

## Rb 原子的激光囚禁\*

王 谨<sup>1), 2)</sup> 柳晓军<sup>1), 2)</sup> 李交美<sup>1)</sup> 赵宏太<sup>1), 2)</sup> 江开军<sup>1)</sup> 詹明生<sup>1)</sup>

1), 中国科学院武汉物理与数学研究所波谱与原子分子物理国家重点实验室, 武汉 430071

2), 中国科学院安徽光学精密机械研究所激光光谱学开放实验室, 合肥 230031

**摘 要** 用饱和吸收光谱法对二极管激光器进行稳频, 使激光器的有效线宽小于 1 MHz, 并利用声光调制器使激光的频移量得到控制, 满足了激光冷却与囚禁原子对激光频率稳定性和频移量的要求, 实现了 Rb 原子的激光囚禁。

**关键词** 激光冷却与囚禁, 二极管激光器, Rb 原子。

### 1 引 言

中性原子的激光冷却与囚禁是近 20 年发展起来的新的研究领域。80 年代, 美国国家标准与技术研究所的 Philips、斯坦福大学的朱棣文以及法国巴黎高等师范学院的 Cohen-Tannoudji 进行了这方面的开创性工作<sup>[1-3]</sup>, 并因此获得了 1997 年的诺贝尔物理学奖。早期的工作在 Rb、Cs、Na 原子上进行, Wieman 小组用气室磁光阱对 Cs 原子进行了囚禁<sup>[4]</sup>, 使实验装置大大简化。后来詹明生与合作者也实现了 Li 原子激光囚禁<sup>[5]</sup>。在国内, 北京大学的王义道小组<sup>[6]</sup>和上海光机所的王育竹小组<sup>[7]</sup>也分别实现了 Cs 和 Na 原子的激光囚禁。激光囚禁的中性原子, 已被用来研究原子频标<sup>[8]</sup>、原子光学<sup>[9]</sup>、玻色-爱因斯坦凝聚<sup>[10, 11]</sup>及原子激光<sup>[12]</sup>等。激光冷却与囚禁原子不但对激光器的频率稳定性要求很高, 而且要求激光频率相对于原子共振频率有一定的失谐。目前, 原子的激光冷却与囚禁大多采用二极管激光器, 因而二极管激光器的稳频和频率失谐量的控制便成为激光冷却与囚禁原子实验中非常关键的技术。本文报道结合饱和吸收光谱稳频和声光调制法, 在较好解决二极管激光器的稳频和频移问题基础上, 用气室磁光阱技术实现 Rb 原子稳定的激光冷却与囚禁的实验结果。

### 2 实验装置

Rb 原子的激光冷却与囚禁装置如图 1 所示。Rb 气室是用光学石英窗片烧结成的长方体腔, 气室通过一高真空阀与离子泵相连。稳频后的囚禁光先行扩束, 再用反射镜分成光斑约 1 cm × 1 cm、功率 10 mW 的三束光, 分别经过 1/4 波片后沿三个方向两两垂直交汇于 Rb 气室中央。三束光通过气室后再分别经过 1/4 波片, 最后经全反射镜沿原路返回。另一个二极

\* 国家自然科学基金(批准号: 19774069, 19734006)资助课题。

收稿日期: 1999-01-04; 收到修改稿日期: 1999-04-13

管激光器产生的用于回泵的激光(功率为 8 mW),经扩束后通过气室中三束囚禁光的交汇区。Rb 样品泡经一毛细管与气室相通,可通过改变 Rb 泡温度控制气室中 Rb 原子密度。一对反亥姆赫兹线圈对套在气室外围,用以提供梯度磁场,与激光组成磁光阱(MOT)。CCD 摄像机用于监视囚禁信号。

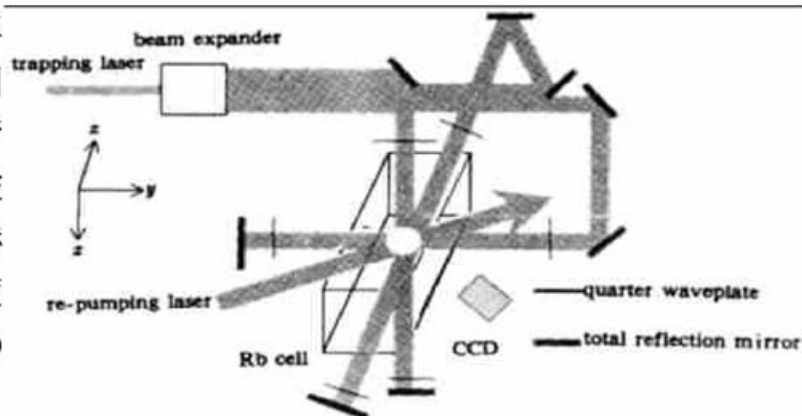


Fig. 1 Setup of laser cooling and trapping of rubidium atoms

### 3 实验结果

#### 3.1 激光的稳频和频移

用饱和吸收光谱稳频法将激光频率锁定在 $^{85}\text{Rb}$  ( $5S_{1/2}, F = 3 \rightarrow 5P_{3/2}, F'$ ) 跃迁的一个交叉峰<sup>[13]</sup>上后,激光的有效线宽小于 1 MHz。

对于 $^{85}\text{Rb}$ 而言,要求囚禁光的频率低于 $^{85}\text{Rb}$  ( $5S_{1/2}, F = 3 \rightarrow 5P_{3/2}, F' = 4$ ) 跃迁频率 1~ 3 个自然线宽,即囚禁光的频率相对于 $^{85}\text{Rb}$  ( $5S_{1/2}, F = 3 \rightarrow 5P_{3/2}, F' = 4$ ) 红移 6~ 18 MHz。囚禁光的频率  $f_0$  与 - 1 级光的频率  $f_{-1}$  的关系为<sup>[14]</sup>:  $f_0 = f_{-1} + \Omega$ , 只要将  $f_{-1}$  锁定在某个峰,选择合适的声光调制频率  $\Omega$  即可实现囚禁光频率的红移。我们将  $f_{-1}$  锁在 $^{85}\text{Rb}$  ( $5S_{1/2}, F = 3 \rightarrow 5P_{3/2}, F'$ ) 的交叉峰 Co[3, 2~ 4] 上,  $\Omega$  为 80 MHz, 囚禁光频率相对于 $^{85}\text{Rb}$  ( $5S_{1/2}, F = 3 \rightarrow 5P_{3/2}, F' = 4$ ) 峰红移了 12 MHz。调节  $\Omega$  使其在 74~ 86 MHz 范围内变化,可实现符合实验要求的激光频移量的控制。

#### 3.2 Rb 原子的激光囚禁

将囚禁光的频率锁定并相对于 $^{85}\text{Rb}$  ( $5S_{1/2}, F = 3 \rightarrow 5P_{3/2}, F' = 4$ ) 峰红移了 12 MHz, 将回泵光的频率调谐在 $^{85}\text{Rb}$  ( $F = 2 \rightarrow F'$ ) 上, 在真空度为  $5 \times 10^{-7}$  Pa、磁场梯度为 0.0015 T/cm 的条件下,用 CCD 观察到了处于囚禁状态的稳定的 Rb 原子云,如图 2 所示。照片中部的亮团即原子云,原子云的大小为  $3 \text{ mm}^3$ 。改变磁场梯度或调谐回泵光的频率,原子云的大小和亮度都会发生变化。在 0~ 0.0015 T/cm 的范围内改变磁场梯度,原子云的亮度随着磁场梯度的增大而增大。磁场梯度超过 0.0015 T/cm 时,囚禁信号的强度不再有明显的变化。

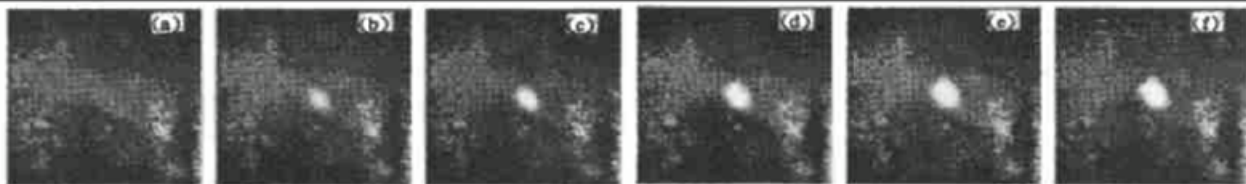


Fig. 2 CCD photos of laser trapped rubidium atoms. The light area in middle of each photo is the trapped atoms, (a) to (f) correspond a successive increase of the gradient of magnetic field. (a) 0.0005 T/cm; (b) 0.0007 T/cm; (c) 0.0009 T/cm; (d) 0.0011 T/cm; (e) 0.0014 T/cm; (f) 0.0016 T/cm

**结 论** 用无多谱勒饱和吸收光谱和声光调制的办法,实现了二极管激光器的稳频与频率红移,解决了激光冷却与囚禁 Rb 原子中的一个关键问题,并用该方法观察到了 Rb 原子激光囚禁的稳定信号,为进一步的实验研究工作奠定了基础。

本工作得到了高克林、罗军、曹俊文、赵志及张海枝同志的帮助，特此感谢。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Phillips W, Metcalf H. Laser deceleration of an atomic beam. *Phys. Rev. Lett.*, 1982, **48**(9) : 596~ 599
- [ 2 ] Chu S, Hollberg L, Bjorkholm J E *et al.*. Three-dimensional viscous confinement and cooling of atoms by resonance radiation pressure. *Phys. Rev. Lett.*, 1985, **55**(1) : 48~ 51
- [ 3 ] Dalibard J, Salomon C, Aspect A *et al.*. *Atomic Physics 11*, ed. Haroche S, Gay J C, Grynberg G, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific, 1989. 199~ 214
- [ 4 ] Monroe C, Swann W, Robinson H *et al.*. Very cold trapped atoms in a vapor cell. *Phys. Rev. Lett.*, 1990, **65**(13) : 1571~ 1574
- [ 5 ] Lin Z, Shimizu K, Zhan M S *et al.*. Laser cooling and trapping of Li. *Japa. J. Appl. Phys.*, 1991, **30**(7B) : L1324~ L1326
- [ 6 ] Gan J H, Li Y M, Chen X Z *et al.*. Magneto-optical trap of cesium atoms. *Chin Phys. Lett.*, 1996, **13**(11) : 821~ 824
- [ 7 ] 王育竹, 刘勋铭, 林岳明等. 一种新型的钠原子磁光陷阱(MOT). *中国激光*, 1996, **23**(5) : 448
- [ 8 ] Kasevich M A, Riis E, Chu S *et al.*. rf spectroscopy in an atomic fountain. *Phys. Rev. Lett.*, 1989, **63**(6/7) : 612~ 615
- [ 9 ] 周士康, 詹明生. 原子物质波干涉. *量子电子学*, 1993, **10**(2) : 97~ 102; **10**(3) : 193~ 199
- [ 10 ] Anderson M H, Ensher J R, Matthews M R *et al.*. Observation of Bose-Einstein condensation in a dilute atomic vapor. *Science*, 1995, **269**(5221) : 198~ 201
- [ 11 ] Davis K B, Mewes M O, Andrews M R *et al.*. Bose-Einstein condensation in a gas of sodium atoms. *Phys. Rev. Lett.*, 1995, **75**(22) : 3969~ 3973
- [ 12 ] Mewes M O, Andrews M R, Kurn D M *et al.*. Output coupler for Bose-Einstein condensed atoms. *Phys. Rev. Lett.*, 1997, **78**(4) : 582~ 585
- [ 13 ] Demtroder W. *Laser Spectroscopy: Basic Concepts and Instrumentation*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981. 488~ 495
- [ 14 ] Yariv A, Yeh P. *Optical Waves in Crystals: Propagation and Control of Laser Radiation*. New York: John Wiley & Sons, 1981. 329~ 333

## Laser Trapping of Rubidium Atoms

Wang Jin<sup>1), 2)</sup>

Liu Xiaojun<sup>1), 2)</sup>

Li Jiaomei<sup>1)</sup>

Zhao Hongtai<sup>1), 2)</sup>

Jang Kaijun<sup>1)</sup>

Zhang Mingsheng<sup>1)</sup>

1), *Laboratory of Magnetic Resonance and Atomic and Molecular Physics, Wuhan Institute of Physics and Mathematic, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071*

2), *Laser Spectroscopy Laboratory, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031*

(Received 4 January 1999; revised 13 April 1999)

**Abstract** The experimental result of laser trapping of rubidium atoms is reported. The frequency of a diode laser is stabilized by means of saturated absorption spectroscopy. The linewidth of laser frequency is less than 1 MHz, and the offsetting of laser frequency can be controlled freely by using acousto-optical modulator. It satisfied the requirement of laser cooling and trapping of atoms.

**Key words** laser cooling and trapping, diode laser, rubidium atoms.