

# NIM 铯原子喷泉实现 MOT – OM 冷原子云 并冷却到 $10\mu\text{K}$

李天初

中国计量科学研究院量子部

**摘要:**本文报道了中国计量科学研究院(NIM)研制新一代“激光冷却 – 铯原子喷泉”国家时间频率基准装置的进展:实现了铯(Cs)原子从磁光阱(MOT)过渡到光学粘胶(OM)的装载 – 冷却,利用飞行时间法记录到信噪比优于 40 的原子云荧光信号;原子经后冷却达到  $(10 \sim 15)\mu\text{K}$ ;用光学黏胶从铯蒸气直接获得了冷原子云。

**关键词:**激光冷却 – 铯原子喷泉,频率基准,磁光阱(MOT)。

## Realizing of OM Atom Clouds and Cooling to $\sim 10\mu\text{K}$ on NIM Laser – cooled Cesium Fountain in 2000

*Li Tianchu, National Institute of Metrology China, 100013*

**ABSTRACT:** In this paper we reported recent progresses on construction of the “NIM laser cooling – Cs fountain” apparatus: loading and cooling of Cs atoms from MOT transferred to OM was realized, Cs fluorescence TOF signal with  $S/N > 40$  recorded; atoms were cooled to  $(10 \sim 15)\mu\text{K}$  after post-cooling; and Cs atom cloud were obtained directly using OM.

**KEYWORDS:** laser cooling-Cs fountain, frequency standard, MOT, OM.

中国计量科学研究院(NIM)正按照“铯冷原子喷泉”方案研制新一代的中国时间频率基准装置,并已报导了装置的设计和获得磁光阱(Magneto Optical Trap – MOT)原子云的实验<sup>[1]</sup>。

在前一阶段工作的基础上,我们在 2000 年实现了铯原子从 MOT 过渡到光学粘胶(Optical Molasses – OM)的装载、冷却和后冷却,并利用飞行时间法(TOF)记录和测量了冷原子信号和温度。同时,也用 OM 从铯蒸气直接获得了冷原子云。

前文已报导了铯源,真空系统和 MOT 的组成与布局<sup>[1]</sup>。在此基础上,围绕 MOT 设置了 X – Y – Z 三组补偿磁场线圈,以抵消地磁场和外部杂散磁场。设置了对准 MOT 下方 9.5cm 的探测区的荧光探测系统,以实现飞行时间法(TOF)测量。激光 – 光学系统采用传统方案,其中装载 – 冷却光达到指标如下:

注入锁定光功率:  $< 0.2\text{mW}$ (可靠锁定);  
波长复现性:  $< \times 10^{-9}$ ;

功率:(光纤前):  $6 \times (\sim 10)\text{mW}$ ;(光纤后):  $6 \times (4 \sim 5)\text{mW}$ ;

功率波动:(光纤前): 0.1%;(光纤后):  $(1 \sim 2)\%$ ;

光斑均匀,准直良好。

时序控制系统依照 MOT – OM – TOF 的要求,控制磁场 – 光场 – 信号采集。

在实验获得满意的 MOT 冷原子云后,关闭 MOT 磁场,调整装载 – 冷却光的偏振态和三组补偿磁场,在 CCD 上观察到原子云荧光斑缓缓扩大、变弱、直至消失。这就是 MOT 过渡到 OM 的原子云形成的实验过程。我们观测到荧光信号衰减时间可达到 500ms 以上。在关闭 MOT 磁场后,关闭光场,原子云在重力场的作用下自由下落。探测系统接收原子云经过探测区时,在探测光作用下发射的荧光,形成 TOF 信号。为了进一步冷却原子,转换到纯光场的 OM 后,首先将激光失谐从  $\nu(4,5) - (8 \sim 12)\text{MHz}$  加大到  $\nu(4,5) - (\sim 55)\text{MHz}$ 。同时,控制 AOM,将六维

冷却光的强度降低。得到图 1 所示的信噪比(S/N) > 40, 温度 10 ~ 15 $\mu$ K 的超冷铯原子云 TOF 信号。在牺牲 S/N 的条件下, 我们还得到 ~ 7 $\mu$ K 的冷原子云。

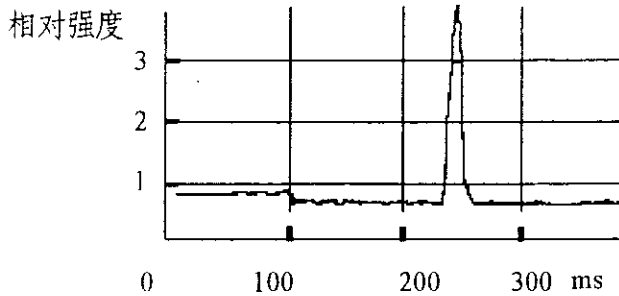


图 1 信噪比(S/N)优于 40, 温度 ~ 20 $\mu$ K 的 MOT-OM 原子云 TOF 信号

在上述实验的基础上, 进行了不经过 MOT 过渡, 直接用 OM 装载原子, 得到冷原子云的 TOF 信号如图 2。OM 原子云信号幅度比 MOT-OM 原子云小 ~ 30 倍。这与理论估计 OM 直接装载原子密度比 MOT-OM 低 1 ~ 2 个数量级相符。我们正在设计荧光收集器, 提高荧光接收立体角效率, 以调整改善 OM 直接装载原子云的质量, 并进一步研究其性质。

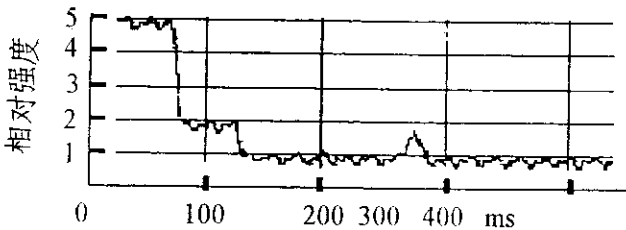


图 2 OM 直接俘获原子云的 TOF 信号

综上所述, 中国计量研究院在研制“激光冷却 - 铯原子喷泉”时间频率基准装置中, 已经:

——获得信噪比良好、窄线宽的 MOF-OM-后

冷却的 TOF 信号, 表明我们的装置可实现原子密度足够高, 并冷却到(10 ~ 15) $\mu$ K 的冷原子云。

——整个装置, 含“光学系统 + 真空 - 铯源 - MOT 系统 + TOF 系统 + 时序控制系统”, 实现了二十天无调整连续正常工作, 标志着我们已经初步掌握了 MOT-OM-TOF 的关键技术, 也增强了我们建立连续可靠稳定运转的冷原子喷泉频率基准的信心。

——在实验中, 根据理论指导采取的每一步实验措施都得到预期的效果, 一方面加深了我们对激光冷却 - MOT-OM 机制的理解, 同时也引导我们的实验少走弯路。

获得高原子密度, 低温度的原子云, 是实现原子 800mm 上抛 - 下落, 并检测到足够高信噪比信号的关键。上述 MOT-OM-后冷却-TOF 实验是研制冷原子喷泉课题中重要而艰巨的一个台阶。迈上这个台阶, 为下一步原子进一步后冷却, 上抛, 实现 Ramsey 跃迁奠定了有利的技术基础。

本课题现阶段研究列为科技部基础研究课题, 第一阶段工作(1996 - 1999)得到了国家自然科学基金重大项目的支持, 在此对科技部和自然科学基金委的大力支持表示衷心感谢。

#### 参 考 文 献

[1]王立吉, 吴长华, 黄秉英, 李明寿, 钱进, 吉望西, “NIM 铯原子喷泉频率基准的设计与初步结果,”《计量学报》, V21p1, (2000)。