

Ein stabiles Nuklid weniger

Das schwerste bislang als stabil eingestufte Isotop ^{209}Bi ist radioaktiv und instabil bezüglich Alpha-Zerfall

Seit der Entdeckung der Radioaktivität durch Becquerel (1896) unterscheidet man stabile und instabile Isotope. Auf der bekannten Karlsruher Nuklidkarte sind die stabilen Isotope durch schwarze Quadrate dargestellt, die instabilen je nach Zerfallsart durch rote und blaue (Beta-Zerfall), gelbe (Alpha-Zerfall) oder grüne Quadrate (spontane Kernspaltung). Als schwerstes stabiles Nuklid in dieser Darstellung war bisher das einzige natürlich vorkommende Isotop des Ele-

Dr. Harald Genz und Prof. Dr. Achim Richter, Institut für Kernphysik, Technische Universität Darmstadt, Schlossgartenstraße 9, 64289 Darmstadt



Abb. 1: Herzstück des Experiments ist ein runder BGO-Kristall (Durchmesser 2 cm), der an feinen Drähten aufgehängt ist (rechts). Die beim Alpha-Zerfall eines ^{209}Bi -Isotops deponierte Energie erwärmt den Kristall, dessen Temperaturänderung gemessen wird. Das Szintillationslicht fällt auf eine nur 100 μm dünne Germanium-Scheibe (links), deren Temperaturerhöhung ebenfalls gemessen wird.

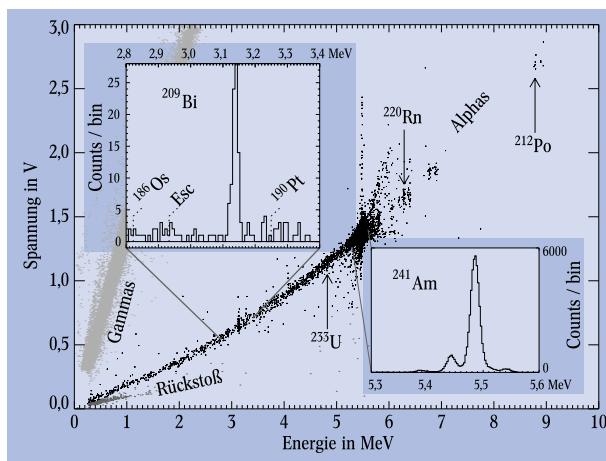


Abb. 2: Die Spannung am Szintillationsdetektor als Funktion der α -Teilchen-Energie wird dominiert von der Linie einer ^{241}Am -Quelle, die zur Kalibrierung verwendet wird und leicht mit den Isotopen ^{235}U , ^{220}Rn und ^{212}Po kontaminiert war. Diese Nuklide sind alle α -instabil. Das Inset links oben zeigt eine nahezu untergrundfreie Linie bei 3,137 MeV, die auf Grund der Eichung der beim Alpha-Zerfall von ^{209}Bi freiwerdenden Energie zugeordnet werden kann.

ments Wismut, ^{209}Bi , ausgewiesen. Zwar wurde schon länger vermutet, dass ^{209}Bi instabil sein könnte, da aufgrund der bekannten Werte für den Massenüberschuss von 3,137 MeV der Kern ^{209}Bi unter Emission eines α -Teilchens in ^{205}Tl übergehen sollte. Der experimentelle Nachweis dafür blieb jedoch bisher aus, zum einen deswegen, weil wegen der geringen Alpha-Energie und der deswegen verschwindend kleinen Tunnelwahrscheinlichkeit durch die Barriere aus Zentrifugal-, Coulomb- und Kernpotential eine extrem lange Lebensdauer erwartet wird, und zum anderen, weil die Reichweite der α -Teilchen von weniger als 10 μm deren Nachweis mit konventionellen Detektoren wie z. B. Halbleiterzählern geradezu unmöglich macht.

Durch Zufall gelang es nun einer französischen Arbeitsgruppe unter Leitung von Pierre de Marcillac vom Institut d'Astrophysique Spatiale der Universität Paris Sud, die vom Isotop ^{209}Bi ausgesandte Alpha-Strahlung eindeutig zu registrieren und aus der Häufigkeit der auftretenden Ereignisse die Halbwertszeit zu bestimmen [1]. Sie verwendeten dazu ein so genanntes Tieftemperatur-Kalorimeter, wie es seit langem in Experimenten eingesetzt wird, die nach Dunkler Materie im Kosmos suchen, speziell nach *Weakly Interacting Massive Particles*, kurz WIMPS. Zu diesen Experimenten gehören neben dem französisch-spanischen ROSEBUD-Experiment (Rare Objects Search with Bolometers Underground) in einem Tunnel unter den Pyrenäen, an dem Pierre de Marcillac beteiligt ist, auch das deutsch-italienisch-britische CRESST-Experiment (Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers) im Gran-Sasso-Labor [2]. In beiden Fällen bestehen die Kalorimeter aus einem szintillierenden Kristall, der es ermöglicht, sowohl die bei einem Teilchenzerfall deponierte Wärme als auch das dabei erzeugte Licht zu detektieren. Das besondere an dem ROSEBUD-Detektor ist nun, dass als Szintillator ein BGO-Kristall ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) verwendet wird, der durch seinen Anteil an dem nunmehr als radioaktiv ausgewiesenen Isotop ^{209}Bi zugleich als Probe fungiert (Abb. 1). Der Detektor wurde bei einer Temperatur von 20 mK betrieben, um niederenergetische α -Teilchen und Restkerne möglichst effektiv von hochenergetischen und

hochionisierenden Photonen und Teilchen aus der kosmischen Strahlung diskriminieren zu können. Während bisher von den WIMPS noch keine Spur zu entdecken war, gibt es jetzt das zitierte überraschende kernphysikalische Ergebnis. Die hohe Empfindlichkeit des Detektors ermöglichte die Messung des Alpha-Zerfalls von ^{209}Bi sogar ebenerdig im Labor in Orsay.

Indem sowohl die vom α -Teilchen und dem Restkern deponierte Wärme als auch das dabei erzeugte Licht detektiert wird, erhalten die Autoren eindeutig die beim radioaktiven Zerfall freigesetzte Energie. Aus der vollständig nachgewiesenen gesamten kinetischen Energie der freiwerdenden niederenergetischen Alpha-Strahlung ($E_\alpha = 3,077 \text{ MeV}$) und der Rückstoßenergie des Tochterkerns Tl ($E_{\text{Tl}} = 60 \text{ keV}$) lässt sich ein beeindruckendes Spektrum rekonstruieren (Abb. 2). In einer Messzeit von nur fünf Tagen gelang es, 128 Zerfälle zu beobachten. Dieser experimentelle Befund wurde von derselben Gruppe durch Einsatz eines zweiten BGO-Kalorimeters mit unterschiedlichem ^{209}Bi -Gehalt verifiziert.

Aus der Intensität unterhalb der Linie im Alpha-Spektrum bei einer Energie von $E = (3,137 \pm 1 \pm 2) \text{ keV}$ – wobei der erste Fehler der statistische und der zweite der systematische ist – ergibt sich die Halbwertszeit von ^{209}Bi zu $T_{1/2} = (1,9 \pm 0,2) \times 10^{19}$ Jahren, das ist etwa eine Milliarde Mal das Alter des Universums! Damit ist nicht mehr ^{209}Bi , sondern der doppelt magische Kern ^{208}Pb der schwerste stabile, in der Natur vorkommende Kern. Sollte es wieder eine Neuauflage der Karlsruher Nuklidkarte geben, so müsste das bisher tiefschwarze ^{209}Bi -Quadrat als Zeichen dafür, dass ^{209}Bi nach irdischen Maßstäben als quasi-stabil zu betrachten ist, schwarz-gelb dargestellt werden.

HARALD GENZ UND ACHIM RICHTER

- [1] P. de Marcillac, N. Coron, G. Dambier, J. Leblanc und J.-P. Moalic, Nature **422**, 876 (2003)
- [2] J. Jochum und F. von Feilitzsch, Phys. Blätter, März 2000, S. 65)