

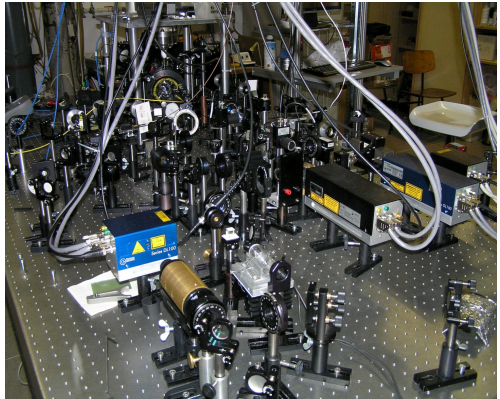
SINTETSKA LORENTZOVA SILA NA HLADNE ATOME RUBIDIJA

Paula Tomić

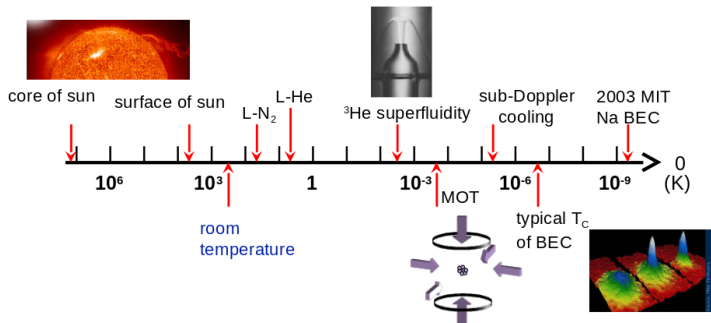
PMF-Zagreb

1. veljače 2016.

- Uvod
- Teorijska podloga
- Eksperimentalni postav
- Rezultati
- Zaključak



Slika eksperimenta iz Laboratorija za hladne atome na IFS-u



Temperaturna skala

Preuzeto od Ban, T. *Optomechanics with cold rubidium atom*

PRIMJENA HLADNIH ATOMA

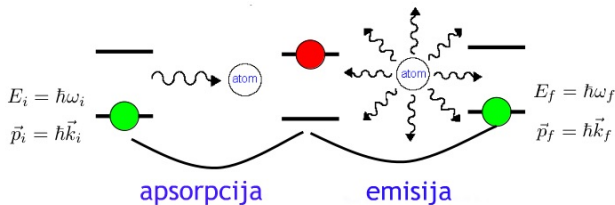
- Atomski satovi
- Testiranje fundamentalnih fizikalnih konstanti
- Proučavanje hladnih sudara (hladna kemija)
- Stvaranje hladnih molekula
- Visoko-osjetljivi senzori
- Testiranje osnovnih principa kvantne mehanike
- Kvantna računala
- Stvaranje Bose-Einsteinovog kondenzata

BOSE-EINSTEINOV KONDEZAT

- Ultrahladni atomski plinovi ($T < \text{nekoliko } \mu\text{K}$)
- Feynmanov kvantni simulator
- Uvođenje sintetskog magnetizma
- Brzo rotirajući BEC \implies analogija Coriolisove i Lorentzove sile

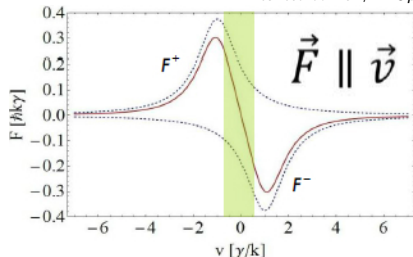
KLASIČNI SUSTAVI

- Sintetska Lorentzova sila bazira se na tlaku zračenja i Dopplerovom efektu
- $\vec{F}_L \perp \vec{v}$
- tokamak
- zvijezde



Procesi apsorpcije i emisije

Preuzeto od Ban, T. *Optomechanics with cold rubidium atom*

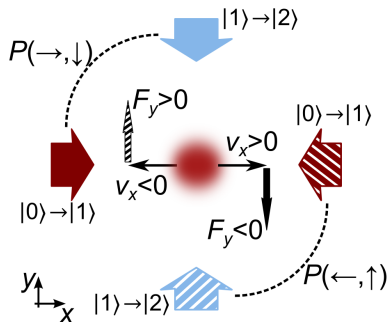


Sila zračenja

Preuzeto od Kregar, G. *Utjecaj vanjskog koherentnog zračenja na rubidijeve atome u magneto-optičkoj stupici*

SILA ZRAČENJA

$$\vec{F} \approx \frac{8\hbar k^2 \delta s_0 / 2}{1 + s_0 + [2(\delta \mp \vec{k} \cdot \vec{v} / \gamma)]^2} = -\beta \vec{v}$$



Koncept realizacije SLF

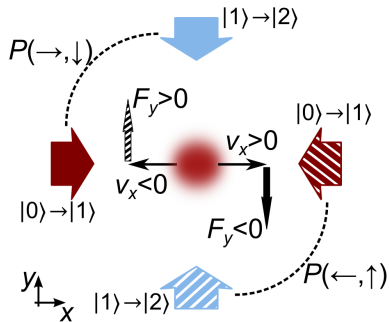
Sve sheme preuzete od Šantić, N. *et al.* Experimental Demonstration of Synthetic Lorentz Force by Using Radiation Pressure. *Sci. Rep.* **5**, 13485; doi: 10.1038/srep 13485 (2015).

SINTETSKA LORENTZOVA SILA

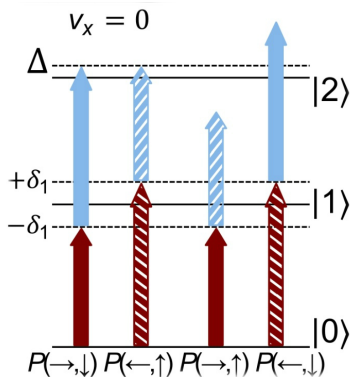
- Dvo-koračni dvo-fotonski prijelaz

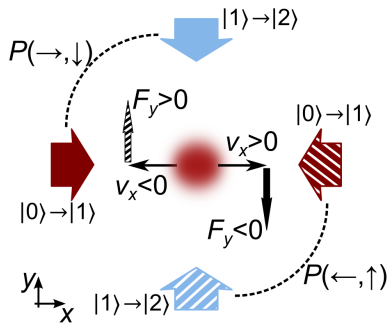
$$|0\rangle \rightarrow |1\rangle \rightarrow |2\rangle$$

- $x : |0\rangle \rightarrow |1\rangle$
- $y : |1\rangle \rightarrow |2\rangle$
- $F_x = F_x(v_x, v_y)$
- $F_y = F_y(v_x, v_y)$

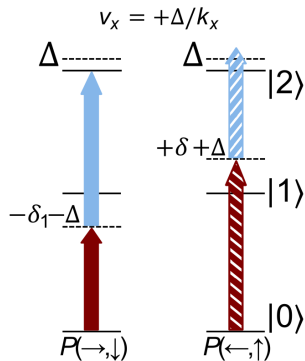


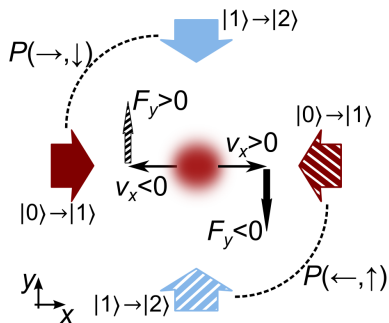
Koncept realizacije SLF

Četiri načina za prijelaz $|0\rangle \rightarrow |1\rangle \rightarrow |2\rangle$
za $v_x = 0$.

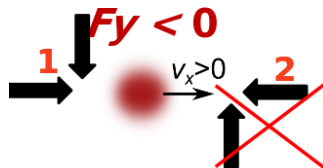
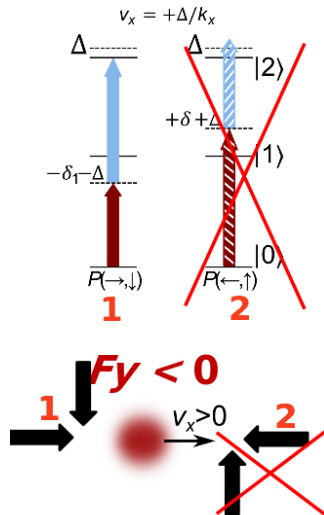


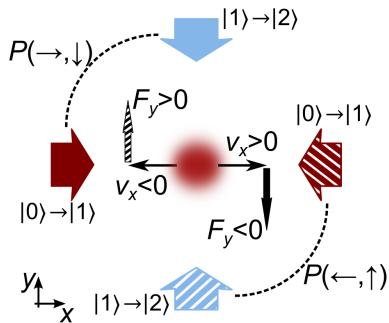
Koncept realizacije SLF

Dva načina za prijelaz $|0\rangle \rightarrow |1\rangle \rightarrow |2\rangle$
za $v_x > 0$.

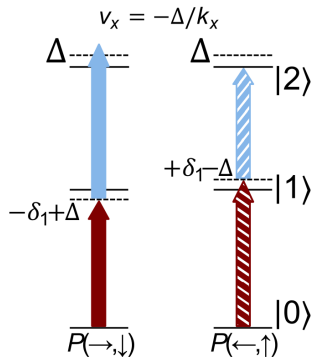


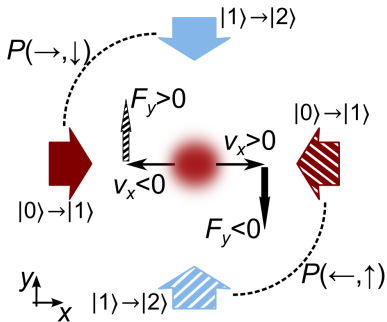
Koncept realizacije SLF



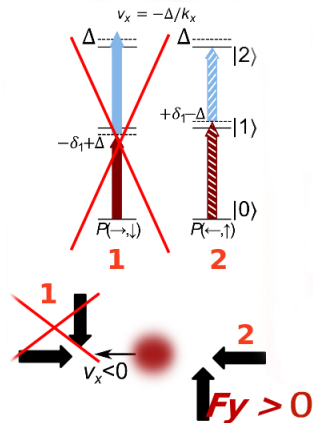


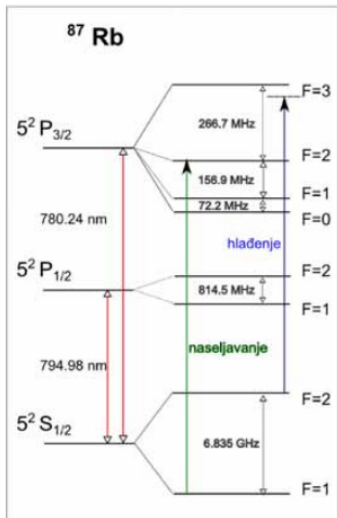
Koncept realizacije SLF

Dva načina za prijelaz $|0\rangle \rightarrow |1\rangle \rightarrow |2\rangle$
za $v_x < 0$.



Koncept realizacije SLF





Energijski dijagram atoma ^{87}Rb

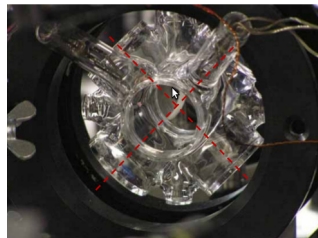
Preuzeto od Kregar, G. *Utjecaj vanjskog koherentnog zračenja na rubidijeve atome u magneto-optičkoj stupici*

ATOM ^{87}Rb

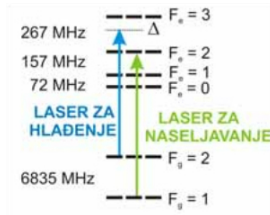
- Alkalijski metal
- Elektronska konfiguracija $[\text{Kr}]5s^1$
- Dva izotopa ^{85}Rb i ^{87}Rb

MOT

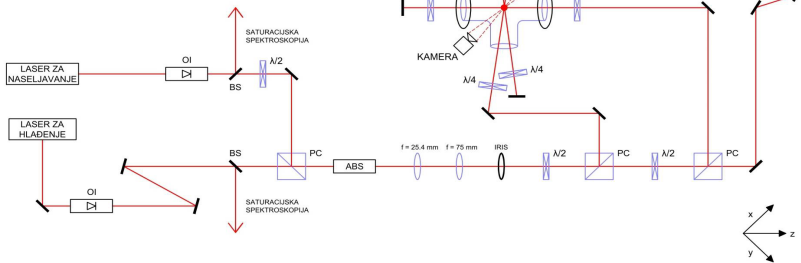
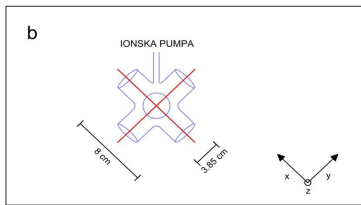
- dispenceri s rubidijem
- Laser za hlađenje (eng. *cooling laser*)
 $|5S_{1/2}; F = 2\rangle \rightarrow |5P_{3/2}; F' = 3\rangle$
- Laser za naseljavanje (eng. *repump laser*)
 $|5S_{1/2}; F = 1\rangle \rightarrow |5P_{3/2}; F' = 2\rangle$
- nominalna valna duljina
 $\lambda = 780 \text{ nm}$



Staklena ćelija s dispenserima

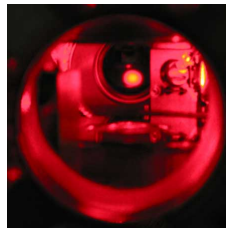
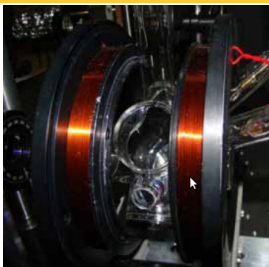
Hiperfinski nivoi ^{87}Rb

Preuzeto od Kregar, G. *Utjecaj vanjskog koherentnog zračenja na rubidijeve atome u magneto-optičkoj stupici*



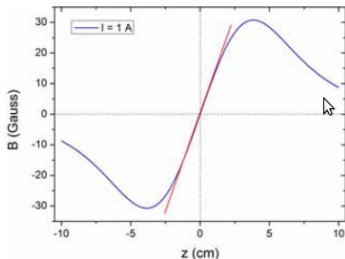
Eksperimentalni postav

Preuzeto od Šantić, N. *Lasersko hlađenje atoma*



Oblak hladnog atomskog plina ^{87}Rb u MOT-u

Preuzeto od Ban, T. *Optomechanics with cold rubidium atom*



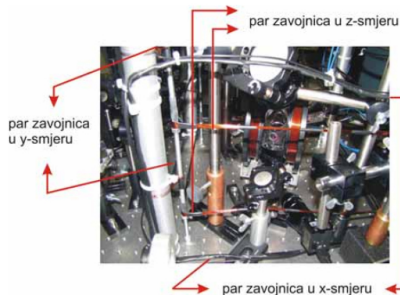
Zavojnice i kvadrupolno magnetsko polje koje stvaraju
Preuzeto od Kregar, G. *Utjecaj vanjskog koherentnog zračenja na rubidijeve atome u magneto-optičkoj stupici*

ZAROBLJAVANJE OBLAKA

- Anti-Helmholtzova konfiguracija
- Kvadrupolno magnetsko polje
- Oblak: promjer 0.4 mm, $\approx 10^8$ atoma ^{87}Rb , temperatura $50\ \mu\text{K}$

SLF

- 4 nove laserske zrake
- Nominalne valne duljine
 $\lambda = 780 \text{ nm}$ i $\lambda = 776 \text{ nm}$
- Prijelaz $|0\rangle \rightarrow |1\rangle$ je prijelaz u ^{87}Rb na 780 nm :
 $|5S_{1/2}; F = 2\rangle \rightarrow |5P_{3/2}; F' = 3\rangle$
- Prijelaz $|1\rangle \rightarrow |2\rangle$ je prijelaz u ^{87}Rb na 776 nm :
 $|5P_{3/2}; F' = 3\rangle \rightarrow |5D_{5/2}; F'' = 4\rangle$

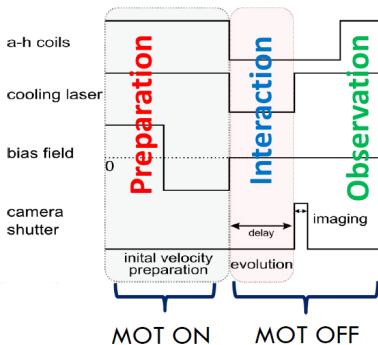


Zavojnice kojima se generira početna brzina oblaka

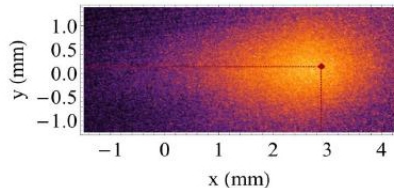
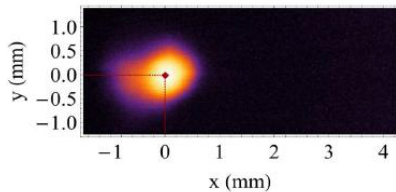
Preuzeto od Kregar, G. *Utjecaj vanjskog koherentnog zračenja na rubidijeve atome u magneto-optičkoj stupici*

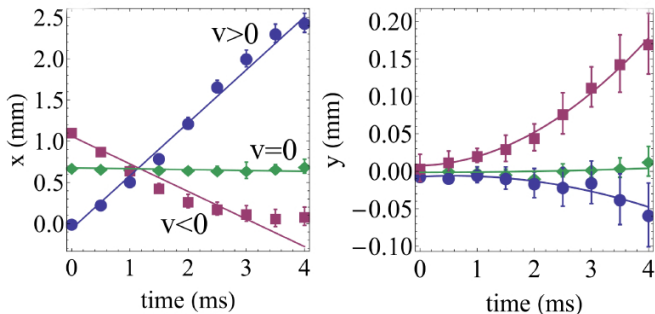
POČETNA BRZINA

- Generiranje početne brzine CM oblaka



Tijek mjerenja

Obлак u trenucima $t=0$ i $t=4$ Preuzeto od Ban, T. *Optomechanics with cold rubidium atom*




Putanja CM atomskog oblaka u prisustvu sintetske Lorentzove sile $x(t)$ i $y(t)$ za tri različite početne brzine, $v_x = 0.6 \text{ m/s} > 0$ (krugovi), $v_x = 0 \text{ m/s}$ (karo), $v_x = -0.3 \text{ m/s} < 0$ (kvadrati); početna $v_y = 0$ u svim mjerenjima.

Preuzeto od Šantić, N. *et al.* Experimental Demonstration of Synthetic Lorentz Force by Using Radiation Pressure. *Sci. Rep.* **5**, 13485; doi: 10.1038/srep 13485 (2015).

ZAKLJUČAK

- Demonstrirana je sintetska Lorentzova sila u klasičnom hladnom atomskom plinu
- Plin ^{87}Rb ohlađen je u MOT-u
- Sila je uzrokovana tlakom zračenja
- Ovakav pristup mogao bi omogućiti realizaciju mnogih novih eksperimenata

-  Šantić, N. *et al.* Experimental Demonstration of Synthetic Lorentz Force by Using Radiation Pressure. *Sci. Rep.* **5**, 13485; doi: 10.1038/srep 13485 (2015).
-  Dubček T. *et al.* Synthetic Lorentz force in classical atomic gases via Doppler effect and radiation pressure, *Phy. Rev. A* **89**, 063415 (2014).
-  Nekić, Nikolina. Diplomski rad: Dinamika hladnih atoma rubidija zatočenih u magneto-optičku stupicu, 2014
-  Šantić, Neven. Diplomski rad: Lasersko hlađenje atoma, 2012
-  Kregar, Gordana. Doktorski rad: Utjecaj vanjskog koherentnog zračenja na rubidijeve atome u magneto-optičkoj stupici, 2014

Hvala na pažnji!