

Garching, 25.08.09

Presse-Information

Schwingende Ionen imitieren optischen Laser

MPQ/Caltech Wissenschaftler demonstrieren an einzelnen Ionen mechanisches Analogon zu einem optischen Laser.

Seit Jahrzehnten herrscht Interesse an der Realisierung eines Lasers, der statt Licht mechanische Schwingungsquanten, sogenannte Phononen, aussendet. Gelänge es, so ein Gerät in einem Festkörper zu implementieren, könnte man wegen sehr kleiner Wellenlänge beispielsweise Tomographie mit ungeahnt hoher Auflösung erzielen. Von dieser Anwendung ist ein jetzt am MPQ durchgeführtes Experiment zwar noch ein Stück weit entfernt. Aber an einem einzelnen, auf etwa 1 Millikelvin gekühlten Magnesiumion konnten die Wissenschaftler aus der Abteilung Laserspektroskopie von Prof. Theodor W. Hänsch in Zusammenarbeit mit Prof. Kerry Vahala vom California Institute of Technology (Pasadena, USA), z.Z. Gast am MPQ, erstmals demonstrieren, dass blau-verstimmte Laserstrahlung die Erzeugung kohärenter Phononen stimulieren kann. Wie die Wissenschaftler in der Zeitschrift *Nature Physics* berichten (Advance Online Publication 16. August 09, DOI: 10.1038/NPHYS1367), stellt dieser Aufbau ein mechanisches Analogon zu einem optischen Laser dar, an dem sich die Dynamik eines Phononenlasers grundlegend untersuchen lässt. In seiner jetzigen Form ließe er sich unter Umständen für die Messung extrem schwacher Kräfte nutzen. Insbesondere der geplante Übergang von einem einzelnen Ion zu ein- oder mehrdimensionalen Systemen könnte aber den Durchbruch für mögliche Anwendungen bringen.

In ihrem Experiment speichern die Wissenschaftler zunächst ein einzelnes positiv geladenes Magnesiumion in einer elektromagnetischen sogenannten „Paulfalle“ und senken seine Temperatur durch Laserkühlung auf etwa ein Millikelvin. Bei diesem Verfahren wird das Ion mit Laserlicht bestrahlt, dessen Frequenz etwas unterhalb der Resonanzfrequenz für einen geeigneten Übergang liegt. Nur wenn das Ion dem „rot-verstimmten“ Laserstrahl entgegen läuft, kann es angeregt werden und verliert dabei Bewegungsenergie. Dieser Aufbau stellt einen mechanischen Oszillator einstellbarer Güte dar, analog zu einem optischen Laser-Resonator, dessen Güte durch die Reflektivität der Spiegel gegeben ist.

Nun kommt ein weiterer, „blau-verstimmter“ Laser ins Spiel, dessen Intensität in einer Serie von Messungen langsam hochgefahren wird. Analog zur Anregung eines optischen Lasers führt dieser Laserstrahl dem Ion Energie zu, wodurch sich dessen Bewegung um den Masseschwerpunkt verstärkt. Ab einer gewissen Strahlintensität wird ein Übergang von thermischer, d.h. ungeordneter Bewegung des Ions zu einer geordneten harmonischen Schwingung beobachtet. Dieses Schwellwertverhalten ist vollkommen analog zu einem optischen Laser. Die harmonische Oszillation startet dabei von selbst durch ein spontan erzeugtes Phonon, genau wie beim optischen Pendant. Die Oszillation ist dank Verstärkungssättigung stabil und wird, wie beim Laser, durch die kontinuierliche stimulierte Erzeugung weiterer Phononen aufrechterhalten. Dieses Verhalten wurde beobachtet und auch quantitativ mit der Theorie verglichen, indem hochauflösende aber zeitgemittelte Bilder eines einzelnen Ions gemacht wurden (siehe Abbildung). „Entscheidend bei der Verwirklichung dieser Art von Phononenlaser war die Erkenntnis, dass sich blau-verstimmtes Licht nicht nur zum Aufheizen des

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit,
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: +49(0)8932 905-213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching

Tel.: +49(0)8932 905-0
Fax: +49(0)8932 905-200

Ions nutzen lässt, sondern bei geeigneter Wahl der Frequenz und Intensität zu einer kohärenten Verstärkung seiner Bewegung führt," erklärt Dr. Maximilian Herrmann aus der Abteilung Laserspektroskopie.

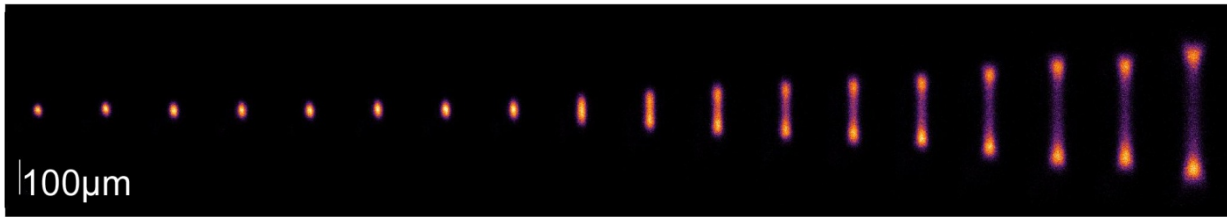


Abbildung: Eine Folge von Fluoreszenzaufnahmen des vertikal schwingenden Ions mit von links nach rechts zunehmender Pumpintensität zeigt deutlich, wie oberhalb einer gewissen Schwelle eine kohärente Oszillation einsetzt.

Derzeit wird untersucht, inwieweit Werkzeuge und Techniken aus der Laserphysik auf den Phononenlaser angewendet werden können. Ein Beispiel dafür ist das „Injection Locking“, bei dem ein schwaches äußeres Radiofrequenz-Signal die Phase des Lasers mit einer externen Referenzquelle synchronisiert. Mit diesem Verfahren hat das Team auch die harmonische Schwingung des Magnesiumions stroboskopisch sichtbar gemacht.

Erst die Implementierung von Phononenlasern in Festkörpern würde die oben erwähnten Anwendungen wie hoch aufgelöste Tomographie ermöglichen. Diesbezügliche Versuche sind aber bisher an der großen Zahl der beteiligten Atome in Festkörpern gescheitert. Der Trend geht daher zu ein- oder zweidimensionalen Strukturen. „Unser einzelnes Ion nimmt - als null-dimensionale Struktur - sozusagen den Endpunkt dieses Trends vorweg. Dieses System ist ideal, um die grundlegende Dynamik eines Phononenlasers zu untersuchen“, erläutert Herrmann. „Beispielsweise kann man den Übergang zu einem eindimensionalen System untersuchen, indem man kontrolliert einzelne Ionen in Form einer Kette hinzufügt.“ Neben diesem grundlegenden Aspekt gibt es auch Überlegungen, das schwingende Ion als Detektor für äußerst schwache Kräfte einzusetzen, aber das ist, wie Herrmann konzediert, noch „reine Zukunftsmusik“. [MH/OM]

Originalveröffentlichung:

K. Vahala, M. Herrmann, S. Knünz, V. Batteiger, G. Saathoff, T.W. Hänsch & Th. Udem
“A phonon laser”
Nature Physics, Advance Online Publication 16. August 09, DOI: 10.1038/NPHYS1367

Kontakt:

Prof. Dr. Theodor W. Hänsch
Lehrstuhl für Experimentalphysik,
Ludwig-Maximilians-Universität, München
Direktor am Max-Planck-Institut
für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching
Tel.: +49 - 89 / 32905 702/712
Fax: +49 - 89 / 32905 312
E-Mail: t.w.haensch@mpq.mpg.de

Dr. Thomas Udem
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Telefon: +49 - 89 / 32905 – 282
Fax: +49 - 89 / 32905 – 312
E-Mail: thomas.udem@mpq.mpg.de

Dr. Olivia Meyer-Streng
Presse & Kommunikation
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Telefon: +49 - 89 / 32905 – 213
Fax: +49 - 89 / 32905 – 200
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

