

Zum Stillstand gebrachtes Licht

Speicherung von optischer Information in einem Gas

Erst vor zwei Jahren gelang es Forschern, Licht mit Hilfe eines Gases auf eine Geschwindigkeit abzubremsen, die der eines Autos entspricht. Nun konnten zwei Gruppen zeigen, dass Licht sogar vollständig gestoppt werden kann, ohne dass dabei die dem Licht aufgeprägte Information verloren geht.

Spe. Es gehört zur Natur des Lichts, sich zu bewegen. Seine unübertroffene Ausbreitungsgeschwindigkeit macht es zu einem idealen Träger von Daten aller Art. Gerade weil es sich bewegt, ist Licht allerdings denkbar schlecht geeignet, diese Daten lokal zu speichern. Bis heute müssen deshalb die optischen Signale in elektrische Impulse umgewandelt werden, bevor sie vor Ort weiterverarbeitet werden können. Eine Möglichkeit, Licht zur Ruhe zu bringen, bestünde darin, ihm ein absorbierendes Medium – etwa ein schwarzes Blatt Papier – in den Weg zu stellen. Danach ist das Licht allerdings unwiderruflich verloren. Denn die von den Atomen absorbierte Energie wird innerhalb kürzester Zeit in Wärme umgewandelt. Da dieser Prozess irreversibel ist, ist auch die Information, die im Licht gesteckt hat, zerstört.

Speicherung von Quanteninformation

Dass eine Lichtabsorption nicht zwangsläufig mit einem Informationsverlust einhergehen muss, haben nun zwei amerikanische Arbeitsgruppen gezeigt. Mit einem atomaren Gas ist es den beiden Gruppen gelungen, Licht zum Stillstand zu bringen und es nach einer gewissen Zeit samt der gespeicherten Information zu revitalisieren. Diese Art der Speicherung wird interessant, wenn die im Licht enthaltene Information nicht auf eine Folge von Nullen und Einsen reduzierbar ist und sich folglich auch nicht auf einem Chip oder einem Magnetband speichern lässt. Solche nicht-klassischen Informationen sind für die Quantenkryptographie und Quantencomputer typisch.

Schon vor zwei Jahren hatte Lene Hau von der Harvard University in Cambridge mit einem Experiment für Aufsehen gesorgt, in dem Licht auf eine Geschwindigkeit von 30 Metern in der Sekunde – also um sieben Grössenordnungen – abgebremst wurde. Bei dem bremsenden Medium handelte es sich um ein äusserst kaltes Gas aus Natriumatomen. Normalerweise würde Licht in diesem Gas sofort absorbiert. Den Forschern war es damals jedoch gelungen, die Gasatome mit

einem Laserstrahl in einen Zustand zu versetzen, in dem sie kein Licht mehr absorbieren konnten. Gleichzeitig veränderte der «Kontrollstrahl» den Brechungsindex des Gases und damit die Ausbreitungsgeschwindigkeit für Licht. Als die Forscher einen zweiten Laserpuls mit einer räumlichen Ausdehnung von einem Kilometer in das transparent gemachte Gas schickten, wurde dieser Puls durch die Abbremsung so stark gestaucht, dass er vollständig in dem nur 0,2 Millimeter grossen Gasvolumen Platz fand. Nachdem der verkürzte Puls das Gas in gemächlichem Tempo durchquert hatte, wuchs er wieder zu seiner ursprünglichen Länge an.

In einer Weiterführung ihres damaligen Experiments ist es der Gruppe von Hau nun gelungen, den Laserpuls ganz in dem Natriumgas einzufangen.¹ Die Forscher warteten, bis der Puls vollständig in das Gas eingetaucht war, und schalteten dann den Kontrollstrahl ab. Dadurch wird die Wechselwirkung zwischen dem Licht und den Gasatomen modifiziert. Die gesamte Energie des Laserpulses fliesst nun auf die Atome über. Allerdings handelt es sich hierbei nicht um eine gewöhnliche Absorption wie bei einem schwarzen Blatt Papier. Vielmehr werden die Atome kollektiv angeregt. Die im Licht gespeicherte Information steckt nun in der kohärenten Beziehung zwischen den Atomen.

Nach einer gewissen Zeit schalteten die Forscher den Kontrollstrahl wieder ein. Wie von Zauberhand wurde dadurch der ursprüngliche Laserpuls samt Information reanimiert. Er verliess das Gas, als wäre er nie etwas anderes als ein Laserpuls gewesen. Die maximale Speicherdauer betrug eine Millisekunde. Wenn man bedenkt, dass der Laserpuls in dieser Zeit normalerweise eine Strecke von 300 Kilometern zurückgelegt hätte, ist das eine erstaunliche Leistung.

Ein ganz ähnliches Experiment wurde von Forschern des Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics in Cambridge durchgeführt.² Die von Ron Walsworth und Mikhail Lukin geleitete Gruppe verwendete allerdings ein Gas, das mit 70

bis 90 Grad Celsius vergleichsweise heiss war. Die schnellen Atome wurden durch sanfte Stösse mit einem Puffergas abgebremst, damit die Kohärenz nicht verloren geht. Die Speicherzeiten, die sich auf diese Weise realisieren liessen, waren von der gleichen Grössenordnung wie im Experiment ihrer Kollegen.

Kontrolle der Dekohärenz

Für das Gelingen der beiden Experimente ist ganz entscheidend, dass der kollektive Anregungszustand robust und damit verhältnismässig langlebig ist. Seine Lebensdauer wird dadurch bestimmt, wie lange die Atome des Gases in einer kohärenten Beziehung zueinander stehen. Diese Kohärenz wird vor allem durch die thermische Bewegung der Atome und durch Stösse zwischen ihnen gestört. Man kann also versuchen, die Kohärenzzeit zu verlängern – beispielsweise indem man die Dichte oder die Temperatur des Gases reduziert. Michael Fleischhauer von der Universität Kaiserslautern, der das Experiment

im vergangenen Jahr zusammen mit Lukin vorgeschlagen hatte, hält es durchaus für möglich, dass sich Licht in atomaren Gasen bis zu einer Sekunde lang speichern lässt.

Beide Gruppen untersuchen derzeit, ob sich lichtgebundene Informationen mit dieser Methode auch in anderen Materialien als Gasen speichern lassen. Die Überlegungen der Forscher vom Smithsonian Center for Astrophysics tendieren dabei in Richtung Festkörper. Die Gruppe um Lene Hau interessiert sich hingegen für ultrakalte Gase, in denen alle Atome im energetisch niedrigsten Zustand kondensiert sind. Das sollte sich günstig auf die Speicherfähigkeit der Atome auswirken. In ihrer Veröffentlichung spekulieren die Forscher, ob man die vom Licht transportierten Daten nicht bearbeiten könnte, während sie im Gas zwischengespeichert sind. Das Resultat dieser Datenverarbeitung würde dann im Licht stecken, das am Ende aus dem Gas herauskommt.

Quellen: ¹ Nature 409, 461–462; 490–493 (2001); ² Phys. Rev. Lett. 86, 783–786 (2001).