

钾蒸气中双光子共振四波混合的差频效应

邹英华 夏宗炬 王永达

(北京大学物理系 无线电系)

提 要

在钾蒸气中观察到了双光子共振四波混合的差频效应。YAG:Nd³⁺激光器的红外光波(ω_3)和YAG:Nd³⁺激光的二次谐波泵浦的可调谐染料激光器的可见光波(ω_1)用作入射波。当染料激光的两个光子的能量等于钾原子高激发态13s和基态4s间的能量差时,产生了一个新的波长为4052 Å的相干光波($\omega_4=2\omega_1-\omega_3$)。

Two-photon resonance, four-wave mixing difference frequency generation in potassium vapor

Zhou Yinghua Xia Zhongju Wang Yongda

(Department of Physics, Department of Radio, Beijing University)

Abstract

Two-photon resonant four-wave mixing difference frequency generation in potassium vapor has been observed. The infrared wave (ω_3) from YAG:Nd³⁺ laser and the visible wave (ω_1) from the tunable dye laser pumped by the second-harmonic of YAG:Nd³⁺ laser are used as the incident waves. When the energy of the two photons from dye laser equals to the energy difference between the high lying state 13s and the ground state 4s of the potassium atom, a new 4052 Å coherent wave ($\omega_4=2\omega_1-\omega_3$) is generated.

金属蒸气作为非线性介质有如下特点:
(1)可以承受很大的功率密度而不易击穿;
(2)在紫外甚至软X射线区,红外、远红外区都有很好的透过率;(3)非线性极化可以通过注入场的调谐得到几个数量级的共振增强...。因而,近年来对金属蒸气非线性效应的研究受到一定的重视^[1,2]。在碱金属、碱土金属等金属蒸气中获得三次、五次甚至九次谐

波;利用四波混合的和频效应在锶(Sr)蒸气中得到了调谐紫外相干光,在碱金属中得到了调谐红外相干光;在钠蒸气中实现了红外上转换.....

原子的能级越接近,电离电位越密集,因而利用原子能级的高激发态就有更多的实现共振增强的机会。V. G. Arkhipkin 等人^[3]

收稿日期:1979年7月9日。

在铷蒸气中利用 15d、16d 高激发态实现了双光子共振的四波混合的差频效应, 获得 4200Å 相干光输出。本文报导我们在钾蒸气中通过类似过程获得 4052Å 相干光输出的实验结果。

实验装置

我们利用调 Q YAG:Nd 激光器输出的二次谐波泵浦染料激光器, 再利用染料激光器的输出(ω_1)在钾蒸气中实现基态 4s 和高激发态 13s 的双光子共振, 并与 YAG:Nd 1.0648 μ 输出(ω_3)差频, 得到频率为 $\omega_4 = 2\omega_1 - \omega_3$ 的相干光。

实验装置如图 1 所示。

KD*P 电光调 Q YAG:Nd 激光器: 在室温下激光波长 1.0648 微米, 单横模, 重复频率 1 次/秒至 10 次/秒, 脉冲宽度 10 毫秒, 脉冲功率 7~10 兆瓦。

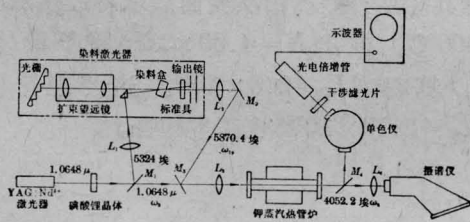


图 1 实验装置示意图

染料激光器: 用 YAG:Nd 激光经碘酸铷倍频后, 经透镜 L_1 (焦距为 20 厘米) 聚焦, 直角棱镜折转 90° 角与染料激光腔轴线在染料池内相交呈 2~3° 角。实现染料激光的纵向激励。染料池直径 2 厘米、长 1 厘米。染料为若丹明 B 的酒精溶液, 浓度为 1×10^{-4} 克分子/升。扩束望远镜目镜焦距 9.54 毫米, 物镜焦距 110 毫米。光栅为国产 1200 线/毫米复制光栅。标准具是一块厚 2 毫米的平板玻璃, 用来压缩线宽。输出镜反射率为 50%。染料激光器输出功率为 10~20 千瓦。线宽为 0.1Å。通过调节光栅偏转角, 波长由 5600Å 至 5890Å 连续可调。光束发散角约 6 毫弧度。

热管炉^[6]: 一定温度的钾蒸气是在热管炉里产生的。热管炉用直径 2.5 厘米、壁厚 0.1 厘米、长 40 厘米的不锈钢管制成。内壁衬有三层 40 目不锈钢网芯, 网芯长 25 厘米。通过网孔的毛细现象, 使在热管内凝结的液态金属钾回流至中间加热区。加热器为双半圆碳化硅炉, 长 15 厘米。配有 JWT-702 温度控制器, 恒温精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。为了得到确切的钾蒸气温度, 在热管炉中部外壁贴有铜-康铜热电偶。热电偶的电动势用直流数字电压表 (PZ-8) 测量。热管炉两端窗片由光学玻璃经光学加工制成。通过“O”圈与法兰盘连接, 并保持真空密封。为了防止“O”圈和窗片过热, 在加热器和两端法兰盘之间各置一铝制散热器。热管炉经高温除气后, 打开一端窗片, 迅速投入约 3 克钾金属 (纯度 98%), 并重新抽真空至 10^{-6} 托, 然后充入 14 托纯氙气。用冷挤压钳将热管炉封离真空系统。热管炉正常工作时, 中段出现约 6 厘米长的钾蒸气等温区。氙气被排挤到两端, 由于氙气的隔离保证了窗片不受钾蒸气的污染。热管炉的结构如图 2 所示。

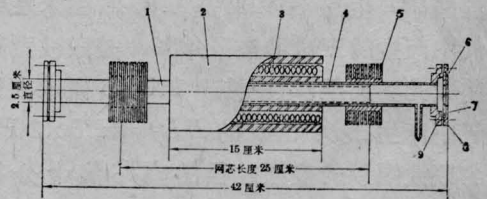


图 2 钾蒸气热管炉结构

1—炉管; 2—加热器外壳; 3—电热丝; 4—网芯; 5—散热器片; 6—窗片; 7—“O”圈; 8—盖板; 9—法兰盘

装置中所用摄谱仪为 Q-24 型, 摄谱时狭缝宽度为 0.1 毫米。光电倍增管为 GDB-52 型。在观测四波混频过程时, 光电倍增管前置有干涉滤光片, 其中心波长为 4047Å, 带宽 100Å, 用以滤去单色仪中的杂散光。平面镜 M_1 对 1.0648 微米全通过, 对 5324Å 全反射。平面镜 M_2 、 M_3 对 1.0648 微米全通过, 对染料激光 5870Å 全反射。透镜 L_2 和 L_3 焦距分别为 16.6 厘米和 26.5 厘米。

它们的作用是使 1.0648 微米和 5870Å 两束光同时聚焦在热管炉的中心。焦点处光斑半径分别为 4.5×10^{-2} 厘米 (1.0648 微米) 和 1.1×10^{-2} 厘米 (5870Å)。

实验结果

1. 光谱研究

图 3 为 Q-24 摄谱仪摄得的光谱。

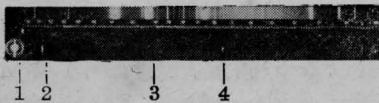


图 3 四波混合过程的光谱照相

1—染料激光; 2—1.0648 微米经碘酸锂的倍频光;
3—钾蒸气中四波混合的差频相干光; 4—1.0648 微米在钾蒸气中的三次谐波

所用干板为 Agfa 蓝快。摄谱时, 钾热管炉恒温于 300°C , 染料激光器调谐至差频相干光最强。共 4500 个激光脉冲曝光。标尺上面是汞谱线, 作波长定标参考。所摄得四条谱线波长分别为 5870\AA (估计)、 5324\AA 、 4052\AA 和 3550\AA 。显然, 5870\AA 为染料激光; 5324\AA 为 1.0648 微米的二次谐波 (由碘酸锂晶体产生); 3552\AA 是 1.0648 微米在钾蒸气中产生的三次谐波; 4052\AA 是四波混频的差频光。文献[2]中推出 1.0648 微米在钾蒸气中产生三次谐波的 $NL_c = 2.73 \times 10^{16}$ 。这与四波混频的差频过程的 NL_c 值十分接近。这两个过程的最佳温度十分接近, 可同时观测到。

2. 四波混合差频光和三次谐波与温度关系

图 4 为四波混合差频光相对强度与钾蒸气温度的关系。实验中染料激光调谐至信号最大。每一实验点为 15 个激光脉冲的信号的平均值。垂直线段表示 2σ (σ 为标准方差)。实验误差主要来源于 YAG:Nd 激光器和染料激光器的强度起伏。由实验曲线可求出最佳温度为 301°C 。可以求出此时钾蒸气中原子密度 $N = 4.83 \times 10^{15}$ 原子数/厘米³。

钾热管炉中部等温区长 6 厘米, 故 $L_c = 6$ 厘米。由以上实验数据计算得到 $NL_c = 2.9 \times 10^{16}$ 。考虑到实验误差, 可以认为与理论值 ($NL_c = 3.1 \times 10^{16}$) 是基本相符的。

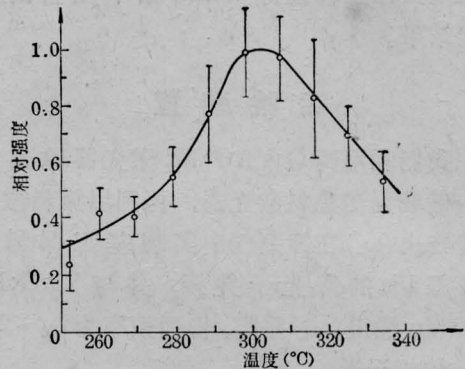


图 4 四波混合差频光相对强度与钾蒸气温度的关系

图 5 描述了 YAG:Nd 1.0648 微米激光的三次谐波相对强度与钾蒸气温度的关系。每一实验点为三次谐波最可几信号强度, 未计算其标准方差。由实验曲线求得最佳温度为 300°C 。求出 $N = 4.69 \times 10^{15}$ 原子数/厘米³。算得 $NL_c = 2.8 \times 10^{16}$ 。这与理论值 ($NL_c = 2.73 \times 10^{16}$) 也基本相符。

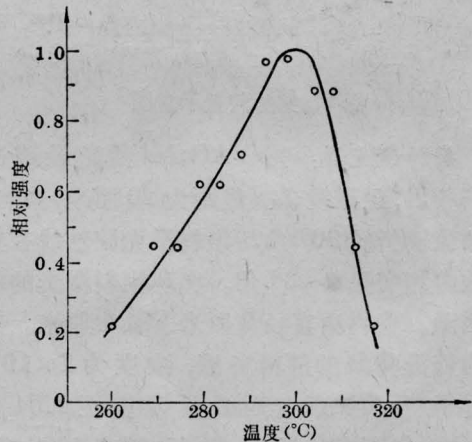


图 5 1.0648 微米三次谐波相对强度与钾蒸气温度的关系

3. 四波混合差频光相对强度与染料激光波长的关系

图 6 为四波混合差频光相对强度与染料激光波长关系的实验曲线。实验中染料激光

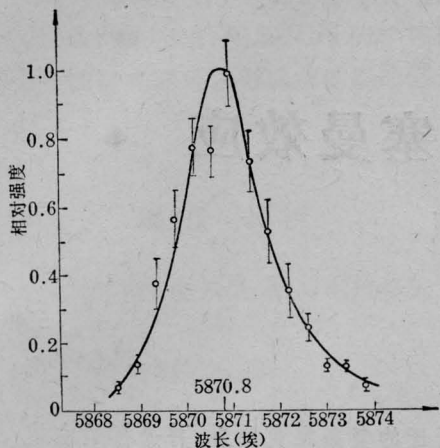


图6 四波混合差频光相对强度与染料激光波长的关系

波长的变化由精细调节光栅偏转角实现。波长改变量由光栅偏转角与染料激光波长关系曲线内插得到。每相邻实验点波长变化量为 0.42\AA 。实验过程中热管炉恒温于 297°C 。每一实验点为 15 个激光脉冲的信号的计算平均值。垂直线段表示 2σ (σ 为标准方差)。

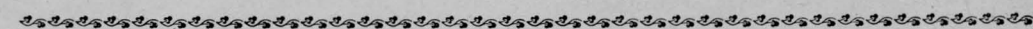
由实验曲线求得半极大值的全线宽为 2.2\AA 。远大于多普勒增宽 (0.017\AA) 和压力增宽 ($10^{-3}\sim 10^{-4}\text{\AA}$)。也比染料激光的线宽 (0.1\AA) 大得多。增宽的原因尚未进行详细

分析研究。我们相信双光子共振的饱和效应是原因之一。双光子共振的饱和效应在三次谐波的实验中多次观察研究过^[7,8]。双光子共振的饱和效应限制了转换效率的提高。在金属蒸气非线性效应的研究中必须加以考虑。

以上实验说明利用钾蒸气中双光子共振四波混合的差频效应, 获得了新的相干光。我们相信, 利用类似过程可以实现红外上转换。此外, 进一步压缩染料激光的线宽后, 可以利用这一过程对钾蒸气高激发态特性进行研究。

参 考 文 献

- [1] Y. R. Shen; *Rev. Mod. Phys.*, 1976, **48**, 1.
- [2] R. B. Miles *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1973, **QE-9**, 470.
- [3] V. G. Arkhipkin *et al.*; *Opt. Commun.*, 1978, **25**, 111.
- [4] A. Armstrong *et al.*; *Phys. Rev.*, 1962, **127**, 1918.
- [5] R. W. Minck *et al.*; *Appl. Phys.*, 1966, **5**, 1595.
- [6] C. R. Vidal *et al.*; *Appl. Phys.*, 1969, **40**, 3370.
- [7] Charles C. Wang *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1975, **35**, 650.
- [8] J. F. Ward *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1975, **35**, 653.



简 讯

成都市激光学会成立

为了繁荣科学, 检阅成果, 推动成都地区激光科学技术的发展, 成都市激光学会于 1979 年 10 月 24~27 日召开了成立大会, 参加会议的有成都地区从事激光科学技术研究、教学、生产、应用方面的 56 个单位的 115 人, 其中会员代表 82 人。

会议修改并通过了市激光学会章程, 民主选举了由 22 人组成的理事会。会议期间, 还传达了莫干山国家科委光学与应用光学学科组激光分组成立大

会精神, 介绍了国内激光发展概况。

会议共收到学术论文、实验报告等 60 篇, 并按激光器件、工业科研应用、医农应用三个方面分组进行了学术交流, 组织了专业参观。大会还对今后学会工作提出了基本意见, 激光器件、工业应用、科研应用和医疗应用四个专业委员会提出了今后的活动打算和安排。

(成都市科协 谢正德)