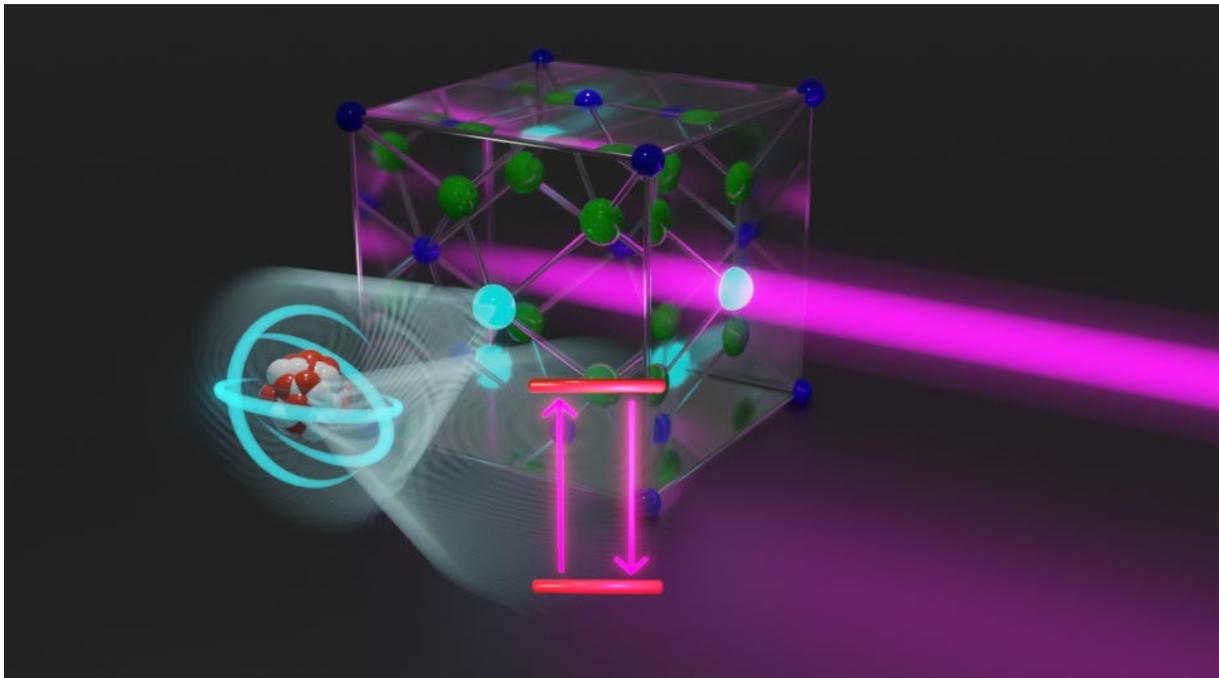


29. April 2024

## Lange erhoffter Durchbruch: Erstmals Atomkern mit Laser angeregt

Der seit Jahrzehnten gesuchte „Thorium-Übergang“ wurde nun von TU Wien und der PTB Braunschweig erstmals mit Lasern gezielt angeregt. Damit ist der Weg frei für völlig neue Präzisions-Technologien, bis hin zur Atomkern-Uhr.



*Ein Laserstrahl ändert den Zustand eines Thorium-Kerns, der in einen Kristall eingebaut ist. So hat man nun den lange gesuchten Thorium-Übergang entdeckt und exakt vermessen. (Graphik: TU Wien)*

Lange hat man auf diesen Moment gehofft: Seit Jahren wurde weltweit nach einem ganz bestimmten Zustand von Thorium-Atomkernen gesucht, der großartige technische Anwendungen verspricht. Man könnte damit etwa eine Atomkern-Uhr bauen, die präzisere Zeitmessungen ermöglicht als die besten heute verfügbaren Atomuhren. Man könnte damit auch völlig neue Grundsatzfragen der Physik beantworten – zum Beispiel die Frage, ob die Naturkonstanten tatsächlich konstant sind oder sich in Raum und Zeit verändern.

Nun wurde diese Hoffnung tatsächlich wahr: Der lang gesuchte Thorium-Übergang ist gefunden, seine Energie ist nun exakt bekannt. Erstmals gelang es, einen Atomkern gezielt mit einem Laser in einen Zustand höherer Energie zu versetzen und dann seine Rückkehr in den ursprünglichen Zustand genau zu verfolgen. Damit lassen sich zwei Bereiche der Physik verbinden, die bisher kaum etwas miteinander zu tun hatten – die klassische Quantenphysik und die Kernphysik. Entscheidend dafür war die Entwicklung spezieller thoriumhaltiger Kristalle. Ein Forschungsteam um Prof. Thorsten Schumm von der TU Wien publizierte diesen Erfolg nun gemeinsam mit einem Team der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig im Fachjournal „Physical Review Letters“.

## Quantenzustände umschalten

Atome oder Moleküle mit Lasern zu manipulieren ist heute ganz alltäglich: Wenn die Wellenlänge des Lasers exakt richtig gewählt ist, kann man Atome oder Moleküle von einem Zustand in einen anderen wechseln lassen. So kann man die Energien von Atomen oder Molekülen sehr exakt vermessen. Viele Präzisionsmesstechniken beruhen genau darauf, etwa unsere heutigen Atomuhren, aber auch chemische Analysemethoden. Auch in Quantencomputern werden oft Laser verwendet, um Information in Atomen oder Molekülen zu speichern.

Unmöglich schien es aber lange Zeit, diese Techniken auf Atomkerne anzuwenden. „Auch Atomkerne können unterschiedliche Quantenzustände annehmen. Doch um einen Atomkern von einem Zustand zum anderen wechseln zu lassen, ist normalerweise viel mehr Energie nötig – mindestens das Tausendfache der Energien, mit denen wir es bei Elektronen im Atom oder im Molekül zu tun haben“, sagt Thorsten Schumm. „Daher lassen sich Atomkerne normalerweise mit Lasern nicht manipulieren, die Energie der Photonen reicht dafür einfach nicht aus.“

Das ist bedauerlich, denn eigentlich sind Atomkerne die perfekten Quantenobjekte für Präzisionsmessungen: Sie sind viel kleiner als Atome und Moleküle und sind daher viel weniger anfällig für Störungen von außen, etwa durch elektromagnetische Felder. Prinzipiell würden sie daher Messungen mit bisher unerreichter Genauigkeit erlauben.

## Die Nadel im Heuhaufen

Schon seit den 1970er-Jahren wurde spekuliert, dass es einen speziellen Atomkern geben könnte, der sich im Gegensatz zu anderen Kernen vielleicht doch mit einem Laser manipulieren lässt, nämlich Thorium-229. Dieser Kern weist zwei sehr eng benachbarte Energiezustände auf – so eng benachbart, dass ein Laser im Prinzip ausreichen sollte, um den Zustand des Atomkerns zu verändern.

Lange Zeit gab es aber nur indirekte Hinweise auf die Existenz dieses Übergangs. „Das Problem ist, dass man die Energie des Übergangs extrem genau kennen muss, um den Übergang mit einem Laserstrahl herbeiführen zu können“, sagt Thorsten Schumm. „Wenn man auf ein Elektronenvolt genau weiß, bei welcher Energie sich dieser Übergang befindet, dann nützt das wenig, wenn man ihn auf ein Millionstel Elektronenvolt genau treffen muss, um ihn nachzuweisen.“ Es ist wie die Suche nach einer Nadel im Heuhaufen – oder wie der Versuch, eine kleine Schatzkiste zu finden, die auf einer kilometergroßen Insel vergraben ist.

## Der Trick mit dem Kristall

Manche Forschungsgruppen versuchten, Thorium-Kerne zu untersuchen, indem man sie einzeln in elektromagnetischen Fallen festhielt. Thorsten Schumm wählte mit seinem Team aber eine ganz andere Technik. „Wir entwickelten Kristalle, in denen Thorium-Atome in großer Anzahl gezielt eingebaut werden“, erklärt Fabian Schaden, der die Kristalle in Wien entwickelt und gemeinsam mit dem Team der PTB vermessen hat. „Das ist zwar technisch recht aufwändig, hat aber den Vorteil, dass wir auf diese Weise nicht nur einzelne Thorium-Kerne studieren, sondern rund zehn hoch siebzehn Thorium-Kerne gleichzeitig mit dem Laser treffen können – etwa millionenfach mehr als es Sterne in unserer Galaxie gibt.“ Durch die hohe Anzahl der Thorium-Kerne wird der Effekt verstärkt, die nötige Messdauer wird verkürzt, die Wahrscheinlichkeit, den gesuchte Energie-Übergang tatsächlich zu finden, wird größer.

Am 21. November 2023 war es dann tatsächlich so weit: Die Energie des gesuchten Thorium-Übergangs wurde exakt getroffen, die Thorium-Kerne lieferten zum ersten Mal ein klares Signal: Der Laserstrahl hatte ihren Zustand tatsächlich gezielt umgeschaltet. Nach sorgfältiger Überprüfung und Auswertung der Daten wurde das Ergebnis nun veröffentlicht.

„Für uns geht damit ein langjähriger Traum in Erfüllung“, sagt Thorsten Schumm. Seit 2009 hatte Schumm seine Forschung ganz auf die Suche nach dem Thorium-Übergang ausgerichtet, immer wieder konnte seine Gruppe wie auch konkurrierende Teams aus der ganzen Welt in den letzten Jahren wichtige Teilerfolge erzielen. „Wir freuen uns natürlich sehr, dass wir es nun sind, die den entscheidenden Durchbruch präsentieren können: Die erste gezielte Laseranregung eines Atomkerns“, sagt Schumm.

### **Der Traum von der Atomkern-Uhr**

Damit beginnt der nächste spannende Teil der Arbeit: Nachdem nun bekannt ist, wie man den Thorium-Zustand anregen kann, lässt sich diese Technik für Präzisionsmessungen nutzen. „Von Anfang an war der Bau eine Atomkern-Uhr ein wichtiges Fernziel“, sagt Thorsten Schumm. „Ähnlich wie eine Pendeluhr das Schwingen des Pendels als Zeitgeber nutzt, könnte man die Schwingung des Lichts, das den Thorium-Übergang anregt, als Zeitgeber für eine neuartige Uhr nutzen, die noch einmal deutlich genauer wäre als die besten Atomuhren, die es heute gibt.“

Doch nicht nur Zeit, auch viele andere physikalische Größen könnte man auf diese Weise viel präziser messen als bisher. Man könnte etwa das Gravitationsfeld der Erde so exakt analysieren, dass sich daraus Hinweise auf Bodenschätze oder Erdbeben ergeben könnten. Man könnte die Messmethode auch verwenden, um ganz fundamentalen Rätseln der Physik auf die Spur zu kommen: Sind die Naturkonstanten tatsächlich konstant? Oder lassen sich vielleicht im Lauf der Zeit winzige Änderungen messen? „Unsere Messmethode ist erst der Anfang“, ist Thorsten Schumm zuversichtlich. „Welche Ergebnisse man damit erzielen wird, lässt sich heute noch gar nicht abschätzen. Spannend wird es ganz sicher.“

### **Originalpublikation:**

Laser excitation of the Th-229 nucleus, Physical Review Letters:

<https://journals.aps.org/prl/accepted/2c07aYbeC981d47c171619f5604116053962ac79a> (29.04.2024).

Preprint des Artikels: [https://www.tuwien.at/fileadmin/Assets/tu-wien/News/2024/Thorium\\_Preprint.pdf](https://www.tuwien.at/fileadmin/Assets/tu-wien/News/2024/Thorium_Preprint.pdf)

### **Bilderdownload:**

<https://www.tuwien.at/tu-wien/aktuelles/news/news/bilderdownload>

### **Rückfragehinweis:**

Prof. Thorsten Schumm  
Atominstitut  
Technische Universität Wien  
+43 1 58801 141896  
[thorsten.schumm@tuwien.ac.at](mailto:thorsten.schumm@tuwien.ac.at)

Historischer Hintergrund:

## Die lange Suche nach dem Thorium-Übergang

**Die Geschichte eines jahrzehntelangen Rätsels: Wie viel Energie braucht man, um einen Thorium-Kern vom Zustand niedrigster Energie in den nächsthöheren Energiezustand zu bringen?**

Auf den ersten Blick könnte man glauben, die Ausgangssituation sei doch ganz einfach: Ein Thorium-Kern kann sich in verschiedenen Zuständen befinden – im Grundzustand oder in einem metastabilen Zustand. Beide haben fast dieselbe Energie. Wenn man das Thorium mit einem Laserstrahl trifft, dessen Wellenlänge genau zum Energieunterschied zwischen diesen beiden Zuständen passt, dann bringt man den Thorium-Kern dazu, von einem Zustand in den anderen zu wechseln.

Das Problem dabei ist: Damit das funktioniert, muss man sehr exakt wissen, wie viel Energie dafür nötig ist. Nur wenn man genau ins Schwarze trifft, wird man einen Effekt sehen. Man muss mit einer Präzision im Bereich von Millionstel eines Elektronenvolts arbeiten, sonst hat der Laserstrahl einfach keine Wirkung.

Schwierig ist das auch deshalb, weil man nicht sofort bemerkt, ob man die richtige Energie getroffen hat. „Wenn man den Atomkern vom niedrigeren Zustand in den höheren Zustand anregt, dann bleibt er zunächst eine Weile in diesem höheren Zustand“, sagt Thorsten Schumm. „Der angeregte Zustand hat eine Lebensdauer von über zehn Minuten. Erst dann kehrt der Atomkern in den Grundzustand zurück und sendet dabei Licht aus, das man dann messen kann.“

Eine bestimmte Wellenlänge auf zuverlässige Weise zu testen, kann Stunden dauern. „Daher galt es lange Zeit als unmöglich, einfach alle denkbaren Energiewerte nacheinander durchzuprobieren“, sagt Thorsten Schumm. „Wenn man nicht weiß, wo man suchen muss, ist die Suche hoffnungslos.“ Die Frage ist also: Wie kann man den Energiebereich, der durchsucht werden muss, möglichst präzise einschränken?

### Wolkenkratzer versus Bordsteinkante

Schon in den 1970er-Jahren untersuchte man Uran-Kerne, die sich durch radioaktiven Zerfall in Thorium-Kerne umwandeln. Aus der Strahlung dieses Zerfalls konnte man ablesen, dass Thorium-229 zwei energetisch extrem eng beisammen liegende Energiezustände haben dürfte – mit einer Energiedifferenz von weniger als 100 Elektronenvolt. Genaueres ließ sich damals noch nicht sagen.

In den 1990er-Jahren machte man sich daran, diese Energiedifferenz präziser zu vermessen. Man verwendet dafür einen speziellen Trick: Man versetzt die Thorium-Kerne in einen anderen Zustand mit viel höherer Energie als die beiden Zustände, die man eigentlich untersuchen möchte (im Bereich von vielen tausend Elektronenvolt). Der Thorium-Kern wird dann irgendwann in einen der beiden eng benachbarten Zustände niedriger Energie wechseln – in den Grundzustand oder den energetisch eng benachbarten metastabilen Zustand. Aus der Strahlung, die dabei entsteht, kann man indirekt auf den Abstand zwischen den beiden niedrigen Zuständen zurückrechnen.

Die Genauigkeit dieser Methode ist allerdings beschränkt. „Es ist ein bisschen, als würde man die Höhe einer Bordsteinkante vermessen, indem man zunächst viel höher geht und vom Dach eines Wolkenkratzers aus einen Ball auf die Straße fallen lässt“, sagt Thorsten Schumm. „Der Ball kann auf die Straße fallen, oder auch auf den Bordstein. Der Unterschied zwischen diesen beiden Möglichkeiten ist winzig, verglichen mit der Höhe des Wolkenkratzers. Aber wenn man beide Abstände sehr genau misst, kann man damit im Prinzip etwas über die Bordsteinkante lernen.“

### Ein Wettlauf um die höchste Präzision

Erste Ergebnisse mit dieser Methode lieferten extrem niedrige Werte für die Energie des gesuchten Thorium-Übergangs: 3,5 Elektronenvolt lautete eine frühe Vermutung, 2005 wurde dann ein Wert von 5,5 Elektronenvolt veröffentlicht – mit einer damals geschätzten Genauigkeit von einem Elektronenvolt.

Forschungsteams aus Europa, den USA und Japan lieferten sich ein Rennen um die besten Ergebnisse, der vermutete Wert verschob sich ein bisschen nach oben: 2009 wurde am Lawrence Livermore Lab (USA) ein Wert von  $7,8 \pm 0,5$  Elektronenvolt gemessen, 2019 schließlich kam ein Team der LMU München mit Beteiligung von



Thorsten Schumm auf  $8,28 \pm 0,17$  Elektronenvolt, 2020 veröffentlichte Schumm mit Kollegen aus Heidelberg Daten, die auf  $8,10 \pm 0,17$  Elektronenvolt hindeuteten.

Die Genauigkeit war im Lauf der Jahre also gestiegen, aber die Ergebnisse waren immer noch viel zu unpräzise, um darauf hoffen zu können, den Energieübergang mit einem Laser tatsächlich exakt zu treffen.

Ein unerlässlicher Schritt für die Verbesserung dieser Messungen war die Herstellung von Thorium-haltigen Kristallen – eine schwierige Aufgabe, die Thorsten Schumm mit seinem Team an der TU Wien löste. Auf diese Weise kann man gleichzeitig eine große Zahl von Thorium-Kernen untersuchen.

### **Erstmals Licht vom Übergang selbst**

Solche Kristalle waren es dann auch, mit denen es im Jahr 2023 einer Kooperation aus LMU München und TU Wien erstmals gelang, den gesuchten Thorium-Übergang direkt zu messen: Man musste nicht mehr indirekt über einen anderen, viel höheren Energiezustand auf die Energie des Thorium-Übergangs schließen, sondern es gelang, die Strahlung direkt zu messen, die beim gesuchten Zustandswechsel entsteht. Damit war plötzlich eine viel höhere Präzision möglich:  $8.338 \pm 0,024$  Elektronenvolt lautete das neue Ergebnis.

Damit bestand nun erstmals Hoffnung, den Zustand gezielt mit einem Laser anregen zu können. Schritt für Schritt tastete man den nun eng eingegrenzten Bereich ab – bis man schließlich Erfolg hatte und ein klares Signal erhielt – bei einer Energie von  $8,355743 \pm 0,000003$  Elektronenvolt.

In fünf Jahrzehnten wurde aus „weniger als 100 Elektronenvolt“ somit eine Präzision im Mikroelektronenvolt-Bereich. Damit ist die Tür für ein neues Forschungsfeld mit vielen technischen Anwendungen endlich offen.

Anwendungsmöglichkeiten:

## Von Atomkern-Uhren und den Grundkonstanten der Natur

**Der lange gesuchte Thorium-Übergang ist gefunden – was kann man nun damit machen? Ganz unterschiedliche Bereiche der Technik könnten davon profitieren.**

Erstmals gelang es nun, Thorium-Kerne mit einem Laser von einem Zustand in einen anderen zu versetzen – doch schon seit Jahrzehnten wurde spekuliert, welche technischen Möglichkeiten sich ergeben würden, wenn dieses Kunststück eines Tages möglich werden würde. Die Erwartungen sind hoch: Die wohl bekannteste Idee ist die Atomkern-Uhr, doch in ganz anderen Bereichen der Forschung könnten Präzisionsmessungen, die auf dem Thorium-Übergang beruhen, neue Möglichkeiten eröffnen.

### Zeitmessung

Die exaktesten Zeitmessgeräte sind heute Atomuhren – sie haben sogar die Definition unserer Zeiteinheiten verändert. Die Sekunde ist heute als jene Zeitdauer definiert, die einer ganz bestimmten Zahl von Schwingungen jenes Lichts entspricht, das auf ein Cäsium-Atom eingestrahlt werden muss, um seine Elektronen zum Wechsel von einem Zustand zu einem anderen zu bewegen.

Ähnlich wie das Pendel einer Pendeluhr spielt die Lichtschwingung der Cäsium-Atome die Rolle des Taktgebers, der das regelmäßige Ticken für eine möglichst exakte Zeitmessung liefert. Atomuhren kommen heute zum Beispiel bei der Koordination von Satelliten zum Einsatz, sie ermöglichen die hohe Genauigkeit von GPS-Signalen, auch in der Telekommunikation spielen sie eine Rolle.

Statt der Cäsium-Atome kann man nun aber auch Thorium-Atomkerne als Taktgeber verwenden. Nur wenn man die Thorium-Kerne mit einem Laserstrahl der exakt richtigen Frequenz bestrahlt, wechseln sie ihren Zustand. Ändert der Laser (etwa wegen Störungen von außen) seine Frequenz ein kleines bisschen, äußert sich das sofort in einer veränderten Antwort der Thorium-Kerne. Somit kann man durch die Kombination von Laser und Thorium-Kernen die Laserfrequenz extrem stabil halten und sicher sein, dass die Laserfrequenz nicht davondriftet.

Weil Atomkerne noch viel kleiner sind als Atome und viel weniger sensibel auf elektromagnetische Störungen reagieren, kann man mit Atomkernen eine noch viel höhere Präzision erreichen als mit Atomen, wenn es um Zeitmessungen geht.

### Alles wird besser mit besseren Uhren

Mit besserer Zeitmessung kann man auch andere physikalische Größen genauer messen – das ist ein altbekanntes Phänomen: In der Seefahrt etwa hatte man lange mit dem Problem zu kämpfen, dass man zwar den Breitengrad anhand des Sonnenstandes gut ermitteln kann, um den Längengrad richtig anzugeben, braucht man aber zusätzlich eine exakte Uhr. Bessere Zeitmessung macht andere Messungen oft erst möglich.

So sagt Einsteins Relativitätstheorie beispielsweise, dass die Zeit nicht überall gleich schnell vergeht: Der Fluss der Zeit hängt vom Gravitationsfeld ab. Auf diese Weise könnte also eine extrem präzise Uhr verwendet werden, um das Gravitationsfeld der Erde genau zu vermessen – mit vielen möglichen Anwendungen, die von der Suche nach Bodenschätzen bis hin zur Forschung an Plattentektonik und Erdbebenvorhersage reichen.

Große Hoffnung setzt man auch auf die Möglichkeit, dass neue, bessere Uhren bisher ungelöste Grundsatzfragen der Physik klären könnten: Wenn es gelingt, die Naturkonstanten noch deutlich genauer zu messen als bisher, dann könnte man auch die These testen, dass diese Naturkonstanten vielleicht gar nicht perfekt konstant sind. Vielleicht ändern sie sich im Lauf der Zeit? Auch in der Forschung an dunkler Materie erhofft man sich neue Aufschlüsse durch noch präzisere Messungen.

Den fundamentalen Gesetzen der Natur kommt man nicht immer nur mit einem Blick auf die kleinsten Teilchen im Teilchenbeschleuniger näher, oder mit einem Blick in die entferntesten Gegenden des Alls. Manchmal braucht man einfach nur eine höhere Präzision – und dabei soll der neuentdeckte Thorium-Übergang mit all seinen Anwendungsmöglichkeiten in den nächsten Jahren und Jahrzehnten helfen.

Der Trick mit dem Kristall:

## High-Tech Edelsteine für die Forschung

Entscheidend für das Aufspüren des lange gesuchten Thorium-Übergangs waren spezielle thoriumhaltige Edelsteine, die in jahrelanger Arbeit an der TU Wien entwickelt wurden.



*Prof. Thorsten Schumm mit dem thoriumhaltigen Kristall (Copyright: Foto Wilke)*

Smaragd, Rubin, Amethyst und viele andere Edelsteine haben eine Gemeinsamkeit: Sie bestehen aus einer perfekt regelmäßigen Kristallstruktur, in die in geringer Konzentration Fremdatome eingebaut sind. Aus physikalischer Sicht handelt es sich bei diesen Fremdatomen eigentlich um „Störungen“ – um Imperfektionen im Kristall. Doch genau sie sind es, die dem Edelstein Farbe und Feuer verleihen. Der Amethyst beispielsweise hat die Struktur von einfachem Quarzkristall. Die Beimischung einer weniger Eisenatome bewirkt jedoch die charakteristische violette Färbung. Ein völlig perfekter Kristall hingegen, in dem sich dieselbe Anordnung von Atomen immer und immer wieder exakt wiederholt, sieht meist recht fad und blass-transparent aus

Ganz ähnlich ist das bei den Kristallen, die an der TU Wien gezüchtet wurden, um den lange gesuchten Thorium-Übergang zu finden: Entscheidend ist auch hier das sorgfältige und präzise Einbauen von Fremdatomen – in diesem Fall von radioaktivem Thorium. Unter allen Forschungsgruppen, die weltweit am Thorium-Übergang forschen, ist das Team der TU Wien das einzige, das solche Thorium-haltigen Kristalle selbst herstellen kann. Das war am Ende auch das Geheimnis des Erfolgs.

### Thorium-Atome im Kristall

„Wenn man Thorium-Atomkerne mit einem Laser anregen will, hat man grundsätzlich zwei Möglichkeiten“, erklärt Prof. Thorsten Schumm. „Entweder man verwendet Thorium-Ionen, die man mit elektromagnetischen Feldern einfängt und festhält, oder man baut die Thorium-Atome in einen Festkörper ein.“ In Ionenfallen kann man immer nur eine recht kleine Zahl von Atomen gefangen halten, daher war Thorsten Schumm bald klar: Er wollte den Festkörper-Ansatz verfolgen. Doch dafür sind große technische Herausforderungen zu bewältigen.

„Das Ausgangsmaterial muss für den Laser völlig transparent sein. Nur auf die eingebauten Thorium-Atome soll der Laser eine Wirkung haben“, betont Thorsten Schumm. Glas oder ähnliche Materialien, die auf atomarer Ebene eher unregelmäßig sind, kommen dafür nicht in Frage, sie sind nicht transparent genug. Nur mit geeigneten, extrem regelmäßigen Kristallen kann das gelingen, etwa mit Calciumfluorid.

### **Schmelzen und neu erstarren lassen**

Doch wie baut man in einen extrem regelmäßigen Calciumfluorid-Kristall Thorium-Atome ein? „Es hat Jahre gedauert, diesen Prozess zu entwickeln“, sagt Thorsten Schumm. „Wir beginnen mit einem winzigen, sehr regelmäßigen Kristall, dem wir Thorium hinzufügen und in ein Ultrahochvakuum bringen. Sauerstoff würde den Prozess sofort zerstören.“ In der Vakuumkammer wird der Kristall dann erhitzt und teilweise aufgeschmolzen. So bildet sich ein flüssiges Gemisch aus Thorium, Calcium und Fluor, während ein Teil des Kristalls darunter noch fest ist. Nun senkt man die Temperatur wieder und lässt das Gemisch erstarren – und zwar genau entlang des geometrischen Musters, das vom darunterliegenden, noch festen Kristall vorgegeben wird.

„Es gibt viele technische Details, die man dabei exakt kontrollieren muss, aber wenn man alles richtig macht, bekommt man auf diese Weise einen sehr regelmäßigen Kristall mit eingebauten Thorium-Atomen, in einer Größe von einigen Millimetern.“

### **Seltene Kombination von Wissen aus unterschiedlichen Bereichen**

Ursprünglich hatte Thorsten Schumm gar nicht unbedingt den Plan, die Kristalle selbst herzustellen. „Es gibt Forschungsinstitute und Firmen, die sich auf das Züchten von Kristallen spezialisiert haben. Ich habe viele Gespräche geführt, auf der Suche nach Partnern, die solche Kristalle herstellen können – doch das war schwieriger als gedacht“, erzählt Schumm.

Die meisten Herstellungsverfahren sind auf möglichst große Kristalle optimiert. Für das Anregen des Thorium-Übergangs sind aber kleine Kristalle nötig: Der Laserstrahl, den man für die Experimente verwendet, trifft nur auf einen kleinen Bereich der Probe, jedes Material, das darüber hinausgeht, würde nur zu Störungen beitragen. „Beim Produzieren kleiner Kristalle hat man mit ganz anderen Schwierigkeiten zu kämpfen als bei großen. Die Oberflächenspannung beispielsweise spielt auf kleiner Skala eine viel wichtigere Rolle. Auch bei uns hat es Jahre gedauert, um von exzellenten zentimetergroßen Kristallen auf exzellente millimetergroße Kristalle zu kommen.“

Außerdem gibt es kaum Institute, die das nötige Wissen und das nötige Equipment haben, um mit radioaktivem Thorium umzugehen. „Das ist natürlich ein großer Vorteil bei uns, am Atominstitut der TU Wien“, sagt Thorsten Schumm. „Wir sind dafür zertifiziert, wir haben Strahlenschutz-Expertise und die nötigen Geräte, um mit Thorium zu arbeiten.“ Ein scheinbar ganz simpler Arbeitsschritt wie das Zurechtpolieren des Kristalls wird zum großen Problem, wenn man keine Erfahrung mit radioaktivem Material hat. Man kann nicht einfach Thorium-Staub im Labor erzeugen, der dann vielleicht eingeatmet werden kann.

### **Nebenbei ein ganz neuer Forschungsbereich**

So befand sich Thorsten Schumm also in der merkwürdigen Situation, Expertise auf Weltniveau in einem Gebiet aufbauen zu müssen, das eigentlich gar nicht sein wahres Forschungsgebiet war: Das Ziel war immer, mit einem Laser Atomkerne anzuregen, also Quantenphysik und Kernphysik miteinander zu vereinen. Aber als Mittel zu diesem Zweck brauchte man eben auch einen Durchbruch in der Materialforschung – einem eigentlich ganz anderen Teilbereich der Physik.

„Nie hätte ich gedacht, dass ich zusätzlich auch noch Festkörperphysiker werden würde“, sagt Schumm. „Aber letztlich war das der Schlüssel zum Erfolg: Eben weil wir die Kristalle selbst herstellen, charakterisieren und vermessen, hatten wir den entscheidenden Vorsprung und waren gemeinsam mit unseren Kollegen in Braunschweig letztlich jenes Team, dem der entscheidende Schritt gelang.“