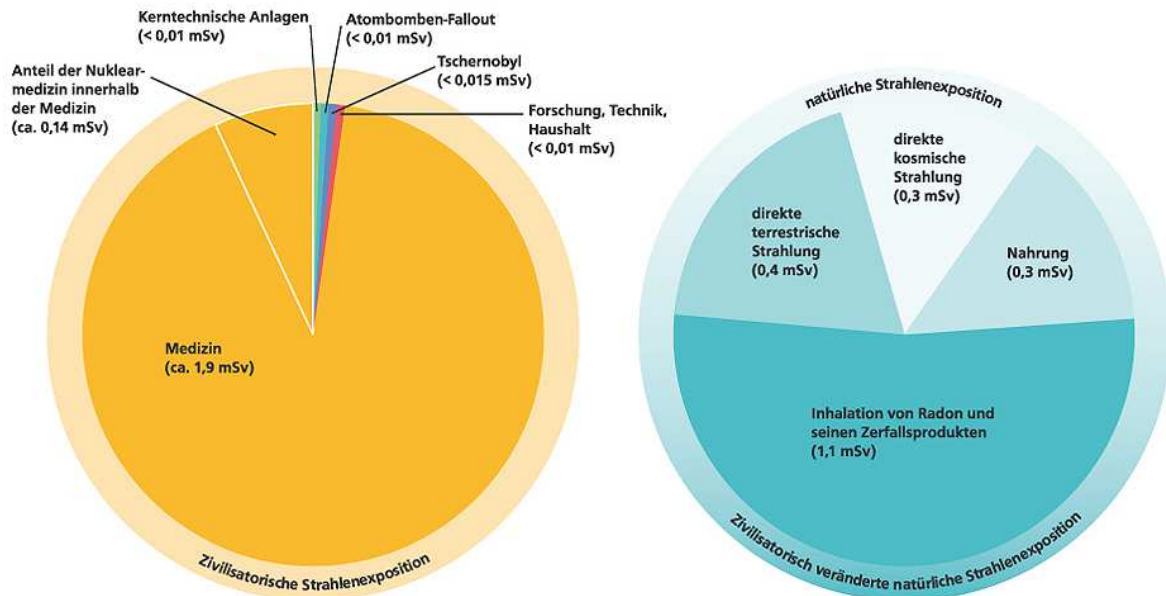


Abbildung 3. Mittlere effektive Jahresdosis⁶ durch ionisierende Strahlung im Jahr 2003 gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands (aus [BMU]).

Radioaktivität ist wie eingangs erwähnt ein zufälliger Prozess für – den quantenmechanisch betrachtet – definierte Übergangswahrscheinlichkeiten bestehen. Daher ist die *Aktivität* strenggenommen nur ein Erwartungswert. Wegen der großen Zahl von Atomen in festen Stoffen sind diese Schwankungen im Alltag aber zu vernachlässigen.

Aus dieser statistischen Betrachtung lässt sich sofort das bekannte *exponentielle Zerfallsgesetz* für die Anzahl der Kerne $N(t)$ ableiten (mit der Anfangsbedingung $N(0) = N_0$):

$$dN \propto N(t) \text{ und } dN \propto dt \Rightarrow dN = -kN(t)dt \Rightarrow \frac{dN}{N(t)} = -kdt \quad (1)$$

Übersieht man die *logarithmische Ableitung* N'/N , so löst sich Gleichung (1) immer noch elementar mittels *Separation der Variablen* zu:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-kt}$$

Dabei ist k eine Proportionalitätskonstante (*Zerfallskonstante*).

Für Exponentialfunktionen dieser Art ist die *Halbwertszeit* eine wichtige Größe und auch in unserem Kontext von entscheidender Bedeutung: Für jedes Nuklid ist die Halbwertszeit eine Konstante⁷ und sie gibt an, in welcher Zeit die Hälfte der vorhandenen Menge an radioaktiven Nukliden zerfallen ist.

Diese Inhalte sind grundlegend für ein Verständnis der Radioaktivität und Voraussetzung für den folgenden anwendungsbezogenen Teil der gesamten Unterrichtseinheit *Radioaktivität und Kernphysik*.

⁶ Die *effektive Dosis* berücksichtigt neben der Strahlungsart auch die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der Organe und ist so kein reines Maß für die eigentliche Energieabgabe.

⁷ Die Spanne an Größenordnungen der Halbwertszeit ist enorm, sie reicht von 10^{-17} bis 10^{24} s.

In den einzelnen Stunden wurden folgende Eigenschaften von Materie nachgewiesen:

- Radioaktivität ist allgegenwärtig und lässt sich indirekt mittels Nachweis der dabei freiwerdenden ionisierenden Strahlung durch ein Zählrohr nachweisen. Der Mensch selbst besitzt kein Sinnesorgan für radioaktive Strahlung.
- Radioaktivität lässt sich vermehrt in manchen alltäglichen Stoffen nachweisen.
- Atomkerne sind nicht stabil; sie können sich spontan unter Aussendung von ionisierender Strahlung umwandeln. Der Zeitverlauf der Umwandlung eines Elementes ist durch seine Halbwertszeit charakterisiert, der Zeitpunkt der Umwandlung eines einzelnen Kerns ist aber ein zufälliger Prozess.
- Radioaktive Strahlung hat eine große Fähigkeit, Materie zu durchdringen. Die drei untersuchten Strahlungsarten lassen sich jedoch mit unterschiedlich großem Aufwand abschirmen. Diese Eigenschaft kann zum Bestimmen der Strahlungsart genutzt werden.