



Lasercooling

Christoph Grzeschik

03. Juni 2009

- 1 Motivation und Grundlagen
- 2 Dopplerkühlen
- 3 Magneto-optische Fallen
- 4 Polarisationsgradienten Kühlen (Sisyphus)

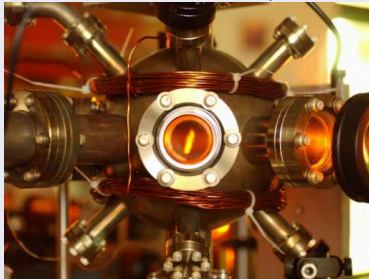
- Kontrolle von geladenen Teilchen und Objekten weitreichend möglich
 - elektrische Felder
 - Transistoren
 - Millikan-Versuch
 - Teilchenbeschleuniger
 - ...

- Kontrolle von geladenen Teilchen und Objekten weitreichend möglich
 - elektrische Felder
 - Transistoren
 - Millikan-Versuch
 - Teilchenbeschleuniger
 - ...

- Problem bei Kontrolle neutraler Teilchen

Magneto-optische Falle

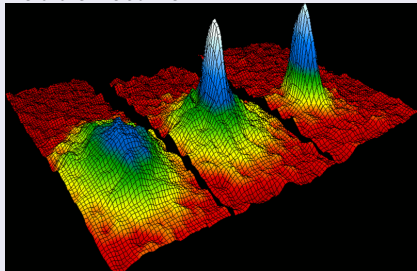
Rubidiumatome bei $300\mu K$



<http://www.williams.edu/resources/sciencecenter.../center/RS03html/images/RepSci2003fn100.jpg>

Bose-Einstein-Kondensation

Geschwindigkeitsverteilung von
Rubidiumatomen



NIST/JILA/CU-Boulder

Thermodynamik

- System im thermodynamischen Gleichgewicht
- in Kontakt mit Wärmebad

$$\langle E_k \rangle = \frac{1}{2} k_B T$$

nicht ganz adäquat da:

- kein Wärmeaustausch mit Wärmebad
- kein thermodynamisches Gleichgewicht

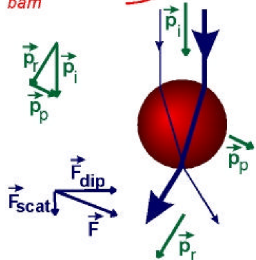
- Photon trägt Impuls $p = h/\lambda$
- Impulserhaltung als fundamentale Grundlage
- Wechselwirkung von induziertem Dipolmoment mit Feldgradienten

Physikalische Grundlagen

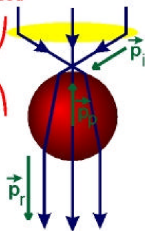
- Photon trägt Impuls $p = h/\lambda$
- Impulserhaltung als fundamentale Grundlage
- Wechselwirkung von induziertem Dipolmoment mit Feldgradienten

primitive Laserfalle

Intensity profile of incident laser beam



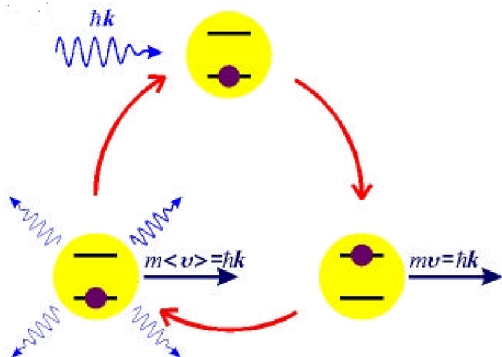
Intensity profile of focused laser beam



S. Chu

- Optische Pinzette (optical tweezer), Video

Impulse bei resonanter Anregung

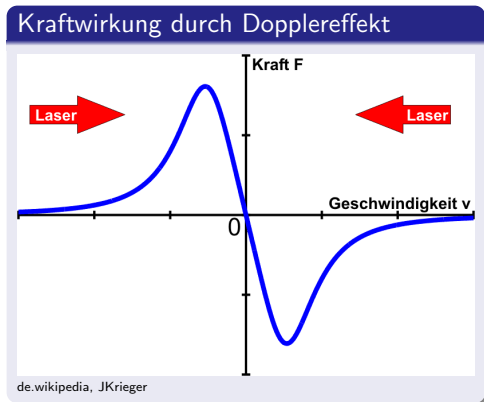


Laser Cooling and Manipulation of Neutral Particles, Adams, Riis

Dopplerkühlen

Idee des Dopplerkühlens

- T. W. Hänsch and A. L. Schawlow, Opt. Commun., 13 (1975), 68.
- richtungssensitive resonante Streuung durch Dopplereffekt



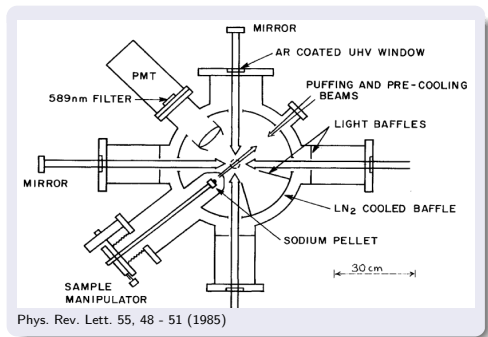
- $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$

erstes Experiment

- Gruppe um Steven Chu, 1985
- Phys. Rev. Lett. 55, 48 - 51 (1985)

Three-dimensional viscous confinement and cooling of atoms by resonance radiation pressure

- "optische Melasse"
- 10^5 Na-Atome in sichtbarer Wolke
- $T \approx 240\mu K$
- $\bar{v} \approx 60\text{cm/s}$
- Stickstoff Raumtemperatur: $\bar{v} \approx 400\text{m/s}$



- nur Komprimierung im Impulsraum
- somit keine lokale Komprimierung
- Dopplertemperatur als untere Grenze der Temperatur

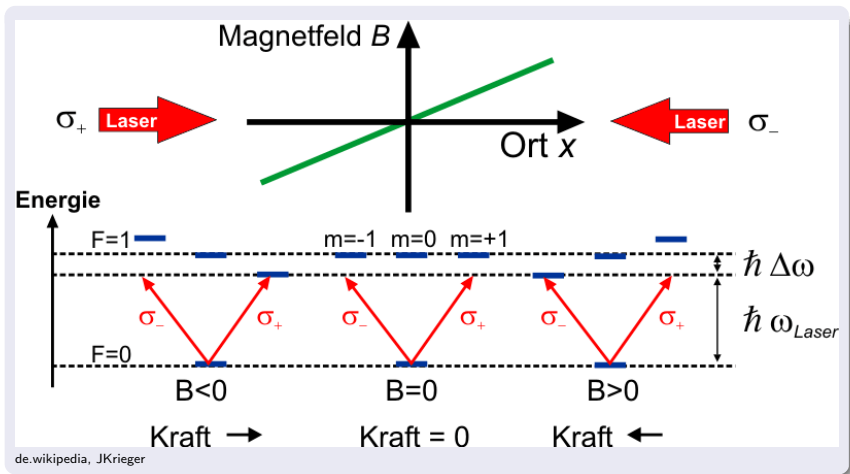
Dopplertemperatur

$$T_D = \frac{\hbar\Gamma}{2k_B}$$

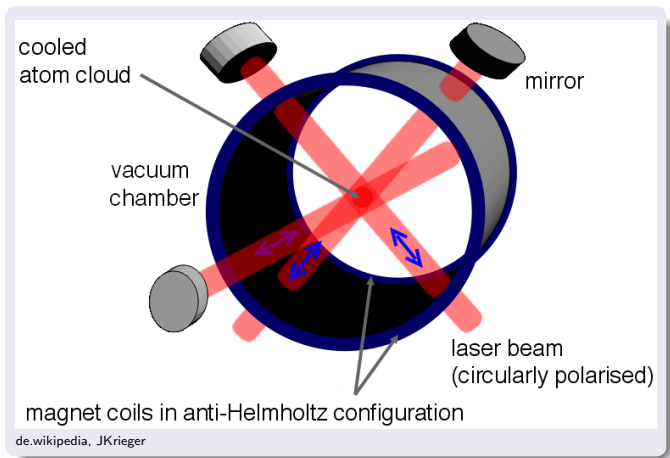
- für Zwei-Niveau-Model
- k_B ... Boltzmann-Konstante
- Γ ... natürlich Linienbreite des Überganges

Magneto-optische Fallen (MOT)

Prinzip der magneto-optischen Falle



Aufbau der magneto-optischen Falle



- Kompression und Kühlung in einem Aufbau
- keine präzise Justierung der Laser
- keine perfekte Polarisierung der Laser nötig
- kleine Magnetfelder reichen aus (luftgekühlte Spulen)
- Alkali Atome bei Raumtemperatur fangbar
- günstige Diodenlaser
- kostengünstig

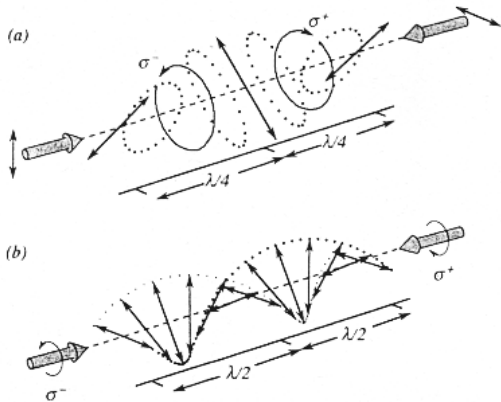
Polarisationsgradienten Kühlung

- weitere Messungen mit optischen Melassen (Na) am NIST $T = 43 \pm 20 \mu K$
- Theorie $T = 240 \mu K$

Erklärungen

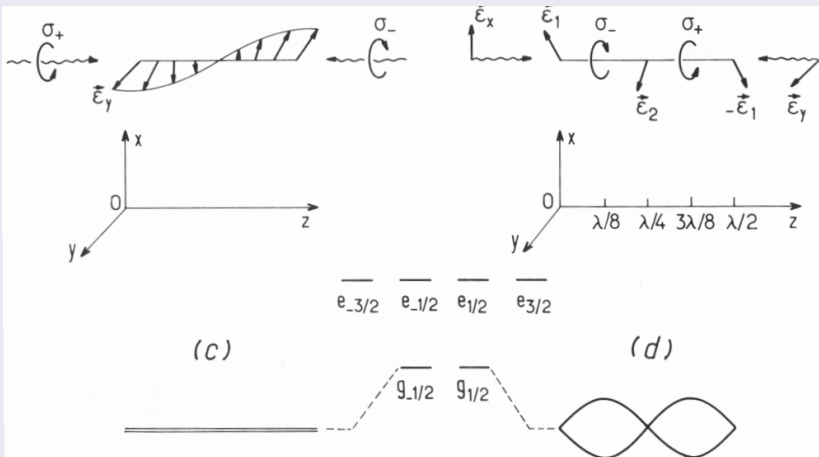
- Annahme von 2-Niveau-Modellen
- Annahme von reinem Polarisationszustand

lin \perp lin- und σ^+ - σ^- -Aufbau



Laser Cooling and Manipulation of Neutral Particles, Charles S. Adams, Erling Riis

Light-Shift mit Polarisationsgradienten

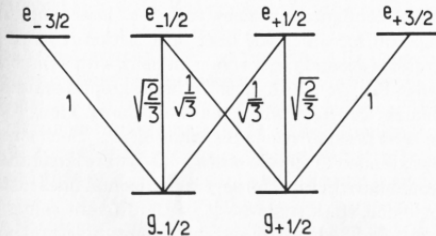


J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, Journal of the Opt. Soc of Am. B, Vol. 6 Nr. 11, p. 2026

Verschiebung der Grundzustandsenergien

$$\Delta E_g = \frac{\hbar \delta s_0 C_{ge}^2}{1 + (2\delta/\Gamma)^2}$$

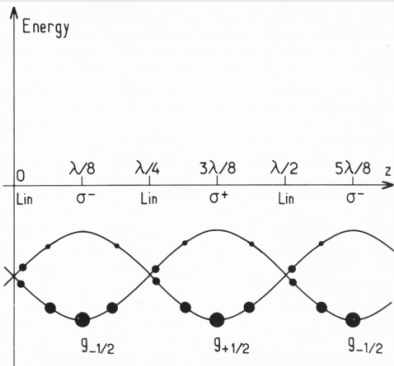
Niveaus $J_g = 1/2 \rightarrow /J_e = 3/2$



J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, Journal of the Opt. Soc of Am. B, Vol. 6 Nr. 11, p. 2027

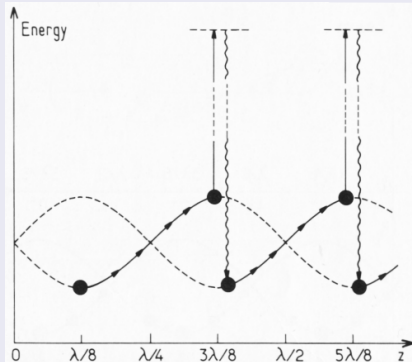
Kühlen mit dem Sisyphus-Prinzip

Light-Shift $lin \perp lin$



J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, J. of the Opt. Soc of Am. B, Vol. 6 Nr. 11, p. 2027

Sisyphus-Prinzip



J. Dalibard, C. Cohen-Tannoudji, J. of the Opt. Soc of Am. B, Vol. 6 Nr. 11, p. 2028

- Recoil-Limit $T_{rec} = \frac{\hbar^2 k^2}{mk_B}$
- Sub-Recoil-Cooling
- evaporative Kühlung

- Recoil-Limit $T_{rec} = \frac{\hbar^2 k^2}{mk_B}$
- Sub-Recoil-Cooling
- evaporative Kühlung

Nobelpreis 1997

... für ihre Entwicklung von Methoden zum Kühlen und Einfangen von Atomen mit Hilfe von Laserlicht

William
Phillips



Steven Chu



Claude
Cohen-Tannoudji



wikipedia.org

- Harold J. Metcalf, Peter van der Straten, *Laser Cooling and Trapping*, Springer
- *Journal of the Optical Society of America B*, Optical Physics, Vol. 6 Number 11
- Charles S. Adams, Erling Riis, *Laser Cooling and Manipulation of Neutral Particles*, Cambridge University Press
- Ketterle et al., *Bose-Einstein Condensation in a gas of sodium atoms*, Physical Review Letters, Vol. 75 Nr. 22, 3969-3972
- Chu et al., *Three-Dimensional Viscous Confinement and Cooling Of Atoms by Resonance Radiation Pressure*, Physical Review Letters, Vol. 55 Nr. 1, 48-51,
- Wikipedia.org