

## **Laser Spectroscopy of Short-Lived-Radionuclides in an Ion Trap: MIRACLS' proof-of-principle experiment and the simulation of the future 30-keV MR-ToF device**

oder

## **Dem Atomkern auf der Spur - Mit der JKU ans CERN**

*Franziska Maier*

Als vor etwas mehr als einem Jahrhundert Ernest Rutherford eine dünne Folie mit Alphateilchen beschoss, entdeckte er, dass ein Atom aus einem positiv geladenen Atomkern sowie negativ geladenen Elektronen besteht, die sich rund um den Atomkern bewegen. Seit damals versuchen Physiker rund um die Welt die Struktur des Atomkerns zu verstehen, von dem man heute weiß, dass er aus positiv geladenen Protonen sowie aus neutralen Neutronen besteht, die von der starken Wechselwirkung zusammengehalten werden. 1963 erhielten Maria Goeppert Mayer und J. Hans O. Jensen den Nobelpreis für ihre Arbeit bezüglich des **Schalenmodells für Atomkerne**. Ähnlich wie die Elektronen in einem Atom, können auch die Protonen und Neutronen in einem Atomkern nur diskrete Energieniveaus besetzen, sich also nur in bestimmten Schalen ‚aufhalten‘. Atomkerne mit komplett gefüllten Schalen sind besonders stabil.

Überraschenderweise unterscheiden sich die Schalenabschlüsse im Atomkern zwischen stabileren und hochradioaktiven Isotopen teilweise gravierend. (Isotope eines chemischen Elements besitzen gleich viele Protonen, aber unterschiedlich viele Neutronen im Atomkern.) Es ist die Aufgabe der modernen Kernphysik diese Diskontinuitäten zu erklären und die genaue Struktur von Atomkernen zu erforschen.

Mit der ‚**Isotopenfabrik**‘ **ISOLDE am CERN** in der Schweiz kann eine immense Vielfalt von (kurzlebigen) exotischen Isotopen erzeugt werden. Die Eigenschaften dieser Isotope werden mit verschiedenen Messaufbauten untersucht, z.B. mit Hilfe von **kollinearer Laserspektroskopie (CLS)**. Hierbei regt der Laser die Ionen – also elektrisch geladene Atome – an, deren Elektronen dann eine höhere atomare Schale, also ein höheres Energieniveau, besetzen. Beim Übergang in den Grundzustand emittieren die Ionen Fluoreszenzphotonen – das sind Lichtteilchen, die detektiert werden können. Aus diesen Messdaten lassen sich Aussagen über die Schalen der Elektronen treffen, aufgrund der elektromagnetischen Wechselwirkung zwischen Elektronen und Atomkern ist es wiederum möglich, Rückschlüsse auf die Kernstruktur ziehen.

Seit fast vier Jahrzehnten werden so Kernspin, Kernladungsgröße sowie Kernmomente erfolgreich gemessen. Zur Messung von sehr exotischen Radionukliden, die nur in geringen Mengen in modernen Kernforschungsanlagen erzeugt werden können, sind jedoch **neue innovative Versuchsaufbauten** erforderlich, wie z.B. der **Multi Ion Reflection Apparatus for CLS (MIRACLS)**, der zurzeit an der ISOLDE am CERN entwickelt wird (siehe Bild 1). Ionen mit einer kinetischen Energie von 30 keV sollen zwischen zwei elektrostatischen „Spiegeln“ eines Multi-Reflection Time-of-Flight (MR-ToF) Geräts eingefangen werden, Die Ionen fliegen zwischen den Spiegeln hin und her, die Beobachtungszeit wird verlängert und die experimentelle Sensitivität wird signifikant erhöht, während die hohe Auflösung von konventioneller Laserspektroskopie erhalten bleibt.

In meiner **Masterarbeit am CERN** baute ich gemeinsam mit einem internationalen Forscher\_innenteam das dazugehörige **Pilotexperiment** auf und zeigte, dass Laserspektroskopie in einem niederenergetischen MR-ToF Gerät möglich ist. Des Weiteren führte ich Simulationen über die Bewegung der Ionen im Pilotexperiment

durch, die gut mit den experimentellen Ergebnissen übereinstimmen. Somit konnten die Simulationen dann auch auf das neue höherenergetische MR-ToF Gerät angewendet werden, das in den kommenden Jahren gebaut wird.

Durch das Einsperren der Ionen zwischen zwei elektrostatischen Spiegeln wird die Struktur von Atomkernen, die derzeit außer Reichweite sind, zum ersten Mal messbar. Die erhaltenen Messdaten dienen dann als Test für moderne nukleare Theorien und werden zu einem **besseren Verständnis für die Schalenstruktur im Atomkern** beitragen.

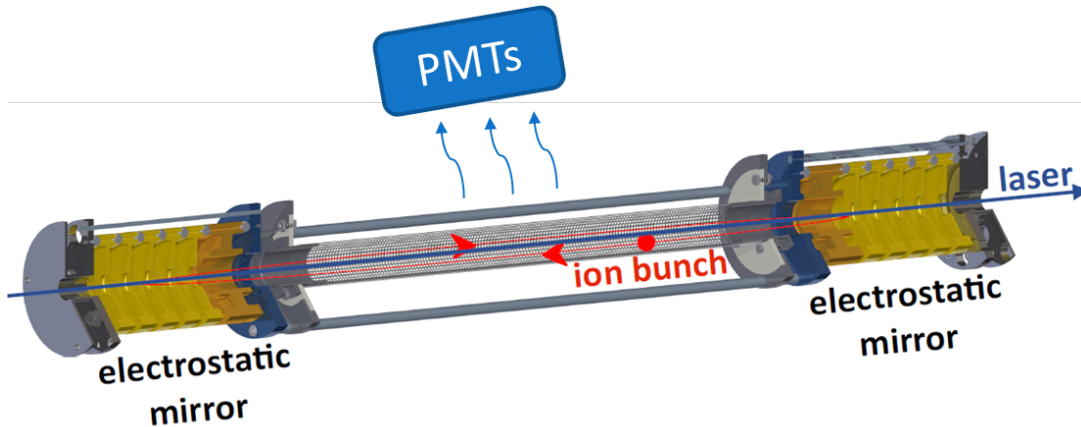


Bild 1: Schematische Darstellung des Konzeptes von MIRACLs: Die Ionen werden zwischen den elektrostatischen Spiegeln eines MR-ToF Geräts eingefangen und bei jedem Umlauf vom Laser angeregt. Die abgegebenen Fluoreszenzphotonen werden von Photomultipliertubes (PMTs) detektiert. Aus den dadurch erhaltenen Messdaten lassen sich Rückschlüsse auf den Atomkern ziehen.

#### **Publikationen während meiner Masterarbeit:**

F. Maier, P. Fischer, H. Heylen, V. Lagaki, S. Lechner, P. Plattner, S. Sels, F. Wienholtz, W. Nörtershäuser, L. Schweikhard, S. Malbrunot-Ettenauer. Simulations of a proof-of-principle experiment for collinear laser spectroscopy within a multi-reflection time-of-flight device. *Hyperfine Interactions*, 2019.

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10751-019-1575-x>

S. Lechner, P. Fischer, H. Heylen, V. Lagaki, F. Maier, P. Plattner, M. Rosenbusch, S. Sels, F. Wienholtz, R. Wolf, W. Nörtershäuser, L. Schweikhard, S. Malbrunot-Ettenauer. Fluorescence Detection as a new Diagnostics Tool for Electrostatic Ion Beam Traps. *Hyperfine Interactions*, 2019.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10751-019-1628-1>

S. Sels, P. Fischer, H. Heylen, V. Lagaki, S. Lechner, F. Maier, P. Plattner, M. Rosenbusch, F. Wienholtz, R. Wolf, W. Nörtershäuser, L. Schweikhard, S. Malbrunot-Ettenauer. First steps in the development of the Multi Ion Reflection Apparatus for Collinear Laser Spectroscopy. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2019.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168583X19302605?via%3Dihub>

#### **Teilnahme mit Posterpräsentation auf einer Konferenz:**

Simulations of Ion Trajectories inside the Multi Ion Reflection Apparatus for Collinear Laser Spectroscopy (MIRACLs). ISOLDE Workshop and Users Meeting, CERN, Switzerland, 2018.

<https://indico.cern.ch/event/736872/overview>