

# 核泵浦 $^3\text{He-Ne}$ 激光增益实验

金行星 武楷书 钟华铭 陈涵德

(中国工程物理研究院核物理与化学研究所, 成都 610003)

**摘要:** 在稳态核反应堆上, 测定了热中子辐照下,  $^3\text{He-Ne}$  激光体系( $P_{\text{He}}:P_{\text{Ne}}=5:1$ ,  $P_{\text{总}}=4\times 10^4\text{Pa}$ )的增益系数( $\lambda=632.8\text{nm}$ , 跃迁  $3S_2-2P_4$ )。当热中子通量为  $2\times 10^{12}\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$  时, 其增益系数为  $1.7\times 10^{-2}/\text{cm}$ 。研究了增益系数随热中子通量的变化关系, 讨论了温度对增益的影响。实验表明核泵浦  $^3\text{He-Ne}$  体系有可能实现激射。

**关键词:** 核泵浦, 增益系数, 氦-氖激光

## Gain test of nuclear-pumped $^3\text{He-Ne}$ laser

*Jin Xingxing, Wu Kaisu, Zhong Huaming, Chen Hande*

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics, Chengdu 610003)

**Abstract:** Laser gain( $\lambda=632.8\text{nm}$ , transition  $3S_2-2P_4$ )of  $^3\text{He-Ne}$  laser system ( $P_{\text{He}}:P_{\text{Ne}}=5:1$ ,  $P_{\text{total}}=4\times 10^4\text{Pa}$ ) radiated by thermal neutron from steady operation reactor is measured. The measured gain coefficient is  $1.7\times 10^{-2}/\text{cm}$  at thermal neutron flux of  $2\times 10^{12}\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$ . Gain curve vs flux of thermal neutron is investigated. The influence of temperature on gain is discussed. The test shows the possibility of lasing from nuclear-pumped  $^3\text{He-Ne}$  laser system.

**Key words:** nuclear-pumped, gain coefficient, He-Ne laser

### 一、引 言

在稳态堆上获得激光输出, 是多年来核泵浦激光研究中极为关注的问题, 它与脉冲堆泵浦激光相比, 能连续稳定输出激光, 虽然输出功率较低, 但对核泵浦激光的原理性探索是很重要的。 $^3\text{He-Ne}$  体系是人们从事核泵浦激光研究工作中最早涉及的体系之一。

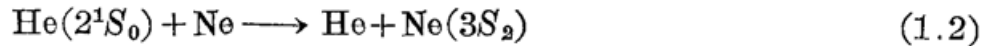
为了证明实现核泵浦  $^3\text{He-Ne}$  激光的可能性并了解激射条件, 对这一体系激光增益的测量显然是十分重要的。本工作利用 3MW 池式热中子实验研究堆, 采用双程光路测到了核泵浦  $^3\text{He-Ne}$  激光增益, 从实验上证实了  $^3\text{He-Ne}$  体系在稳态堆实现激射的可能性。

众所周知, 当热中子进入  $^3\text{He-Ne}$  混合气体时, 与  $^3\text{He}$  原子发生如下核反应:



产生的高能带电粒子质子(0.57 MeV)和氦核(0.19 MeV)在气体中慢化时使气体原子激发和

电离, 形成等离子体态。亚稳态  $\text{He}(2^1S_0)^*$  原子与基态  $\text{Ne}$  原子碰撞发生下列共振能量转移过程:



使  $\text{Ne}$  的  $3S_2$  态得到选择性布居从而在  $3S_2$  与  $2P_4$  间建立了粒子数反转。当波长为  $632.8 \text{ nm}$  的激光通过这种混合气体时, 将按如下规律得到放大:

$$I = I_0 e^{GL} \quad (1.3)$$

式中  $I$ ,  $I_0$  分别为出射和入射光强,  $L$  为激光通过介质的长度,  $G$  为增益系数。

文献[1, 2]报道了美国佛罗利达大学 Carter 等人最先实现了稳态反应堆  $^3\text{He-Ne}$  激射, 所用热中子通量范围为  $2 \times 10^5 \sim 2 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ , 放大管由水冷却不锈钢组成, 内充  $^3\text{He-Ne}$  (5:1) 混合气体, 总压力为  $4 \times 10^4 \text{ Pa}$ , 在热中子通量为  $2 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  时, 得到增益系数为  $2 \times 10^{-2} / \text{cm}$  和微瓦级的激光输出。但 Prelas<sup>[3]</sup> 等人对此提出异议, 他们根据 Wilson 和 De Young 的理论<sup>[4]</sup> 算出理想情况下增益系数的上限为

$$G_{\max} = 1.57 \times 10^{-2} / \text{cm} \quad (1.4)$$

而实际情况应比它还要小 2 到 3 个量级, 所以他们认为这一体系不可能发出  $632.8 \text{ nm}$  的激光。Carter 等人又认为 Prelas 所用的计算模型有误<sup>[5]</sup>, 双方各持己见。其后已很少有人在这类堆上做类似的研究。

## 二、实验装置

实现激光放大的关键技术是放大管的设计及混合气体的组成。我们使用的混合气体, 其  $^3\text{He}$ 、 $\text{Ne}$  压力比为 5:1, 总压力为  $4 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。由计算得到, 质子和氦核在此种气体内的射程  $R_{p,T} \leq 2 \text{ cm}$ , 为使它们的大部分能量沉积在气体中, 我们采用放大管直径  $\phi 3 \text{ cm}$ , 考虑到堆切向孔道的中子场分布, 取管长  $21.5 \text{ cm}$ 。在额定功率下运行时, 切向孔道可提供热中子通量范围  $2 \times 10^8 \sim 2 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 。根据切向孔道结构特点, 采用双程光路测量增益。通过实验筛选出一种石英布儒斯特窗片, 厚度为  $2 \text{ mm}$ , 它们经过高中子通量辐照后, 透射率仍大于  $80\%$ 。

实验光路如图 1 所示, 探针激光光源为一工业用电激励  $\text{He-Ne}$  激光器(1), 它发出一束  $632.8 \text{ nm}$  激光, 经过衰减片(3)后由一半反射镜(7)分为两束, 其中一束由一 R456 光电倍增管(4)接收; 另外一束射入切向孔道, 经放大管

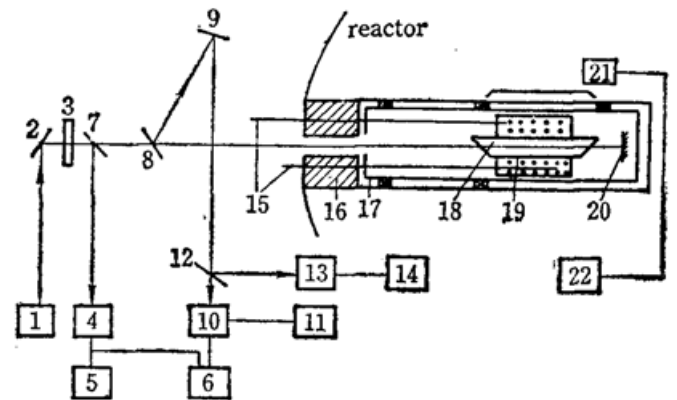


Fig. 1 Experimental arrangement

1—He-Ne laser; 2, 9—high-reflective mirror; 3, 8, 12—partial-reflective mirror; 4, 10—photomultiplier; 5, 11—millivoltmeter; 6, 14, 22—plotter; 3—attenuator; 13—monochromator; 15—cool-water pipe; 16—shield; 17—aluminium pipe; 18—amplifier; 19—cooling water; 20—high-reflective Al mirror; 21—ionization chamber

(18) 后由一铝反射镜(20)沿原路反射回到半反射镜(8)处, 再经反射镜(9)、(12)由另一 R456 光电倍增管(10)接收, 其中一部分经 44W 型平面光栅单色仪(13)扫描。两个光电倍增管的输出

注\* He 的能级为 LS 的耦合光谱项, Ne 的能级为帕邢符号。

信号分别由两个 DT890 电压表(5)、(11)读数并由一个 XWT 型双笔描图仪描图。中子通量由一电离室(21)记录。

### 三、实验结果与讨论

#### 1. 入射、出射光、中子通量随时间的关系

图 2 给出了实验中,入射光强、出射光强与中子通量的时间关系,可以看到,入射光强在中子通量的变化过程中基本保持稳定,而出射光强随中子通量的上升而同步增加,有明显的增益现象。当中子通量达到峰值并稳定后,增益不再增加并同时保持稳定,光强增加量为原来的 2.2 倍。

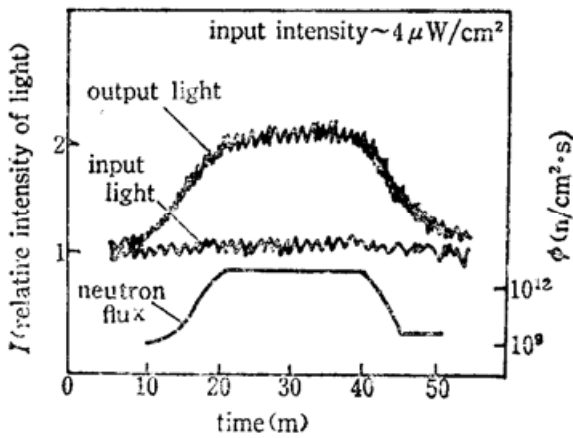


Fig. 2 Time dependence of input intensity, output intensity and neutron flux

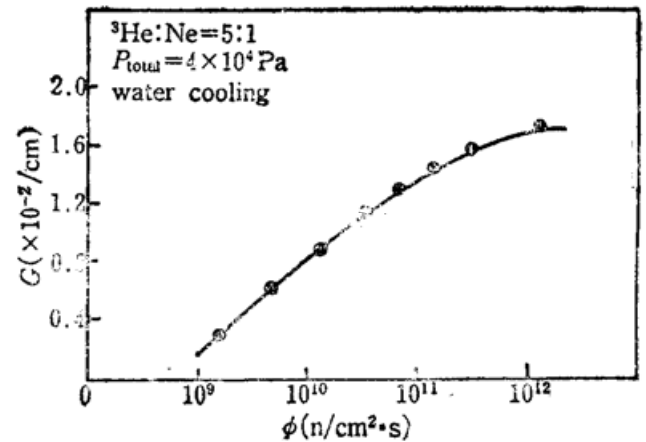


Fig. 3 Gain coefficient as a function of neutron flux

#### 2. 增益系数与中子通量的关系

图 3 给出了增益系数随中子通量的变化曲线( $G-\phi$  曲线), 当中子通量达到峰值( $2 \times 10^{12}$   $n/cm^2 \cdot s$ )时, 增益系数为  $1.7 \times 10^{-2}/cm$ , 此时入射光强约为  $4 \mu W$ 。这在实验误差内与佛罗里达大学的结果相似。由于中子通量峰值所限, 本实验未能测到更高中子通量下的增益变化情况。当增加入射光强时( $I_0 \sim 20 \mu W$ ), 增益系数有明显下降( $4.0 \times 10^{-3}/cm$ )。鉴于实验中噪声对测量系统的干扰, 特别是孔道内温度不均匀造成的大气湍流现象对光束的影响, 入射光强再小时, 测量误差较大。因此, 欲测量小信号增益系数需做进一步的实验。

#### 3. 温度对增益的影响

增益随激活介质温度的变化十分明显, 由表 1 可以看出随激活介质温度的降低增益系数有明显的增加。

Table 1 Influence of temperature on gain coefficient at neutron flux of  $C=2 \times 10^{12}/cm \cdot s$

No	$G (cm^{-1})$	$T$	Interpretation
1	$1 \times 10^{-3}$	$\sim 60^\circ C$	uncooled
2	$4.5 \times 10^{-3}$	$\sim 50^\circ C$	uncooled but good thermodiffusion
3	$1.7 \times 10^{-3}$	$\sim 7^\circ C$	water-cooled

参加本项工作的还有任兴碧、刘冬燕、马振泽、杨庚辰、杨维东、胡泽春、刘晓亚、李晓燕等同志。

对本实验中给予大力协作与紧密配合的王国忠、焦景龙、王建中等同志及反应堆运行组、机械组的同志表示感谢。

本工作得到傅依备所长的关心和支持,也得到了江文勉、赵鹏骥、王立校、万国彦等同志的支持与有益讨论,特此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 1 B. D. Carter *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **29**(3), 188(1976)
- 2 B. D. Carter *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **36**(2), 5(1980)
- 3 M. A. Prelas *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **52**(1), 496(1981)
- 4 J. W. Wilson *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **49**(3), 980(1978)
- 5 R. T. Schneider *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **52**(11), 6980(1981)

---

## 光学前沿问题讨论会在云南省召开

1992年4月10日至15日,中国光学学会在云南省组织了光学前沿问题讨论会,19所高校和研究所的40名光学专家参加。采取报告、讨论相结合的方式。提出的报告有33篇,它们都是当前光学中的一些新课题,按内容大致分如下几方面:(1)光学材料;(2)光学元件;(3)量子光学;(4)光本性;(5)光学应用。邓锡铭的“有限束宽动力学”、王润文和雷仕湛的“量子光学中算符的新应用”、北京大学物理系龚旗煌的“足球烯系列非线性和光学性质”、物理所陈岩松的“二元光学”、北京大学物理系杨葭荪的“衍射的旋量理论”、安光所周士康的“原子、分子的物质波干涉”、西北大学张纪岳的“光学系统的不稳定性与混沌”等报告,在同行中引起了浓厚兴趣。讨论会为大家提供了当前光学研究发展情况的信息,开阔了大家的思路,扩展了研究光学的道路。

(纪 钟)