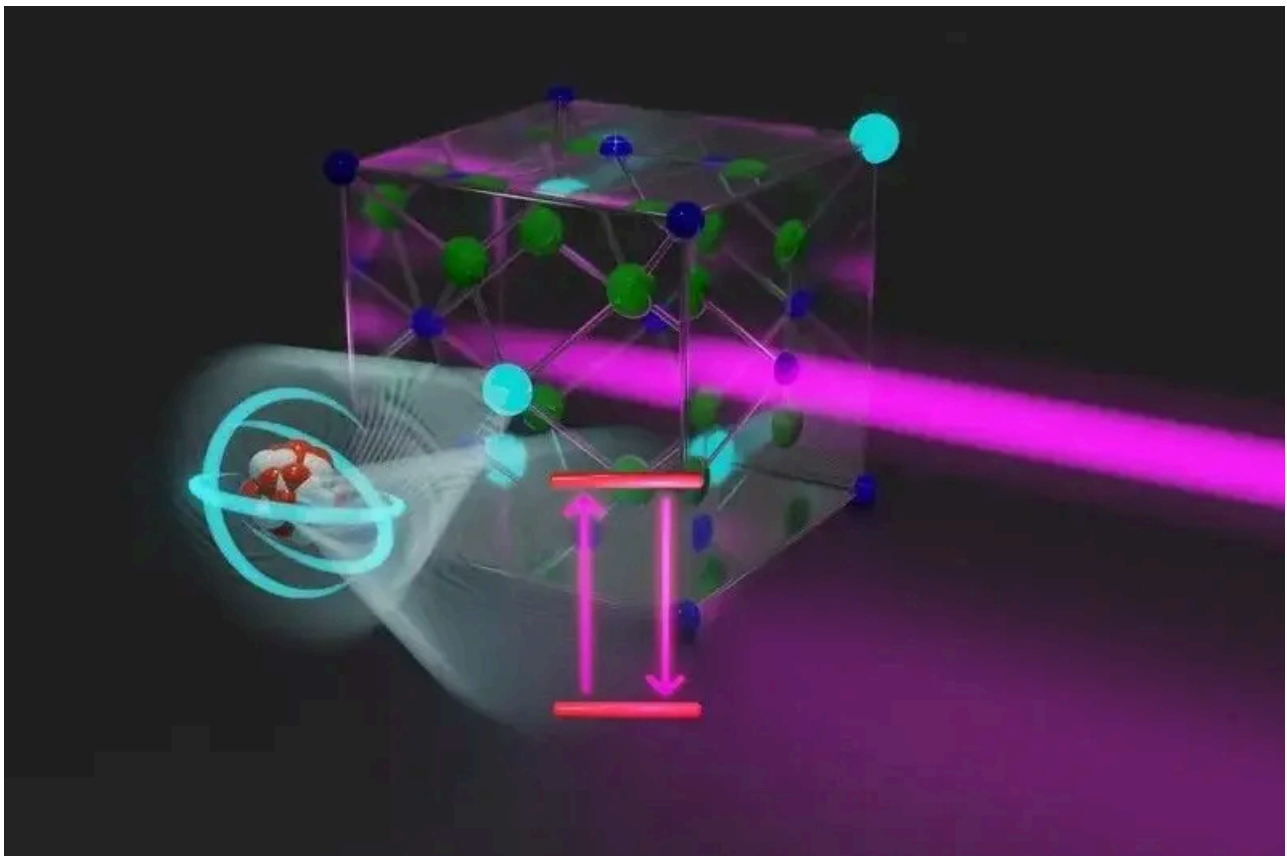


Konkurrenz für die Atomuhr: In zwei neuen Uhren geben Atomkerne den Takt vor

Die Kernuhren aus Europa und China ticken noch nicht so regelmässig wie die besten heutigen Uhren. Für die Suche nach neuer Physik sind sie aber bereits gut genug.

Christian Speicher 18.07.2026, 05.30 Uhr ⌚ 4 Leseminuten



Das Prinzip der Kernuhr. Ein ultravioletter Laserstrahl trifft auf einen Kristall, der mit Thorium-Atomen (blau) dotiert ist. Trifft der Laser die richtige Frequenz, absorbieren die Atomkerne das Licht und springen zwischen zwei Energiezuständen hin und her. Die Kernuhr zählt die Schwingungen des Laserlichts.

Oliver Diekmann / TU Wien

Sonnenuhren, Wasseruhren, Pendeluhren, Quarzuhren, Atomuhren:
Wenn es darum geht, die Zeit zu messen, war die Menschheit schon

immer sehr erfindungsreich. Die besten heutigen Uhren sind Atomuhren, die mit Licht zum Schwingen gebracht werden. Sie ticken so regelmässig, dass man 40 Milliarden Jahre warten müsste, bis sie um eine Sekunde falsch gingen.

Doch damit geben sich Wissenschaftler nicht zufrieden. Kürzlich haben europäische und chinesische Forscher unabhängig voneinander eine sogenannte Kernuhr vorgestellt, die als Taktgeber Atomkerne statt Atome verwendet. Zwar ticken die beiden Uhren noch nicht so regelmässig wie die besten Atomuhren. Aber sie sind bereits jetzt empfindlich genug, um exotische physikalische Theorien zu testen, die den Rahmen der etablierten Physik sprengen.

Ein Atomkern, der sich mit Laserlicht anregen lässt

Ebenso wie die Elektronen in der Hülle eines Atoms können auch die aus Protonen und Neutronen bestehenden Atomkerne schwingen. Um diese Schwingungen anzuregen, müssen die Atomkerne normalerweise mit extrem energiereicher Gammastrahlung bestrahlt werden. Eine Ausnahme stellt der Atomkern Thorium-229 dar. Er besitzt einen Schwingungszustand, der sich mit ultraviolettem Licht anregen lässt.

Seit vielen Jahren gibt es Bestrebungen, eine Kernuhr zu bauen, in der Thorium-229-Atomkerne den Takt vorgeben. Im Vergleich zu einer Atomuhr wäre eine solche Kernuhr sehr robust. Denn die Schwingungen der kompakten Atomkerne werden viel weniger durch äussere Einflüsse gestört als die Schwingungen in der Atomhülle.

Vor zwei Jahren wurde eine erste Hürde genommen. An der TU Wien hatte die Arbeitsgruppe von Thorsten Schumm einen für UV-Licht

transparenten Kristall entwickelt, der mit Thorium-229-Atomen gespickt ist. Mit einem an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig entwickelten Laser gelang es zum ersten Mal, präzise die Resonanzfrequenz zu messen, bei der die Thorium-Atomkerne im Kristall zu schwingen beginnen.

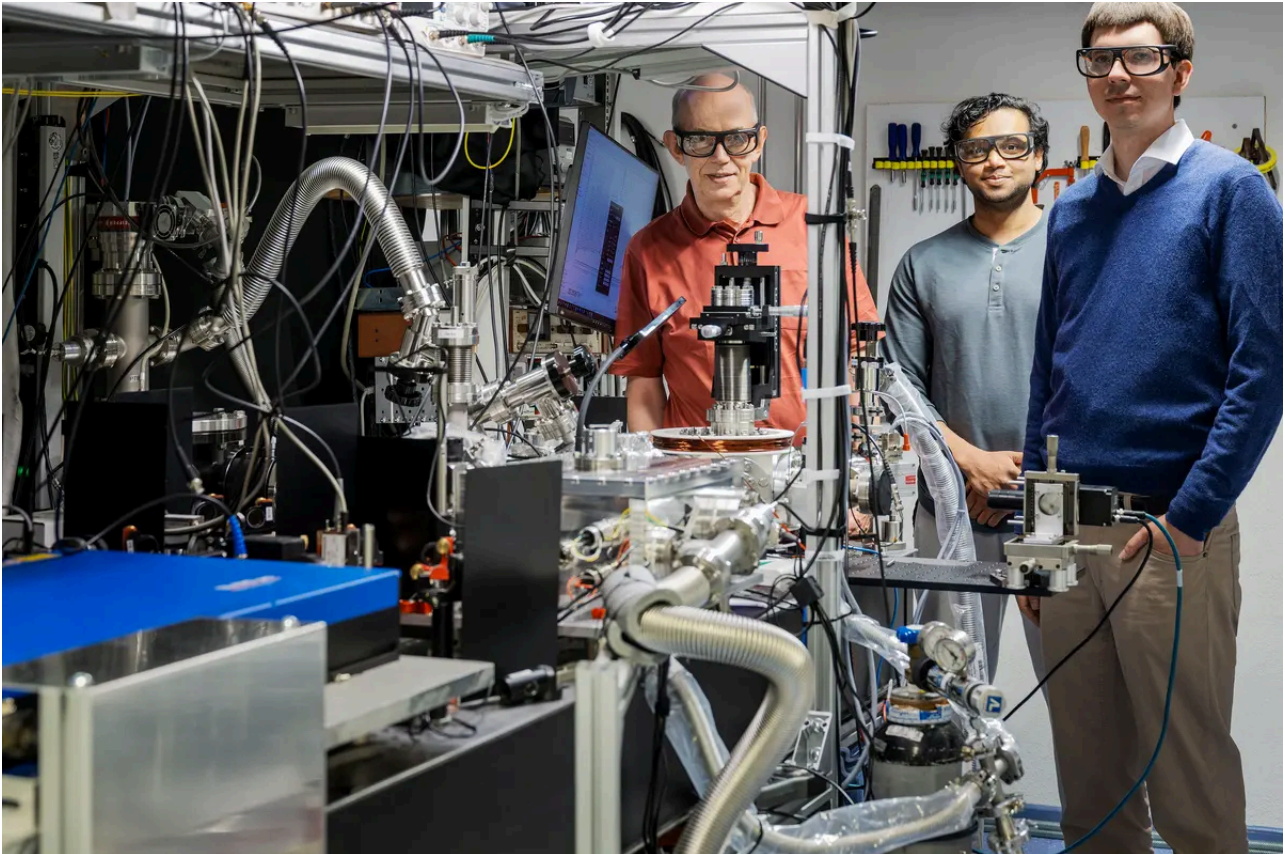
Für den Bau einer Kernuhr war der damals verwendete Laser jedoch nicht geeignet. Die Frequenz des UV-Lichts sei zu unscharf gewesen, sagt Ekkehard Peik, der an der PTB den Fachbereich für Zeit und Frequenz leitet. Dadurch sei bei der Anregung der Atomkerne ein grosser Teil des Lichts wirkungslos geblieben.

In den letzten beiden Jahren haben Peik und seine Mitarbeiter einen UV-Laser entwickelt, mit dem sich die Thorium-Atomkerne effizienter anregen lassen. Ausgangspunkt war ein Infrarotlaser, dessen Licht durch eine mehrmalige Verdoppelung der Frequenz in UV-Licht umgewandelt wurde.

Damit waren alle Zutaten für eine Kernuhr vorhanden. Die Forscher richteten den UV-Strahl auf den transparenten Kristall und variierten die Frequenz so lange, bis der Kristall das Licht zu absorbieren begann. Das signalisierte, dass der Laser die Resonanzfrequenz der Thorium-Atomkerne getroffen hatte. Durch eine Rückkopplungsschleife hielten die Forscher die Frequenz des Lasers stabil. Sie wurde automatisch nachjustiert, sobald der Kristall weniger Licht absorbierte. In einem letzten Schritt zählten die Forscher mit einem ausgeklügelten Zählwerk die Schwingungen des stabilisierten Laserlichts.

«Noch lässt die Kurzzeitstabilität der Kernuhr zu wünschen übrig», sagt Peik. Die besten Atomuhren seien etwa um einen Faktor

Zehntausend besser. Peik ist aber zuversichtlich, dass die Kernuhr mindestens so stabil gemacht werden kann wie die besten Atomuhren. «Wir stehen noch ganz am Anfang der Entwicklung.» Der begrenzende Faktor sei derzeit die geringe Leistung des Lasers, der die Atomkerne zum Schwingen anregt. Seine Arbeitsgruppe arbeite deshalb an einem leistungsfähigeren Laser, so Peik.



Wie eine Uhr sieht das nicht unbedingt aus. Ekkehard Peik (links) und seine Mitarbeiter stehen vor dem Lasersystem, mit dem die Atomkerne der Kernuhr angeregt werden.

PTB

China arbeitet mit Nachdruck an einer Kernuhr

Dass die Leistung des Lasers allein noch kein Garant für Stabilität ist, zeigt die Kernuhr der chinesischen Forscher. Diese erreicht eine vergleichbare Stabilität, obwohl die Arbeitsgruppe zur Anregung der Atomkerne einen UV-Laser verwendet, der tausendmal mehr Leistung liefert. Dafür enthält der in China entwickelte Kristall weniger Thorium-

229-Atomkerne und ist weniger transparent. Das gemessene Signal hat deshalb eine vergleichbare Stärke.

Peter Thirolf von der LMU München würdigt die Leistung der chinesischen Forscher. Die Arbeitsgruppe von Thorsten Schumm an der TU Wien habe zehn Jahre an der Entwicklung des Kristalls gearbeitet. Die chinesischen Forscher hätten ihren Kristall in nur sechs Monaten entwickelt. «Man erkennt eine klare Strategie dahinter.» Auch Peik ist beeindruckt, mit welchem Nachdruck China an einer Kernuhr arbeitet. «An der Entwicklung waren dreizehn chinesische Institute beteiligt.»

Für eine präzise Messung der Zeit sind die beiden Kernuhren aus Europa und China noch nicht stabil genug. Aber es gibt andere Anwendungen. Dass sich Thorium-229-Atomkerne mit UV-Licht anregen lassen, ist einem glücklichen Umstand zu verdanken. Die starke Kernkraft, die die Kernbausteine aneinander bindet, und die abstossende elektrische Kraft zwischen den Protonen halten sich bei der Anregung der Atomkerne annähernd die Waage. Nur deshalb reicht die relativ geringe Energie von UV-Licht aus, um die Atomkerne anzuregen.

Dieses Gleichgewicht der Kräfte ist jedoch extrem labil. Sollte sich eine der beiden Kräfte auch nur geringfügig mit der Zeit verändern, würde das zu einer Verschiebung der Resonanzfrequenz führen. Mit einer Kernuhr lässt sich also besonders gut überprüfen, ob die Stärke der Naturkräfte oder andere Naturkonstanten zeitabhängig sind. Das wäre ein klarer Hinweis, dass das Standardmodell der Teilchenphysik die Natur unvollständig beschreibt.

Eine andere Anwendung von Kernuhren ist die Suche nach dunkler Materie. Manche Modelle sagen voraus, dass diese unsichtbare Form der

Materie aus bisher unbekannten, ultraleichten Elementarteilchen besteht. Sollten diese Teilchen mit der normalen Materie wechselwirken, würde das die Frequenz periodisch verändern, mit der die Thorium-229-Atomkerne schwingen.

Die Arbeitsgruppe von Peik und Schumm hat nach einem solchen Effekt gesucht, aber nichts gefunden. Damit lassen sich gewisse Eigenschaften der hypothetischen Teilchen einschränken. Noch verraten diese Tests nichts Neues über die Natur. Mit stabileren Kernuhren sollte sich jedoch sehr viel präziser nach neuer Physik suchen lassen als mit den heutigen Atomuhren. Bei theoretischen Physikern gebe es deshalb ein grosses Interesse an diesen Uhren, sagt Peik.