

Einsteins Äquivalenzprinzip auch für Atome bestätigt

Garching und Tübinger Wissenschaftler haben an einem "atomaren Springbrunnen" den Galilei'schen Fallturmversuch für Quantenobjekte verifiziert.

Vor etwa 400 Jahren hat Galileo Galilei in seinem berühmten Versuch auf dem schiefen Turm von Pisa Gegenstände aus Blei, Gold und Holz fallen lassen und dabei festgestellt, dass sie zur gleichen Zeit unten am Fuße des Turms ankommen. Aus dem Befund, dass die Bewegung eines Körpers unter Einwirkung der Schwerkraft unabhängig von seiner Masse oder seiner Zusammensetzung ist, hat Einstein den in der Physik als „Äquivalenzprinzip“ bekannten Grundsatz formuliert und diesen als Ausgangspunkt für seine Überlegungen zur Gravitationstheorie gewählt. Von besonders großem Interesse ist heutzutage die Überprüfung des Äquivalenzprinzip auf atomarer Ebene, da entsprechende Experimente Hinweise dafür liefern können, wie die Einstein'sche Gravitationstheorie und die Quantentheorie weiterentwickelt und in eine einheitliche Beschreibung überführt werden können. Garching und Tübinger Wissenschaftler haben nun eine moderne Variante des Galilei'schen Fallturmversuchs durchgeführt und das Äquivalenzprinzip für Quantenobjekte mittels eines Atominterferometers an einem atomaren Springbrunnen überprüft. Sie haben die Fallbeschleunigung für zwei verschiedene Rubidiumisotope (^{85}Rb und ^{87}Rb) verglichen und die Gültigkeit des Äquivalenzprinzips bis auf eine Genauigkeit von 2 zu 10 Millionen auf atomarem Niveau bestätigt (Physical Review Letters, Vol. 93, 240404 (2004), 10. Dez. 2004).

Das Äquivalenzprinzip markiert einen der wichtigsten Eckpfeiler der Gravitationstheorie. Deshalb stellt es heute eine große Herausforderung dar, dieses Prinzip einer möglichst genauen experimentellen Überprüfung zu unterziehen. Ergebnisse hierzu könnten Antworten auf eine der in der modernen Physik ungelösten Fragen liefern, wie die beiden grundlegenden Theorien der Physik, die Quantentheorie und die Gravitationstheorie, in einheitlicher Weise zu beschreiben seien.

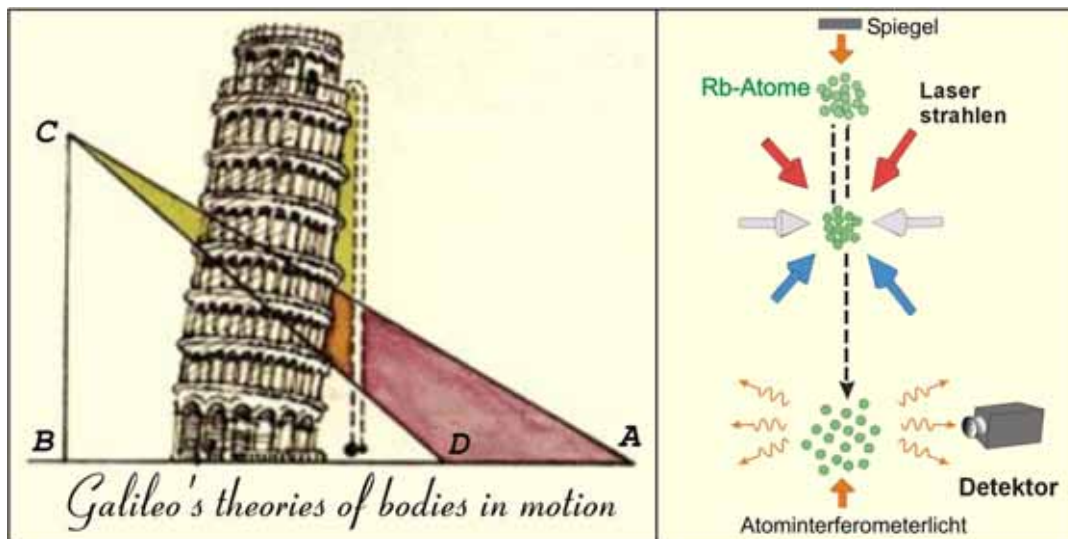


Abbildung:

Links: Skizze des von Galileo Galilei durchgeführten Versuchs mit zwei unterschiedlich schweren, fallenden Bleikugeln auf dem schiefen Turm von Pisa. (Quelle: http://science.nasa.gov/headlines/y2004/06may_lunarranging.htm). Rechts: In einer Vakuumkammer werden Rubidiumatome mit Lichtkräften gekühlt und gefangen und dann nach oben beschleunigt. Während des folgenden freien Falls wird die zurückgelegte Strecke mit der Methode der Atominterferometrie genau vermessen.

Bild: Max-Planck-Institut für Quantenoptik/NASA

Garching und Tübinger Wissenschaftler haben nun das Äquivalenzprinzip mit Hilfe der Quantenmechanik für zwei verschiedene Rubidiumisotope untersucht. Sie haben in einer magneto-optischen Falle etwa eine Milliarde Rubidiumatome gefangen und mittels Lichtkräften in vertikaler Richtung entgegen der Schwerkraft auf eine freie, nach oben gerichtete Flugbahn beschleunigt, ähnlich wie die Wasserstrahlen eines Springbrunnens. Nachdem die Atome ihren höchsten Punkt erreicht haben, fallen sie, durch die Erde angezogen, wieder nach unten. Für die Bestimmung der während des Fluges zurückgelegten Strecke wird die quantenmechanische Wellennatur der Atome ausgenutzt. Diese erlaubt es, die Bewegung der Atome mit einem Atominterferometer genau zu vermessen.

Bei einem konventionellen Interferometer werden zwei Lichtstrahlen aufgeteilt und wieder zur Überlagerung gebracht. Sind die beiden Strahlen in Phase, so addieren sich ihre Felder am Ort der Überlagerung und ein dort aufgestellter Detektor registriert ein helles Licht. Haben sie eine entgegengesetzte Phase, heben sich die Felder hingegen auf und am Ort des Detektors bleibt es dunkel. Nach den Gesetzen der Quantenmechanik haben auch Atome Welleneigenschaften. In einem Atominterferometer beobachtet man ebenfalls die Auslöschung und Verstärkung solcher Wellen. An dem Wechsel von "hellen" und "dunklen" Perioden lässt sich die Erdbeschleunigung der Atome auf ihrer Flugbahn bestimmen. Dabei entspricht der Abstand zwischen einem hellen und einem dunklen Bereich einer zurückgelegten Entfernung von etwas einem halben millionstel Meter. Damit haben die Forscher ein sehr genaues „Lineal“ zur Vermessung der atomaren Bewegung zur Hand.

Mit diesem „Lineal“ haben die Forscher die Flugbahn der beiden Rubidiumisotope ^{85}Rb und ^{87}Rb verglichen und festgestellt, dass deren Beschleunigung auf Grund der Erdanziehung innerhalb einer relativen Genauigkeit von $1,7 \times 10^{-7}$ übereinstimmt. In diesem Experiment konnte das Äquivalenzprinzip also auch für Quantenobjekte bestätigt werden. Die Forscher erwarten, dass sich mit technischen Verbesserungen zukünftig extrem genaue Überprüfungen des Äquivalenzprinzips für quantenmechanische Probeteilchen durchführen lassen.

Originalveröffentlichung:

Sebastian Fray, Cristina Alvarez Diez, Theodor W. Hänsch and Martin Weitz

Atomic Interferometer with Amplitude Gratings of Light and Its Applications to Atom Based Tests of the Equivalence Principle

Physical Review Letters **93**, 240404 (2004), 10. Dez. 2004

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Prof. Martin Weitz

Physikalisches Institut der Universität Tübingen, Tübingen

Tel.: 07071-2976265

Fax.: 07071-29-5829

E-Mail: Martin.Weitz@uni-tuebingen.de

Dr. Sebastian Fray

Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching

Tel.: 089-2180-2046

Fax.: 089-285192

E-Mail: S.Fray@mpq.mpg.de

Prof. Theodor W. Hänsch

Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching

Tel.: 089-32905-712

Fax.: 089-32905-200

E-Mail: t.w.haensch@mpq.mpg.de