

aktuell  
container

suchmaschine

subscribe

forum

impressum



## Der Atomlaser

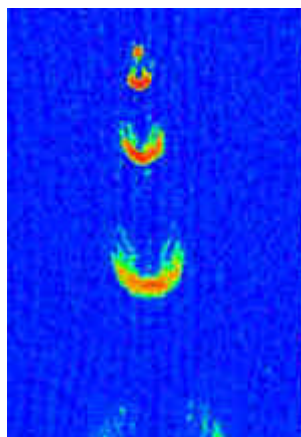
Artur P. Schmidt 26.08.1999

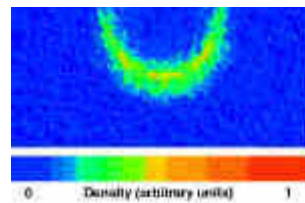
### Ausgangsbasis für neue Chipgenerationen?

Mit der Erfindung des Lasers vor fast 40 Jahren gelang es, ein hohes Maß an Kontrolle über die elementare Energieform unseres Universums zu gewinnen: das Licht. Ein Laser ist ein dünner Lichtstrahl aus Photonen. Im Gegensatz zu einer Glühlampe bewegen sich die Lichtteilchen nicht unabhängig voneinander, sondern stehen zueinander in einer festen Beziehung. Diese Eigenschaft wird auch Kohärenz genannt.

Die Anwendungen, die der Laser mittlerweile gefunden hat, sind für viele Wissenschaftler Motivation, nicht nur Photonen, sondern auch Atome unter Kontrolle zu bringen. Zwar ist es nicht weiter schwierig, einen Atomstrahl zu erzeugen (man verdampft Materie in einem Ofen und lässt sie durch eine Öffnung entweichen), jedoch fehlt diesem die Kohärenz der Materiewellen und die Geschwindigkeiten der Atome schwanken sehr stark. Die Aufgabe besteht deshalb darin, die Atome kontinuierlich zu befreien, ohne dabei ihre Kohärenz zu zerstören.

download





Atomlaser, [MIT](#)

Als 1995 von amerikanischen Physikern (am 'National Institute of Standards and Technology' in Boulder, Colorado) erstmals eine kalte Gaswolke in einen merkwürdigen Materiezustand versetzten (hierbei wurden Rubidiumatome 15 Sekunden lang zu einer 'quantenmechanischen Einheit' verschmolzen), war das Ausmaß dieses Experimentes noch nicht abzusehen.

Nur knapp vier Jahre nach der Entdeckung gilt das 'Bose-Einstein-Kondensat' bereits als mögliche Schlüsseltechnologie. Bereits 1924 hatten Albert Einstein und sein indischer Physikerkollege Satyendra Nath Bose prophezeit, dass eine auf eine Temperatur in der Nähe des absoluten Nullpunkts (minus 273 Grad Celsius) abgekühlte Gaswolke schlagartig ihren Zustand ändert. Wie aus heiterem Himmel ordnet sich das diffuse regellose Gemisch aus Milliarden einzelner Atome zu einem geordneten Teilchenkollektiv. Die Atome agieren auf einmal nicht mehr wie winzige Billardkugeln, sondern überlagern sich mit zunehmender Kälte zu Wellen. Bei einer Temperatur von einem milliardstel Grad Celsius über dem absoluten Nullpunkt verschmelzen die Atome in einem Phasenübergang zu einer einzigen großen Welle: dem Bose-Einstein-Kondensat. Was für das Licht der Laser ist, scheint für die Materie das Bose-Einstein-Kondensat zu sein.

Die Grundlage für den Atomlaser beruht darauf, dass den Gesetzen der Quantenphysik zufolge jeder Form von Materie auch eine Welle zugeordnet werden kann, d.h. auch Atome lassen sich als Wellen beschreiben. Alle Atome eines Bose-Einstein-Kondensats haben wie die Photonen des Lasers identische Wellenlänge und Energie (sie können somit durch eine einzige Wellenfunktion beschrieben werden). Eine einzelne Welle macht aber noch keinen Laser aus. Auch bei Atomen müssen viele Wellen im Takt schwingen und hierbei ihre Welleneigenschaften beibehalten. Für die Nutzung dieses Prinzips ist entscheidend, wie stabil ein derartiges atomares Kondensat ist. Als es am [MIT](#) gelang, zwei Bose-Einstein-Agglomerate nebeneinander zu erzeugen und diese sich ausbreiten zu lassen, konnte ein für Wellen typisches Interferenzmuster im Übergangsbereich nachgewiesen werden. Damit war der Weg für die Entwicklung eines Bosers geebnet.

### Der erste Boser

1997 ist es am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston erstmals gelungen, einen Atomlaser, auch Boser genannt,

zu bauen. Anstatt Photonen sendet deren Atomlaser Natriumatome aus. Die auf ungefähr 0,1 Millionstel Grad über dem absoluten Nullpunkt (- 273 Grad Celsius) abgekühlten Atome, wurden hierbei von einem Magnetfeld gefangen gehalten. Da sich die Atome wie Magnete mit gleicher Magnetisierungsrichtung verhalten, genügt ein schwaches Wechselfeld, um die Atome mit ihrer kollektiven Eigenschaft aus der Falle zu treiben.

Um den Atomstrahl nutzen zu können, wird die Magnetfalle mit einem 'Radiowellen-Auskoppler' kombiniert. Stellt man das Magnetfeld so ein, dass die wärmsten Atome aus der Falle entweichen, setzt dort die Bose-Einstein-Kondensation ein (die langsamen, kalten Partikel bleiben in der Magnetfalle zurück). Hierbei sammeln sich alle Atome im energetisch niedrigsten Zustand, ähnlich der Photonen beim Lichtlaser und bilden ein Kollektiv. Dies ist die Voraussetzung für die Kohärenz eines Atomstrahls.

### **Forschungserfolge in Garching**

Allerdings ist es sehr schwierig, ein Bose-Einstein-Kondensat zu erzeugen. Dies beweist die Tatsache, dass dies bislang weltweit nur etwa zwei Dutzend Forschergruppen gelungen ist, darunter die Physiker des [Max-Planck-Institut für Quantenoptik](#) in Garching, die Anfang 1999 einen neuartigen Atomlaser entwickelt haben.

Bei dem Experiment wurde ein sogenanntes Rubidiumgas geringer Dichte in einen sogenannten Magnetkäfig gesperrt und nahe dem absoluten Nullpunkt abgekühlt. Beim Abkühlen des Gases bildete sich das oben beschriebene Bose-Einstein-Kondensat. Durch ein kleines Loch, das mit Hilfe von Radiowellen in den Magnetkäfig gebohrt wurde, konnten die Atome aus diesem entkommen und formten einen gebündelten Atomstrahl. Den Münchner Quantenforschern gelang es hierbei erstmals, den Boser für eine zehntel Sekunde in Betrieb zu halten. Innerhalb der nächsten zwei Jahre wollen die Garchinger Forscher die Betriebsdauer auf einige Minuten erhöhen. Dies gelingt jedoch nur, wenn das Kondensat während des Betriebs in der Magnetfalle nachgefüllt werden kann.

### **Anwendungsbereiche**

Ein Atomlaser könnte ein wichtiges Werkzeug für die Grundlagenforschung als auch für neue Technologien werden. So könnte der Laser beim Bau hochpräziser Atomuhren und in der Atomoptik eingesetzt werden. Auch der Einsatz in Navigationssystemen (z.B. Instrumente für die Lageänderung von Flugzeugen) und Gyroskopen (z.B. Sensoren zur Messung der Erdbeschleunigung) ist absehbar. Mit derartigen Präzisionssensoren lassen sich unter anderem Vulkanausbrüche, Erdbeben oder das Verschieben von Kontinenten exakter messen. Von besonderer Bedeutung könnte die sogenannte

von besonderer Bedeutung könnte die sogenannte Atomlithografie werden, mit deren Hilfe sich in sehr kurzer Zeit Muster auf Oberflächen im Nanometermaßstab erzeugen ließen. So wie ein Laser feine Linien in eine Oberfläche ritzt, könnte zukünftig ein gebündelter Atomstrahl Strukturen mit bisher nicht erreichter Genauigkeit auf einen Halbleiter-Chip aufbringen. Dies würde für die Elektronik- und die Computerbranche neue Dimensionen eröffnen.

Ein Hindernis für die Forscher ist jedoch, dass sich Atome anders als Licht nicht in freier Luft ausbreiten und der Schwerkraft unterliegen. Relativiert werden die Vorteile eines Bosers auch durch dessen geringe Intensität. So bestehen die bisher erzeugten Bose-Einstein-Kondensate maximal aus zehn Millionen Atomen, was ein regelmäßiges Nachladen der Magnetfalle erfordert.

Professor Alain Aspect von der Universität Orsay bei Paris plant die Erzeugung des Bose-Einstein-Kondensates deshalb erheblich zu vereinfachen. So gelang es dem Franzosen kürzlich, eine Magnetfalle auch mit sehr schwachen Elektromagneten zu erzeugen. Da der experimentelle Aufwand für die Erzeugung des Bose-Einstein-Kondensats beträchtlich ist, wollen japanische Physiker sogar ganz auf die aufwendige Magnetfalle verzichten. Gelingt dies, könnte ein Bose-Kondensat nahezu überall mit geringem Raumbedarf und zu deutlich geringeren Kosten als heute erzeugt werden.

 forum[artikel versenden](#)[add message](#)[↑ top](#)

Copyright © 1996-2001. All Rights Reserved. Alle Rechte vorbehalten

Verlag Heinz Heise, Hannover

last modified: 18.07.2001

[Privacy Policy / Datenschutzhinweis](#)

 heise online redaktion