

# Atomų dujų šaldymas

Julius Ruseckas

Vilniaus universiteto Teorinės fizikos ir astronomijos institutas

Kovo 31, 2009

## 1 Įvadas

## 2 Atomų dujų šaldymas lazerio spinduliuote

- Šaldymas iki Doplerio ribos
- Šaldymas iki atatranksos ribos
- Šaldymas žemiau atatranksos ribos

## 3 Atomų dujų šaldymas garinimu

- Magneto-optinė atomų gaudyklė
- Šaldymas garinimu

<http://www.itpa.lt/quantumgroup/>

## Quantum Optics Group

at the Institute of Theoretical Physics and Astronomy  
of Vilnius University



Main

Members

Research Area

Collaboration

Publications

Links

The [group](#) is working on the theory of quantum optics at the [Institute of Theoretical Physics and Astronomy of Vilnius University](#). Our main main [research interests](#) are cold atomic gases, electromagnetically induced transparency, slow light, lefthanded light and effective gauge field theories.

The Quantum Optics group is headed by Habil. Dr. [Gediminas Juzeliūnas](#).



# Kiek šalti turi būti atomai?

Tikslas:

Norime, kad pasireikštų kvantiniai efektai.

De Broglie bangos ilgis dėl šiluminio judėjimo

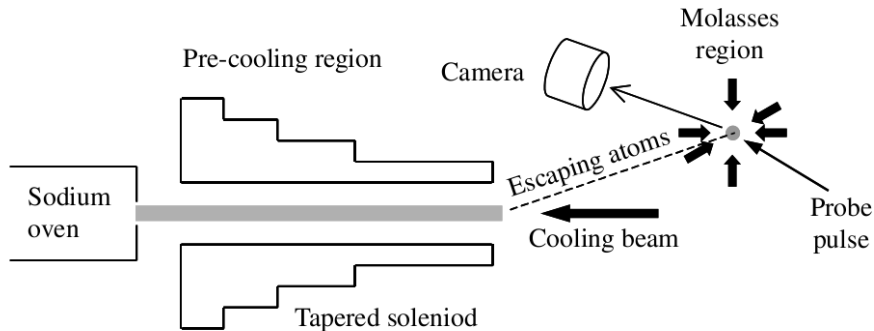
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{3mk_B T}}$$

De Broglie bangos ilgis dėl šiluminio judėjimo turi būti sulyginamas su atstumais tarp atomų.

Imant atomų tankį  $10^{18} \text{ m}^{-3}$  ir  $^{87}\text{Rb}$  atomus, gauname  $T \sim 100 \text{ nK}$ .

- **1975:** Pirmą kartą pasiūlytas lazerinio šaldymo metodas.
- **1995:** Sukurti pirmieji atomų Bose-Einstein'o kondensatai (BEC).
- **1997:** Fizikos Nobelio premija už atomų šaldymą
- **1999:** Sukurtos išsigimusios atomų Fermi dujos.
- **2001:** Fizikos Nobelio premija už BEC

# Kaip atrodo eksperimentas?



- Lazerio dažnis yra arti rezonanso su atominiu šuoliu. Esant tinkamam išderinimui, lazeris bus rezonanse tik su atomais judančiais viena kryptimi. Reikalingas išderinimas

$$\delta = -\frac{v_x}{\lambda}.$$

- Atomai, sugėrę fotoną, spontaniškai išspinduliuoja atsitiktine kryptimi. Atomo impulso pokytis

$$\Delta p_x = -\frac{h}{\lambda}.$$

- Ciklų, reikalingų sumažinti atomo greitį iki minimumo, skaičius

$$N = \frac{mv_x}{\Delta p_x} = \frac{mv_x \lambda}{h}.$$

- Pavyzdžiui, Na lydosi prie 600 °C, D<sub>2</sub> linijos ilgis 589 nm, gyvavimo trukmė 16 ns. Ciklų skaičius  $N = 3.3 \times 10^4$



Jei yra lazeriai keliomis priešingomis kryptimis:

- atomas patiria difuzija impulsų erdvėje
- Per kiekvieną sugerties-išspinduliavimo ciklą sugeriamas ar išspinduliuojamas fotonas su impulsu  $\hbar k$  atsitiktine kryptimi. Toks procesas riboja šaldymą.

- Doplerio šaldymas nustoja veikti kai reikalingas išderinimas tampa sulyginamas su natūraliu linijos pločiu.

$$T_{\min} \sim \frac{\hbar}{k_B T}.$$

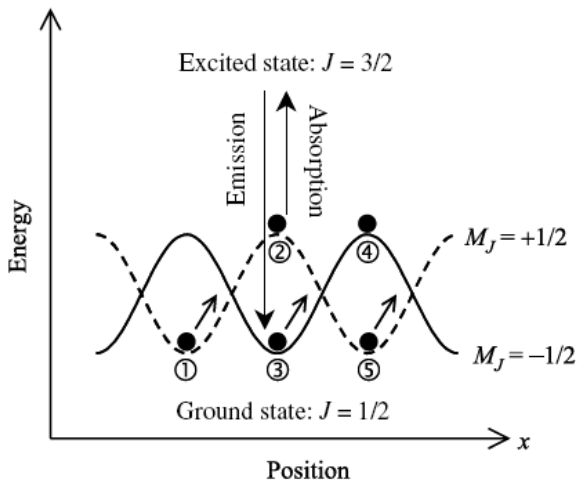
- Natriui  $T_{\min} = 240 \mu\text{K}$ .

## Tolimesnis šaldymas

Galima atšaldyti labiau, negu Doplerio riba.

- Sizifo šaldymas—iki atatrankos ribos.
- Šaldymas žemiau atatrankos ribos:
  - Raman'o šaldymas
  - Velocity-selective coherent population trapping (VSCPT)

# Sizifo šaldymas



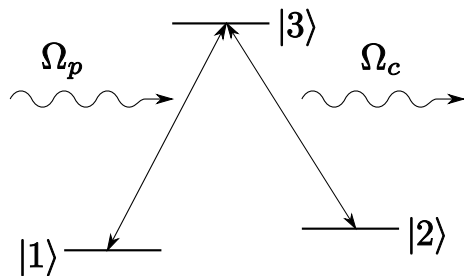
- Lazerių interferencija sukelia periodinę pagrindinio lygmens būsenų moduliaciją dėl Štarko efekto.
- Atomai labiausiai sugeria šviesą tik kai jie yra arti potencialo viršūnių.
- Jei atomas sugrįžta į žemesnį lygmenį, sugerto ir išspinduliuoto fotonų energijos skirtumas yra paimamas iš kinetinės energijos.

- Minimali temperatūra, kurią galima pasiekti, yra ribojama atatrąkos.

$$T_{\text{recoil}} = \frac{1}{mk_B} \left( \frac{h}{\lambda} \right)^2$$

- Natriui  $T_{\text{recoil}} = 2.4 \mu\text{K}$ .

- Norint optiškai atšaldyti žemiau atatranks ribos reikia atomus pervesti į būsenas iš kurių nėra spontantinės spinduliuotės.
- Naudojami atomai su  $\Lambda$ -tipo lygmenų schema.



## Tamsi būseną

$$|D\rangle \sim \Omega_c|1\rangle - \Omega_p|2\rangle$$

Destruktyvi interferencija,  
išnyksta sugertis.

Zonduojantis (probe) pluoštas:

$$\Omega_p = \mu_{13}E_p$$

Kontrolinis (control) pluoštas:

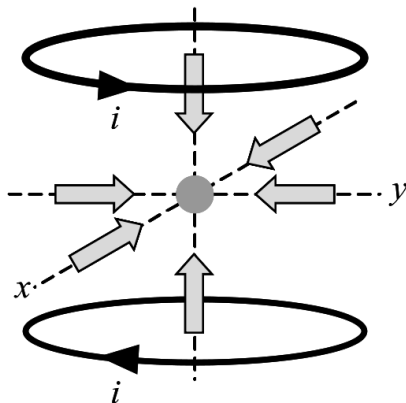
$$\Omega_c = \mu_{23}E_c$$



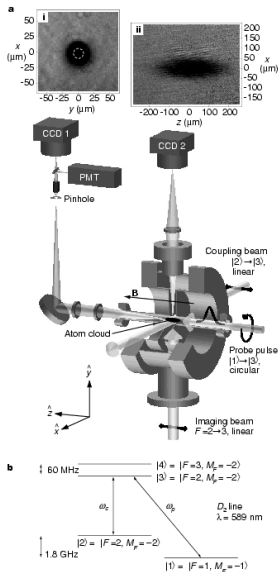
# Šaldymas žemiau atrankos ribos: VSCPT

- Jei atomas patenka į tamsią būseną, jis nesaveikauja su šviesa.
- Atomų judėjimas permeta iš tamsios būsenos į šviesią.
- Permetimo iš tamsios būsenos nėra tik kai atomo vidutinis impulsas lygus nuliui.
- Atomai susirenka į šią tamsią būseną

# Magneto-optinė atomų gaudyklė



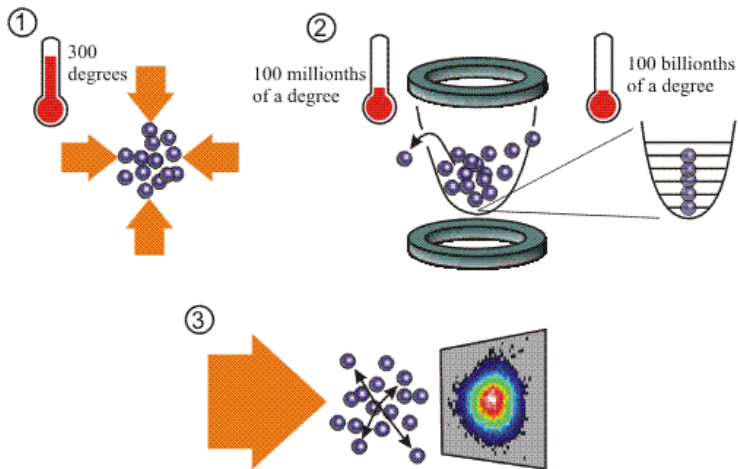
# Magneto-optinė atomų gaudyklė



# Magneto-optinės gaudyklės

- Norint apriboti atomus tam tikroje erdvėje vien lazerių neužtenka, reikia dar magnetinio lauko.
- Kvadrupolinė gaudyklė turi lauko minimumą centre.
- Būsenos su  $M_J > 0$  turi mažesnę energiją kai magnetinis laukas mažesnis, ir todėl gaudyklė jas pritraukia.
- Būsenas su  $M_J < 0$  gaudyklė atstumia.
- Gaudyklės potencialo gylis yra  $\sim \mu_B B$ . Kai  $B = 1$  T tai gylis yra 0.67 K.
- Gaudyklė veikia tik jau šaltiems atomams.

# Atomų šaldymas



- Pridedamas radio dažnio laukas, galintis apversti atomo sukinį. Apvertus sukinį, atomas yra išstumiamas.
- Gaudyklės potencialas yra

$$V(r) = m_F g \mu_B [B(r) - B_0].$$

- Rezonanso sąlyga

$$\hbar \omega_{\text{rf}} = |g| \mu_B B(r).$$

- Atomai su energija

$$E > \hbar |m_F| (\omega_{\text{rf}} - \omega_0)$$

pabėgs iš gaudyklės.

Ačiū už dėmesį!