

# 喇曼自由电子激光器辐射规律的实验研究

褚成 陆载通 施瑞根 张立芬  
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

我们对喇曼自由电子激光器输出的辐射信号进行了系统的测试,获得的数据曲线与理论计算结果完全符合。由此给出了激光器最佳工作参数区域,为提高器件的运转水平创造了条件。

本简报报道了在喇曼自由电子激光器<sup>[1]</sup>上进行的辐射规律研究结果。我们发现实验结果与理论计算<sup>[2]</sup>以及国外类似器件实验结果<sup>[3]</sup>是符合的。实验测试辐射参数的设计考虑可参见文献[4]。

图1给出了采用实心电子束及铁环波荡器<sup>[5]</sup>所得的实测曲线和相应参数条件下数值计算结果<sup>[2]</sup>。相应工作条件是:二极管阴阳极间距 $d_{A-K}=5\text{mm}$ ,电子束流(实测值) $I_b\approx 100\text{A}$ ,电子束相对论因子 $\gamma$ (实测值) $\approx 2$ ,电子束直径 $\phi_b=6\text{mm}$ ,漂移管直径 $\phi_d=20\text{mm}$ ,铁环波荡器周期 $\lambda_w=22.5\text{mm}$ 。计算条件除以上参数外,还有:波荡场与引导场之比 $B_w/B_0=0.05$ <sup>[6]</sup>。顺便指出,空心电子束运输时(图2)大部分参数同上,只是电子束截面外径 $\phi 16\text{mm}$ 厚 $1\text{mm}$ ;电子束流 $I_b\approx 800\text{A}$ 。计算时取 $B_w/B_0=0.10$ 。图1中自上而下给出了激光波长 $\lambda$ (理论计算值)。正比于激光增益的电子横向相对速度 $\beta_{\perp}$ (理论计算值), $8\text{mm}$ 标准波导管(截止波长 $\lambda_c=14\text{mm}$ )接收辐射信号峰值 $P$ (实测值)及碳斗测得的激光能量 $E$ (实测值)随引导磁场 $B_0$ 变化的情况。从测得全频谱能量来看,在 $B_0=9.6\text{KG}$ 左右有一较平缓的峰,在 $B_0=6.4\text{KG}$ 处有一很尖锐的峰;而从波导管测得 $\lambda<14\text{mm}$ 的信号幅度来看,在 $B_0=9.6\text{KG}$ 处的峰仍然存在,且很相似,而 $B_0=6.4\text{KG}$ 附近则呈现异常,测不出正常信号,只有一些杂乱的干涉波形,该干扰波形经过X剂量仪的检验测试,证实是由于该处电子束纷纷打到漂移管壁上引起检波器壁面电位扰动造成的。与理论计算比较发现: $8\text{KG}<B_0<11\text{KG}$ ,这个区域恰相应于既满足辐射波长 $\lambda<14\text{mm}$ ,同时又满足 $0.15<\beta_{\perp}<0.4$ 。美国海军实验室 Jackson 等人的实验研究工作也发现<sup>[3]</sup>,只有在 $0.13\sim 0.18<B_{\perp}<0.34$ 的范围内才有较大激光辐射, $B_{\perp}$ 太小则增益太小, $\beta_{\perp}$ 太大则造成电子束热化(thermalization)也导致增益低于阈值。由此可见我们的结论和他们一致。另一方面,理论计算指出, $B_0=6.6\text{KG}$ 为电子回旋共振点,此处附近的一个狭小区域(宽度 $<1\text{KG}$ )中,电子横向速度过大,以致不能给出自由电子激光性质的辐射。至于图1中给出的全频谱能量 $E$ 在该处的 $\lambda>14\text{mm}$ 的尖峰,估计是由于这种电子回旋速度的急剧增长引起的 Gyrotron 辐射。对该峰进一步的细致的波谱测试(厘米波段)正在进行,结果将另文发表。

类似地,我们对采用空心电子束的场合也作了理论计算及实验研究,同样符合得很好,

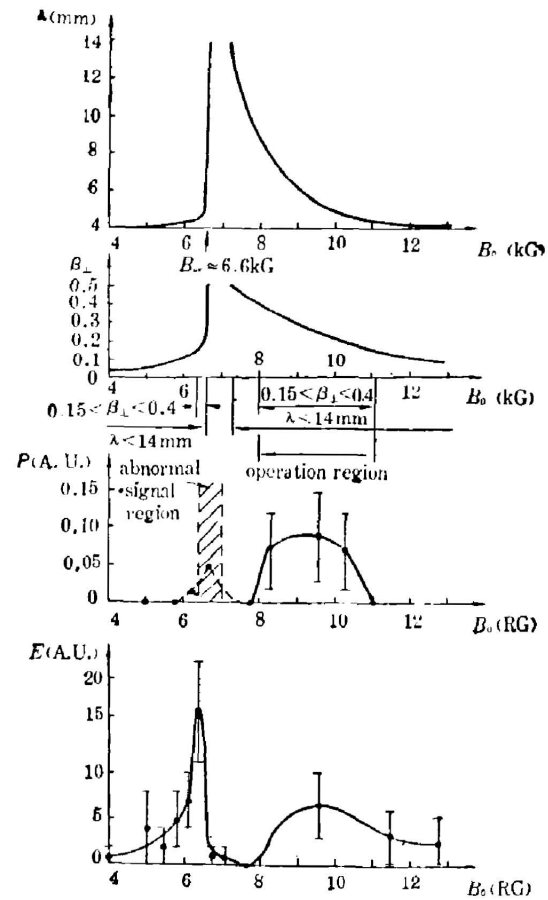


Fig. 1 Comparison between theoretical calculations and experimental measurements of radiation rule of the Raman free-electron laser, with solid e-beam

From upper to lower:  $\lambda$ , radiation wavelength (theory);  $\beta_1$ , transverse velocity of electrons/velocity of light (theory);  $P$ , peak of radiation signal detected by 8-mm standard waveguide (cutoff wavelength: 14 mm);  $E$ , energy of radiation pulse measured by a calorimeter

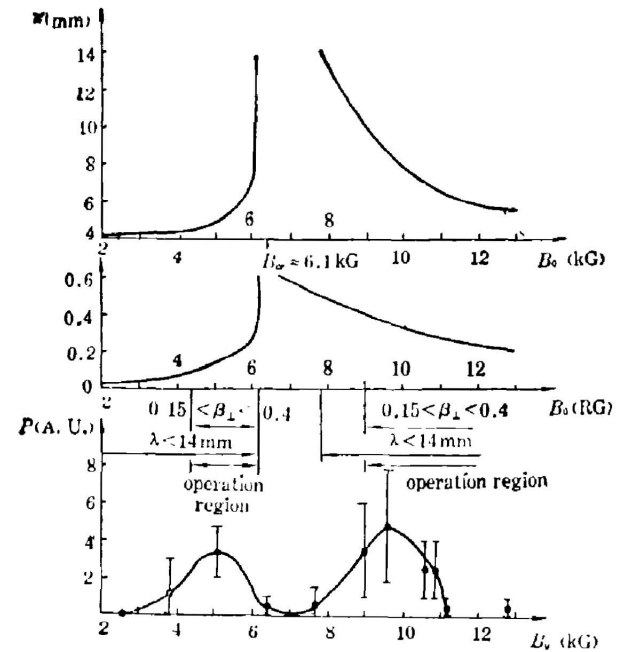


Fig. 2 Comparison between theoretical calculations and experimental measurements of radiation rule of the Raman free-electron laser, with hollow e-beam definitions of parameters, see Fig. 1

结果归纳示于图 2, 其中参数定义同图 1。与前面不同的是, 在采用空心电子束时, 理论和实验均表明, 除了在  $B_0=9.6$  KG 附近的高引导磁场区域 ( $B_0>B_{cr}$ ) 有自由电子激光器辐射的最佳区之外, 在  $B_0=5$  KG 左右的低引导磁场区域 ( $B_0<B_{cr}$ ) 也有一个同时满足  $\lambda<14$  mm 及  $0.15<B_{\perp}<0.4$  的较好工作区域。

上述一系列参数实验结果与理论分析结果符合得如此之好, 证明了喇曼自由电子激光器有关理论的正确性, 也从另一个角度证实了我们测得的信号确系自由电子激光辐射无误。而且表明了我们这台器件已从初期的获得激光阶段进入了较稳定的系统参数实验阶段, 从而开始发挥其原设计预期的作用。

这项工作得到王之江教授不少指导, 谨表谢意。施津川、胡煜两位同志参加了本实验, 在此一并致以感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 褚成等;《中国激光》, 1985, 12, No. 12 (Dec), 767。
- [2] 褚成等;《光学学报》, 1986, 6, No. 3 (Mar), 243。
- [3] R. H. Jackson *et al.*; *IEEE J QE*, 1983, QE-19, No. 3 (Mar), 346。
- [4] 褚成等;《中国激光》, 1986, 13, No. 10 (Oct), 待发表。
- [5] 褚成等;《光学学报》, 1986, 6, No. 9 (Sep), 776。

## Experimental study of parametric dependence of radiation from a Raman free-electron laser

CHU CHENG, LU ZAITONG, SHI RUIGEN AND ZHANG LIFEN  
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 18 March 1986; revised 22 May 1986)

### Abstract

Systematic measurements of a go out radiation signal from our Raman free-electron laser indicated a good agreement between experimental data and theoretical calculations. As a results, the optimal parametric region for the laser operation can be determined, making it possible to further improve the performance of the laser.



启  
事

本刊今年第九期正文中“金属包复四层波导中的长程表面模”一文的第一作者应是 杨傅子。  
特向作者、读者致歉!

编辑部