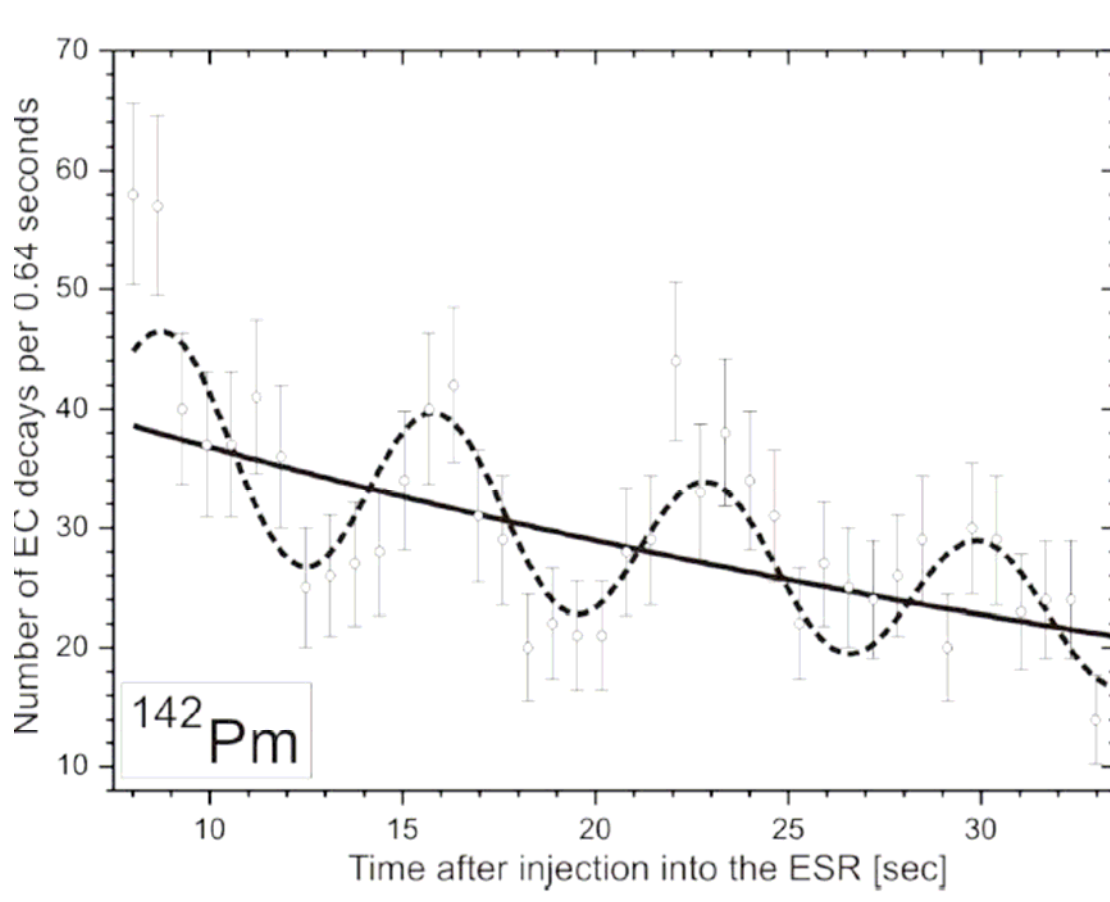


Das Experiment

Das der Publikation zugrunde liegende Experiment wurde in einem Experimentier-Speicher-Ring (ESR) der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt durchgeführt. Seit 1990 wurden dort mit einer Messung der Umlaufzeit gekühlter Ionen deren Massen sehr genau bestimmt und neue, astrophysikalisch interessante Zerfallsarten entdeckt.

Für das Experiment wurden zuerst mit einer Kernreaktion Praseodym-140- und Promethium-142-Ionen mit nur einem Elektron in der K-Schale hergestellt. Im Experiment wurde dann der zum β -Zerfall zeitumgekehrte Prozess, der Einfang des K-Elektrons in den Schwerionen untersucht. Die beim Zerfall freigesetzte Energie wird von Neutrinos mit genau definierter Energie weggetragen. Erzeugt werden die radioaktiven Kerne durch Zertrümmerung eines Strahls von Samarium-Kernen hoher Energie in einem Beryllium-Target, wobei die meisten Elektronen von den Fragmenten abgestreift werden. Nach einer Trennung in einem Magnetfeld werden im Mittel zwei radioaktive Kerne in einem Zeitfenster von weniger als einer Millionstel Sekunde in den Speicher eingelenkt. Sie werden auf geschlossenen Bahnen gehalten und kreisen mit etwa zwei Millionen Umläufen pro Sekunde in dem ESR-Ring. Innerhalb von sechs bis zehn Sekunden werden die umlaufenden Ionen mit zwei „Kühlmethoden“ auf ein halbes Millionstel genau auf die identische Umlauffrequenz gebracht, die ein genaues Maß für die Masse des Ions darstellt. Beim Zerfall des umlaufenden Ions verringert sich die Masse, was zu einer kürzeren Bahn und zu einer entsprechend höheren Umlauffrequenz des dabei erzeugten Tochterkerns führt. Der Zeitpunkt dieses Frequenzsprungs nach dem Einschuss in den ESR wird auf einen Bruchteil einer Sekunde genau registriert und ist die gesuchte Zerfallszeit des Kerns. Dieser Messprozess wird einige tausendmal mit einer Beobachtungszeit von je 100 Sekunden wiederholt und daraus die Zerfallskurve konstruiert.

Wie Figur 1 für Promethium-142 zeigt, fällt die Zerfallsrate entgegen den Erwartungen nicht exponentiell ab, sondern ist mit einer Periode von etwa sieben Sekunden moduliert. Dieses Verhalten erinnert an ein Phänomen, das man bei Überlagerungen von zwei klassischen Wellen mit kleinem Frequenzunterschied beobachtet. Es sind Schwebungen verursacht durch eine Amplitudenmodulation der Trägerfrequenz; so funktioniert auch die Tonübertragung mit Radiowellen. Im optischen Bereich ist diese Erscheinung als „Quanten-Beat“ bekannt. Aber was haben Kernzerfälle mit Amplitudenmodulation oder Quanten-Beats zu tun? Beim Elektron-Einfang eines radioaktiven Ions mit einem Elektron in der K-Schale ist der Endzustand ein Neutrino und ein Tochterkern ohne Elektron. Es ist ein quantenmechanisch verschränkter Zustand bei dem es genügt das Erscheinen des Tochterkerns nachzuweisen; es enthält die gleiche Information über den Zerfall wie der ungleich ineffektivere Nachweis des Neutrinos. Wenn angenommen wird, dass das Neutrino aus einer Überlagerung von zwei Massenzuständen mit einem kleinen Massenunterschied besteht und Energieerhaltung beim Zerfall gilt, haben die beiden Neutrino-Komponenten und daher auch die Tochterkerne unterschiedliche Energien. Die Zerfallswahrscheinlichkeit zeigt dann, ähnlich wie bei Quanten-Beats von Photonen, eine periodische Modulation deren Frequenz durch die Energiedifferenz der Neutrino-Komponenten bestimmt wird. Man kann daher die Massendifferenz der Neutrino-Komponenten aus einer Messung der Zerfallswahrscheinlichkeit bestimmen, ohne das Neutrino direkt nachzuweisen.



Figur 1. Zahl der Promethium-142 Zerfälle pro 0.64 Sekunden als Funktion der Zeit nach dem Einschuss in den ESR. Die durchgezogene Linie stellt die Erwartung für einen exponentiellen Zerfall dar. Die gestrichelte Kurve ist die Anpassung eines periodisch modellierten exponentiellen Zerfalls an die Datenpunkte mit einer Periode von 7 Sekunden und einer Amplitude von 0.22.

Publikation:

Litvinov, Yu.A. / Bosch, F. / Winckler, N. / Boutin, D. / Essel, H.G. / Faestermann, T. / Geissel, H. / (...) / Knobel, R.: Observation of non-exponential orbital electron capture decays of hydrogen-like ^{140}Pr and ^{142}Pm ions. Physics Letters B, 664 (3), p.162-168, June 2008

Abstract: [doi:10.1016/j.physletb.2008.04.062](https://doi.org/10.1016/j.physletb.2008.04.062)

Kontakt:

Prof. Paul Kienle
 Technische Universität München und
 Stefan-Meyer-Institut für subatomare Physik
 Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW)
 1090 Wien, Boltzmannngasse 3
 Tel. +43-1-4277 29705
 paul.kienle@ph.tum.de
<http://www.oeaw.ac.at/smi/>