

强磁场下金属钠蒸气中二次谐波性质的研究

Abstract: We observed the relationship between the second harmonic of 4^2D-3^2S of Na vapor and the magnetic field. The intensity of harmonic is proportional to the square of magnetic field intensity for weak magnetic field. And for strong magnetic field, it is not proportional to the square of magnetic field intensity and tends to be saturated.

引言

金属蒸气由于具有中心对称性，故在电偶极矩近似下，二次谐波是不存在的或者说是极弱的。近几年来陆续出现了一些金属蒸气中二次谐波的报道^[1~3]。首先是在1977年Matsuoka^[1]报道了在横向直流磁场70高斯下钠蒸气 4^2D-3^2S 的二次谐波。实验是用闪光灯泵浦染料激光器调谐到该跃迁的双光子共振上。1983年Chen^[2]报道了在无外磁场下观察到钠蒸气中同一跃迁的二次谐波，并且确认了地磁场的作用。1981年Freeman^[3]报道了无外磁场下钠蒸气的二次谐波的存在，并提出了由多光子电离的电场所致。但是我们认为磁场的作用是主要的，在强磁场下二次谐波的强度是否仍然与磁场强度平方成正比，这个问题至今未见报道。我们研究了这个问题。

实验装置和结果

实验装置如图1所示。样品盒由 $\phi 20 \times 200$ 的石

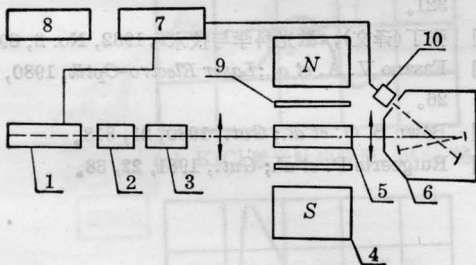


图1 实验装置方框图

- 1—染料调QNd:YAG激光器；2—KDP倍频器；3—染料激光；4—直流磁铁(0→1500高斯)；5—样品池；6—扫描单色仪；7—Boxcar积分器；8—X-Y记录仪；9—加热炉；10—光电倍增管(9684QB)

英管做成，先放在400°C炉内烘烤，并保持 10^{-6} Torr真空24小时，然后充进金属钠蒸气。实验时样品盒温度保持在450°C。用Nd:YAG倍频激光器浦激光染料(R590，输出激光波长在5630~6332Å之间)。激光功率约1MW。染料激光经聚焦透镜聚焦在样品池中心，光斑直径约1mm左右。二次谐波经扫描单色仪后进入光电倍增管，光电倍增管信号经Boxcar放大后进入X-Y记录仪记录。图2是X-Y记录仪记录的二次谐波信号。这信号的取得是先让扫描单色仪固定在2894Å，然后扫描调谐染料激光频率，当其波长在5787Å时二次谐波信号极大。图2是固定染料激光器输出波长在5787Å，然后扫描单色仪获得的二次谐波强度曲线。图4为二次谐波强度与磁场强度的关系。每变一个磁场强度做约50次实验，然后用最小二乘法处理数据，并取磁场900高斯时的二次谐波强度为1，作出二次谐波与磁场强度的关系曲线。图5是二次谐波和5787Å激光的时谱。时谱是由光电倍增管和示波器进行观察的。从图5可以知道二次谐波的脉宽较窄，而形状相似。

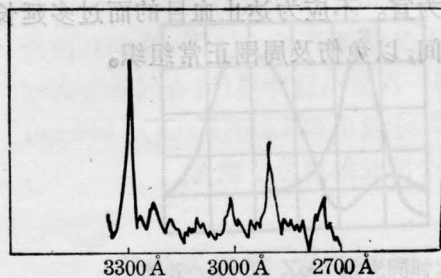


图2 二次谐波波形
(只扫描激光频率)

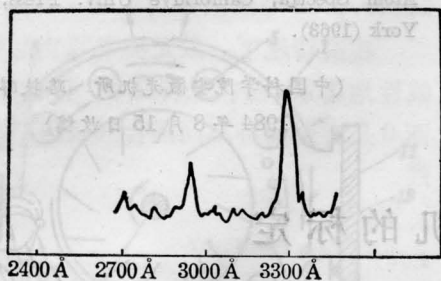


图3 二次谐波波形
(只扫描单色仪)

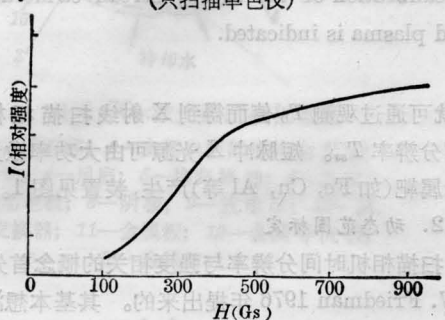
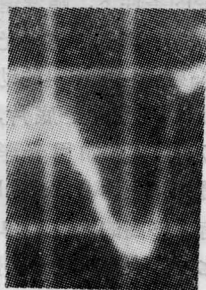
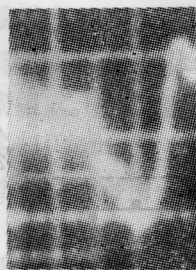


图4 二次谐波相对强度与磁场强度的关系



(a) 染料激光 $\lambda=5787 \text{ \AA}$ 时谱
脉宽 $\Delta t \approx 30 \text{ ns}$



(b) 二次谐波 $\lambda=2894 \text{ \AA}$ 时谱
脉宽 $\Delta t \approx 26 \text{ ns}$

图5 染料激光和二次谐波时谱

讨论

1. 二次谐波产生机理讨论

由于金属蒸气各向同性, 所以也就是说金属蒸气里没有二次谐波存在。若存在横向外磁场, 可能是由于四极矩的参加而导致产生二次谐波的。假设泵浦光沿 z 轴传播时, 始态 $|f\rangle$ 的量子数为 f_0 , 终态 $|g\rangle$ 的量子数为 g_0 。初态波函数为 $|f\rangle$, 终态波函数为 $|g\rangle$ 。据 Condon^[4] 指出, Q_0 、 $Q_{\pm 2}$ 没有沿 z 轴方向传播的辐射, 只有四极矩 $Q_{\pm 1}$ 分量才有 z 方向的辐射。当无外场时, $\langle g|Q_{\pm 1}|f\rangle=0$; 当存在外磁场时, 由于相互作用项使态发生混合即:

$$|g'\rangle = |M_{g_0}\rangle + |M_{g_0\pm 1}\rangle$$

$$|f'\rangle = |M_{f_0}\rangle + |M_{f_0\pm 1}\rangle \quad (3)$$

此时 $\langle f'|Q_{\pm 1}|g'\rangle \neq 0$, 也就是电四极矩分量 $Q_{\pm 1}$ 跃迁在 z 方向上辐射不为零, 导致产生沿 z 轴方向传播的二次谐波。

2. 实验现象分析

从图4可以看出, 当外磁场小于300高斯时, 二次谐波的强度正比于磁场强度平方。当外磁场大于900高斯时, 二次谐波强度趋向饱和。从前面关于产生二次谐波机理分析时可以看到, 二次谐波的产生来自于态的混合, 这种混合是有限的。当终态和初态完全混合时, 再继续增加磁场强度, 很自然就会出现饱和现象, 这正是这种机制的必然结果。

3. 从图2、图3可以看到二次谐波的频宽较宽, 有几个 \AA 量级。染料激光的频宽很窄, 一般只有 0.09 \AA 。为什么二次谐波的频宽比泵浦光大得多, 至今还未清楚。

4. 从图2和图3可以看到在 3300 \AA 附近出现一个强峰, 是一个很强的背景, 对测量影响很大, 在做这实验时必须借助于 F-P 标准具方能把二次谐波分离出来。如在做图2实验时必须用光电倍增管前加 2894 \AA F-P 干涉滤光片。在做图3曲线时就得小心选择泵浦光功率, 同时也必须在光电倍增管前加 2894 \AA 干涉滤光片。即使如此仍然观察到 3300 \AA 的波峰。这个波峰可能来自于一种相干受激辐射。

参 考 文 献

- [1] M. Matsuoka *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1977, **38**, 894.
- [2] Chen Tian-Jie; Thesis, Columbia Univ. in New

York City (1983).

[3] R. R. Freeman *et al.*; Laser Spectroscopy V (Proceedings of the 5th International Conference), 1981, p. 453.

[4] E. U. Condon, G. H. Shortley; The Theory of

Atom Spectra, Cambridge Univ. Press, New York (1963).

(中国科学院安徽光机所 路轶群

1984年8月15日收稿)

X 射线扫描相机的标定

Abstract: The interaction of laser light with plasma is described which offers X-rays directly or indirectly. The specifications as well as the calibration of the X-ray streak camera are presented. Its physical application in laser produced plasma is indicated.

激光与等离子体相互作用过程都直接或间接参与激光等离子体发射的 X 射线。其标尺长度为几微米到几百个微米，特征时间为几个微微秒到几百个微微秒。因此诊断 X 射线时间分辨过程的仪器装置必须有微微秒到几百个微微秒的时间分辨率。X 射线扫描相机就是专门为此目的设计研制的。

X 射线扫描相机正式使用前，应进行时间分辨率、动态范围、扫描线性、触发抖动和反射镜、滤光片等谱分辨装置结合进行定量强度、线性输出范围的标定。

1. 时间分辨率标定

X 射线扫描相机的时间分辨率定义为 δX 光源输入，相应接收讯号最大值一半处的宽度 (FWHM) 值。具体测量是把一个足够短的 X 光脉冲输入到扫描相机光阴极上，在时间分析器上显示出 X 光脉冲强度随时间的变化，由此可读出 FWHM 值。

如果扫描相机系统的时间分辨率为 T_{ss} ，入射 X 光脉冲宽度为 T_{ei} ，则扫描相机输出的脉冲宽度 T_o 为

$$T_o = (T_{ss}^2 + T_{ei}^2)^{1/2} \quad (6)$$

这里假设脉冲讯号为高斯分布。所以如果 T_{ei} 已

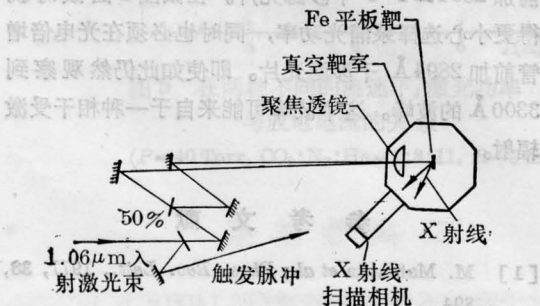


图1 X 射线扫描相机时间分辨特性标定装置

知，就可通过观测 T_o 值而得到 X 射线扫描相机的时间分辨率 T_{ss} 。短脉冲 X 光源可由大功率激光辐照金属靶 (如 Fe, Cu, Al 等) 产生，装置见图 1。

2. 动态范围标定

扫描相机时间分辨率与强度相关的概念首先是由 W. Friedman 1976 年提出来的。其基本想法是增加具有恒定脉冲宽度的入射光脉冲强度，输出脉宽加宽。动态范围定义为在输入光脉冲宽度 (FWHM 值) 不变的条件下，随着输入脉冲光强增加，输出脉冲宽度增加 20%，输入光脉冲强度相应变化的值定义为 X 射线扫描相机的动态范围，见图 2。若记录输出光脉冲的元件是底片，则动态范围的下限为底片的灰雾度；如用光学多道分析器 (OMA)，动态范围的下限为 OMA 的噪声水平。当扫描相机系统具有足够高的增益，单个光电子输入就足以产生一个比噪声大得多的讯号，这时，上面谈到的定义就失去意义。实用的动态范围，下限可考虑为扫描相机最小可探测量。

扫描相机动态范围标定装置图见图 3。单个微

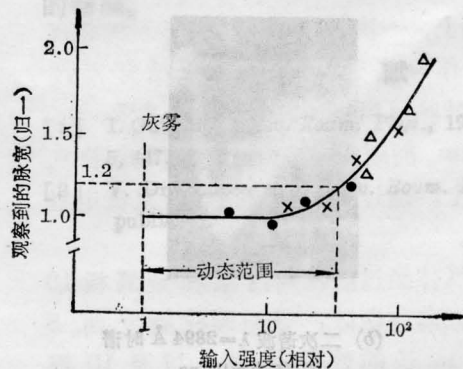


图2 X 射线扫描相机动态范围概念