

Mechanische Lichteffekte an freien Atomen

Mlynek, J.

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1989 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.197-198



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

Mechanische Lichteffekte an freien Atomen

Von Prof. Dr. J. Mlynek*

Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich,
Institut für Quantenelektronik
CH-8093 Zürich

Abstract

Seit einigen Jahren gehört der Strahlungsdruck von Lasern zu den aktuellen Forschungsgebieten der Quantenoptik [1, 2]. Bei Resonanzanregung freier Atome können dabei durch die intensive, abstimmbare und gerichtete Strahlung des Lasers ausgeprägte mechanische Lichteffekte auftreten. Als Folge des resonanten Lichtdrucks der Laserstrahlung können Atome auf extrem niedrige Translationstemperaturen gekühlt und optisch auf kleinstem Raum eingefangen werden.

Im Rahmen dieses Beitrags sollen aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der resonanten Lichtkräfte an Atomen vorgestellt werden. Hierbei stehen folgende Themenkreise im Vordergrund:

1. Lichtkräfte in Gasen

Die durch Lichtkräfte wie z.B. die spontane Streukraft hervorgerufene Modifikation der Geschwindigkeitsverteilung in einem Gas kann die optische Systemantwort des Gases auf Laserlicht wesentlich verändern. In diesem Fall zeigt sich der Einfluß des Lichtdrucks im transmittierten Licht in Änderungen von Absorptions- und Dispersionsprofilen [3, 4]. Derartige Effekte können wichtige Konsequenzen in der hochauflösenden Laserspektroskopie an Gasen haben.

2. Atomfallen

Die Realisierung von Atomfallen mit Licht wird gegenwärtig weltweit intensiv verfolgt. Mit Hilfe sogenannter optischer Melassen konnten bereits Natriumatome auf $T_{\text{eff}} \approx 50 \mu\text{K}$ abgekühlt und für mehrere Sekunden eingefangen werden; hierbei wird die spontane Streukraft ausgenutzt [5]. Unter Verwendung neuartiger Kühlverfahren [1, 6, 7] erscheint es möglich, Temperaturen weit unterhalb von 10^{-6} K zu erreichen; dabei kann das durch den Photonenrückstoß gegebene Kühllimit unterschritten werden [6].

* Neue Adresse: Fakultät für Physik, Universität Konstanz, 7750 Konstanz 1

3. Anwendungen ultrakalter Atome

Ultrakalte Atome sind für vielerlei Zwecke interessant [1]. Im Hinblick auf die höchstauflösende Spektroskopie sind speziell die Verminderung des Doppler-Effektes 2. Ordnung sowie die Verlängerung der Wechselwirkungszeit der Atome mit den externen Strahlungsfeldern (Laserfeld oder Hochfrequenzfeld) von Bedeutung. Kalte Atome eröffnen ebenfalls neue Perspektiven für die Untersuchung von Stoßprozessen der Atome untereinander, aber auch von Atomen mit Oberflächen im Grenzfall extrem langer de Broglie Wellenlängen. Ferner können bei sehr tiefen Temperaturen und hinreichend hoher Dichte auch kollektive Atomeffekte erwartet werden; unter geeigneten Bedingungen sollte hier eine Bose-Einstein Kondensation beobachtbar werden [1].

4. Atomoptik

Neben den vielfältigen Möglichkeiten für neue physikalische Untersuchungen an lasergekühlten, nahezu ruhenden freien Atomen bietet der Lichtdruck des Lasers auch faszinierende Perspektiven für eine *Teilchenoptik mit Atomen* [8]: Die Strahlungskräfte des Lasers gestatten im Prinzip die Realisierung von *Linsen, Spiegeln und Strahlteilern für atomare Teilchen*; hierbei steht die sogenannte Dipolkraft der Laserstrahlung im Vordergrund. Die entsprechende de Broglie-Wellenlänge $\lambda_{dB} = h/mv_0$ der Materiewelle wird durch die mittlere atomare Geschwindigkeit v_0 bestimmt; je nach Wahl von v_0 kann λ_{dB} im Bereich von weniger als einem Angström bis in den Bereich von Mikrometern (für sehr langsame Atome) liegen. Die Bereitstellung „optischer Elemente“ für freie Atome ist von großem Interesse im Hinblick auf Atom-Interferometer, Neutralteilchenmikroskope oder zustandsselektive Atom-Reflektoren.

Literatur

- [1] Siehe z.B.: J. Opt. Soc. Am. B 6 (1989) 1961–2288 (special issue on laser cooling)
- [2] V.G. Minogin and V.S. Letokhov, „Laser Light Pressure on Atoms“ (Gordon and Breach, New York, 1987)
- [3] R. Grimm and J. Mlynek, „Observation of Light-Pressure-Induced Dispersion in Yb Vapor“, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2308
- [4] R. Grimm and J. Mlynek, „Light-Pressure-Induced Line-Shape Asymmetry of the Saturation Dip in an Atomic Gas“, Phys. Rev. Lett. 63 (1989) 232
- [5] P.D. Lett et al, „Observation of Atoms Laser Cooled below the Doppler Limit“, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 169
- [6] A. Aspect et al, „Laser Cooling below the One-Photon Recoil Energy by Velocity-Selective Coherent Population Trapping“, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 826
- [7] Siehe z.B.: Y. Castin et al, „New Physical Mechanisms in Laser Cooling“ in „*Laser Spectroscopy IX*“, Eds.: M. Feld et al (Academic Press, Boston, 1989), S. 2
- [8] Siehe z.B. V.S. Balykin and V.S. Letokhov, „Laser optics of neutral atomic beams“, Physics Today, April 1989, S. 24