

液态空气的受激喇曼散射

杨经国 刘新民 杜定旭 余学君 罗 好 周仲壁

(四川大学物理系)

提要: 使用染料调Q红宝石激光器激发液态空气的受激喇曼散射(SRS), 在0.5247~1.0256微米的范围内获得基本上等频差间隔的十三条辐射线。

Stimulated Raman scattering in liquid air

Yang Jingguo, Liu Xinmin, Du Dingxu, Yu Xuejun, Luo Yu, Zhou Zhongbi

(Department of Physics, Sichuan University)

Abstract: SRS of liquid air was pumped by a ruby laser using dye for Q-switching. The obtained SRS spectrum consists of 13 lines from 0.5247 μm to 1.0256 μm .

引 言

当强激光场与混合介质相互作用时, 除可能激发各混合组分的“SRS”外, 尚可同时出现各单质间的喇曼混频。Stoicheff^[1]首先在苯与二硫化碳混合液中得到这种混频。Kaiser^[2]等则用苯及硝基苯混合液得到喇曼混频输出; 他们发现, 仅当二者混合比在45~55%之间时出现混频谱。有机液体中光束的自聚焦以及强烈的受激布里渊后散射, 严重干扰了喇曼混频。

Grun^[3]等曾仔细研究了液O₂及液N₂中的受激喇曼散射, 他们发现液O₂、液N₂的“SRS”阈值很低, 而且不存在自聚焦及后向布里渊散射干扰。这预示利用液O₂、液N₂混合体——液态空气进行喇曼混频是可取的。我们使用染料调Q红宝石激光器在液

O₂、液N₂混合液中激发了一组十分丰富的喇曼混频谱, 不难辨认, 正好是液O₂、液N₂的较低阶喇曼混频模。

实验装置及主要实验结果

所用实验装置如图1。红宝石激光器用隐花菁乙醇溶液(6943 Å透光率~40%)调Q, 输出能量约0.5焦耳, 脉宽约30毫微秒。低温杜瓦瓶通光长度为15厘米, 内盛液O₂、液N₂混合液(液化空气), 使用小型摄谱仪记录光谱(6943 Å附近倒色散率~170 Å/毫米), 用鲁末-盖克板测量线宽($d=4.45$ 毫米, $\mu_v=1.5086$)。分束器1、2分别用于测量入射激光能量、脉宽及后散射观察。经摄谱仪色散后各分量由光阑分隔测量能量、脉宽。

收稿日期: 1982年10月5日。

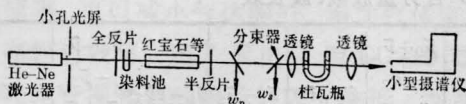


图1 实验装置简图

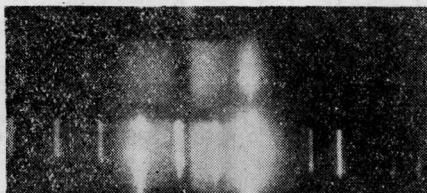


图2 液态空气“SRS”谱

当杜瓦瓶内盛一定比例液 O_2 、液 N_2 混合液时, 摄得“SRS”光谱图(见图2), 上排为 6328 \AA He-Ne 激光谱线, 中排为未调 Q 红宝石激光的 6943 \AA 谱线(因未超过“SRS”阈值, 未产生“SRS”谱)以及氙灯背景, 下排为液态空气在调 Q 红宝石激光激发下产生的“SRS”谱, 自左至右波长由短到长。

作为对比, 摄下了纯液 N_2 的“SRS”谱, 见图3(彩色插页)。用鲁木板测量了液 N_2 的斯托克斯线宽约为 0.05 厘米^{-1} , 比 Clement^[4] 所得结果稍小。测量了一阶斯托克斯能量转换率约为 9.3% , 二阶斯托克斯能量转换率约为 10.0% 。

静置液态空气数小时(敞开放杜瓦口), 液 N_2 先蒸发到一定时候, 液态空气“SRS”谱将为纯液 O_2 的“SRS”谱所取代, 摄下的纯液 O_2 “SRS”谱见图4(彩色插页)。

改变入射激光功率, 在我们所能达到的最大激光功率密度下($\sim 100 \text{ 兆瓦/厘米}^2$) 没有观察到任何后向散射(包括后向“SRS”及“SBS”)。也未发现样品池窗口有任何破损情况。而在有机液体的受激散射中, 由于有机液体中光束的自聚焦及随之而来的强烈布里渊后向散射, 经常使窗口受破坏。

液态 O_2 、 N_2 混合体的“SRS”谱图见图5(彩色插页)。从光谱图上可以很容易地辨认各谱线和分析图谱线关系, 可看到液态空气“SRS”的丰富的混频模式。

混合介质的喇曼混频

以上实验结果容易从喇曼混频得到解释。设频率为 $\tilde{\nu}_0$ 的激光场入射到喇曼模分别为 $\tilde{\nu}_1$ 、 $\tilde{\nu}_2$ 的混合介质上, 首先激发起各组分子的受激喇曼散射, 得到各组分的一阶斯托克斯及反斯托克斯辐射频率为: $\tilde{\nu}_0 \pm \tilde{\nu}_1$ 和 $\tilde{\nu}_0 \pm \tilde{\nu}_2$ 。当激光足够强, 则还可产生二阶斯托克斯及反斯托克斯辐射, 其频率分别为: $\tilde{\nu}_0 \pm 2\tilde{\nu}_1$ 和 $\tilde{\nu}_0 \pm 2\tilde{\nu}_2$ 。

与此同时, 各组分分子产生的斯托克斯及各反斯托克斯辐射在介质中将激发混合介质中的其它组分分子, 在由两种不同组分构成的混合介质中就可能出现以下混频模式, 其频率分别为:

$$\begin{aligned} &\tilde{\nu}_0 \pm \tilde{\nu}_1 \pm \tilde{\nu}_2 \quad (\text{或 } \tilde{\nu}_0 \pm \tilde{\nu}_2 \pm \tilde{\nu}_1) \\ &\tilde{\nu}_0 \pm 2\tilde{\nu}_1 \pm \tilde{\nu}_2, \quad \tilde{\nu}_0 \pm 2\tilde{\nu}_2 \pm \tilde{\nu}_1 \\ &\dots\dots \end{aligned}$$

前一组为最低阶喇曼混频模, 出现几率最大, 其中 $\tilde{\nu}_0 \pm \tilde{\nu}_1 \pm \tilde{\nu}_2$ 与 $\tilde{\nu}_0 \pm \tilde{\nu}_2 \pm \tilde{\nu}_1$ 代表着不同的物理过程, 但不出现新的谱线。后一组出现的几率较小。

在我们的实验中,

$$\tilde{\nu}_0 = 14403 \text{ 厘米}^{-1},$$

$$\tilde{\nu}_1(\text{液 } O_2) = 1552.0 \text{ 厘米}^{-1},$$

$$\tilde{\nu}_2(\text{液 } N_2) = 2326.5 \text{ 厘米}^{-1},$$

即可算出液态空气较低阶“SRS”模的波长、频率(以波数 厘米^{-1} 为单位), 所得结果见表1。由表1可见, 各谱线频差分别为 777.5 厘米^{-1} 及 774.5 厘米^{-1} , 即基本上是等频差间隔。

对比图3、4、5容易看出, 图3中最左线为液 N_2 的二阶反斯托克斯线, 最右线为液 N_2 的二阶斯托克斯线, 即 $\tilde{\nu}_0 + 2\tilde{\nu}_2$ 和 $\tilde{\nu}_0 - 2\tilde{\nu}_2$; 类比后不难分辨出其余各谱线的波数, 波长由表1列出。图2中 $\tilde{\nu}_0 - 2\tilde{\nu}_1$ 及 $\tilde{\nu}_0 - \tilde{\nu}_2 + \tilde{\nu}_1$ 二线较弱, 都不大清楚, 其余表1中所列11条谱线清晰可见。一般说来, 感光胶片

表1 红宝石激光激发液态空气“SRS”各分量波数、波长表

模式	$\tilde{\nu}_0+2\tilde{\nu}_2$	$\tilde{\nu}_0+\tilde{\nu}_1$ $+\tilde{\nu}_2$ $(\tilde{\nu}_0+\tilde{\nu}_2$ $+\tilde{\nu}_1)$	$\tilde{\nu}_0+2\tilde{\nu}_1$	$\tilde{\nu}_0+\tilde{\nu}_2$	$\tilde{\nu}_0+\tilde{\nu}_1$	$\tilde{\nu}_0-\tilde{\nu}_1$ $+\tilde{\nu}_2$ $(\tilde{\nu}_0+\tilde{\nu}_2$ $-\tilde{\nu}_1)$	$\tilde{\nu}_0$	$\tilde{\nu}_0+\tilde{\nu}_1$ $-\tilde{\nu}_2$ $(\tilde{\nu}_0-\tilde{\nu}_2$ $+\tilde{\nu}_1)$	$\tilde{\nu}_0-\tilde{\nu}_1$	$\tilde{\nu}_0-\tilde{\nu}_2$	$\tilde{\nu}_0-2\tilde{\nu}_1$	$\tilde{\nu}_0-\tilde{\nu}_1$ $-\tilde{\nu}_2$ $(\tilde{\nu}_0-\tilde{\nu}_2$ $-\tilde{\nu}_1)$	$\tilde{\nu}_0-2\tilde{\nu}_2$
波数 (厘米 ⁻¹)	19056.0	18281.5	17507.0	16729.5	15955.0	15177.5	14403.0	13628.5	12851.5	12076.5	11299.0	10524.5	9750.0
波长 (微米)	0.5248	0.5470	0.5712	0.5977	0.6267	0.6588	0.6943	0.7337	0.7781	0.8280	0.8850	0.9501	1.0256

在 7000 Å 以上感光性能很差,实际上几乎所有的斯托克斯辐射主要是由于强辐射的热作用而留下了痕迹。

结 束 语

以调 Q 红宝石激光在液态空气中激发的这组受激喇曼辐射,其频率精确已知,线宽很窄,强度很高,13 条谱线均匀展布在 0.5247~1.0256 微米的宽广波段上。当用 1.06 微米的 YAG 激光激发时,则可能获得低阶喇曼混频谱,波长从 0.7098 微米延展到 2.0920 微米。用倍频 YAG 激光激发,则波长范围可在 0.4251~0.7035 微米均匀展布。这样丰富的喇曼辐射谱,可考虑用作一种多波长激光光源,也可用作可见光区与近红外区一种方便的校准光源。

液态空气和液 O₂、液 N₂ 一样,在受激喇曼散射过程中没有自聚焦及受激布里渊散射

干扰,从而研究“SRS”特别是“SRS”混频的好介质。实验中发现随组分混合比的变化,“SRS”光谱可在液 O₂、液 N₂ 以及混频等模式之间变化,曾试图用低温温度的测量和控制来监测和控制组分变化,但由于所用低温温度计读数严重漂移,未得到准确结果。适当控制混合组分比例,可以抑制或加强某些模式,为避免混合组分变化,也可采用前后分别放置以实现混频。

感谢刘广仪、杨启纲两同志在低温技术方面的有益帮助。

参 考 文 献

- [1] B. P. Stoicheff; *Phys. Lett.*, 1973, **7**, 186.
- [2] W. Kaiser, M. Maier; *Appl. Phys. Lett.*, 1965, **2**, 25.
- [3] J. B. Gran et al.; *Phys. Rev.*, 1969, **180**, 61.
- [4] W. R. L. Clements, B. P. Stoicheff; *Appl. Phys. Lett.*, 1968, **12**, 246.