

的增益。

(二)光学隔离器的配置原则:这是行波放大器总体排布中的重要问题。它和隔离器本身的消光比有关,也被隔离的两段放大器的实际增益有关。我们以 G 表示放大器的增益, ρ 表示隔离器的消光比,可以导出下列两个原则:

(1) 终端没有被隔离的放大器总增益不能大于靶面反射率的倒数:

$$G_n \leq \frac{1}{R}$$

(2) 行波放大器件中任何一个隔离器的消光比必须小于被它分隔的两个放大器增益乘积的倒数:

$$\rho_n \leq [G_{n-1} \times G_n]^{-1}$$

(三)放大器的 B 积分:非线性传输理论导出的结论表明:工作物质内部的自聚焦破坏不仅决定于激光功率,而且还和传输的距离有关。衡量这种破坏的危险性所常用的一个因子是“ B 积分”,它与 $\int Idz$ 成比例。 B 积分一旦超过某一个值,介质便破坏。

光束的自聚焦和光束的空间场分布的起伏有关。最有害的空间调制度 K_x 和功率的关系可以表示为:

$$K_x = \left(\frac{8\pi n_2}{C} I \right)^{1/2} k_L$$

我们对国产的Nd玻璃计算了不同功率水平下的 K_x 值,以及与之相对应的 B 积分,根据这些结果,只要知道放大器的输入或输出激光功率都可以得到放大器的 B 值。

(四)最佳级间扩孔比 r 的选择:合理的设计必须既考虑到放大器 B 积分所允许,又要使整个行波放大器工作物质总体积为最小。根据这个原则可以得出最佳扩孔比的表达式:

$$r = \sqrt{G} \quad r \text{ 为两级放大器面积之比。}$$

这表明,行波放大器中随着功率的逐级增加,放大器面积的扩大不是线性的。各级的负载不应相同,越靠近末级,负载应选得越高,而越靠近前级,负载就越低。

计算还表明,对一定输出功率的放大器,所用工作物质的总体积与材料的非线性折射率 n_2 成正比,和增益系数的平方 β^2 成反比。我们应尽可能选用低 n_2 玻璃和提高放大器的 β 值。

高功率激光放大器的增益和效率

中国科学院上海光机所 范滇元 余文炎

用于核聚变研究的大型激光系统中,放大器是数量最多、影响很大的一个单元。本文系统地研究钕玻璃高功率放大器的能量增益和引出效率。所得结果已实际应用于两轮三通道片状放大器的研制,实验结果和理论计算相符。

1. 增益的计算

首先讨论了三种实际因素对毫微秒脉冲放大的影响。利用计算机确定近似解析公式的误差和适用范围。

- (1) 采用“集中损耗近似”计算工作物质吸收的影响;
- (2) 采用“平均近似”计算光束强度分布不均匀及光泵不均匀的影响;
- (3) 引入“等效吸收系数”计算光束发散的影响。

在此基础上,详细研究了多通放大的增益(激光脉冲多次通过同一放大器的工作方式称多通放大)。在计及子能级热化和终态能级排空作用后,导出了各轮放大的递推关系式。对实用意义较大的双通放大进一步作了具体讨论。

2. 引出效率

亚稳态储能转化为输出激光能的效率称引出效率。计算表明,放大器在小信号工作时效率很低,但是,光束能量密度太大效率也会降低,因而存在最佳工作区。另一方面,引出效率还随增益系数对吸收系数的比值(β/α)单调地递增。所以,即使在总增益和光能密度相同的条件下,仍然可以通过提高增益系数(相应地缩短工作物质的长度)来获得较高的效率。例如,在输入光能密度为1焦耳/厘米²,输出为3焦耳/厘米²,动态吸收系数 $\alpha=0.5\%$ 厘米⁻¹的条件下,有下列结果:

β/α	引出效率 (%)	β 厘米 ⁻¹ (%)	l (厘米)
3	9.6	1.5	149
10	14.1	5	30
∞	16		

可见,在上述条件下, $\beta/\alpha=10$ 是较好的工作状态。 β/α 再增大,效率的提高是很有限的了。

3. 应用于大型片状放大器的研制

按上述理论设计了通光口径为100毫米的片状放大器。它由六个钽玻璃片组成,每片高为300毫米。激光先后通过片的下部、中部和上部,然后再重复通过一次。在光泵密度为29焦耳/厘米²,输入激光能量40焦耳(脉宽约2毫微秒)时,获得10倍增益,电能转换为激光能的效率达0.1%。比较了各种不同光泵强度、不同激光能量下增益的测量值和计算值,结果表明两者基本相符。

激光核聚变的物理模型及数值解

中国科学院上海光机所 徐至展 沈文达 张文琦
上海科技大学 潘仲雄 王翼飞 张卫生

为了对激光向心聚爆进行总体的定量分析,本文研究了其全过程的物理模型及相应自洽方程组的数值解法。

在强激光辐照下,球形对称靶等离子体的物理行为是由一组自洽的非线性偏微分方程描述的。我们给出的一维模型及其数学表述有如下特点:利用张量形式,推导出包含有粘性的流体动力学的运动方程和能量方程;考虑了靶元素的电离过程,以Saha方程或日冕方程的解来近似处理较高 Z 元素的电离问题;给出了计及反常吸收等因素的有关激光吸收的几种处理方式;等离子体的辐射包括了 $f-f$ 、 $f-b$ 和 $b-b$ 三种跃迁过程;较细致地计及了量子力学简并效应对电子系统的压力、内能和各种输运系数如电子热导率、电子-离子热平衡时间以及库仑系数等的修正;对电子和离子的热传导均引入热流限制条件,通过调节限流的常数因子,可以确定反常电子热传导的量级及其对总体的影响。我们还考虑了多层靶的复合结构,给出了适当的边界条件及间断面上的连接条件。在非线形偏微分方程组的数值解法上,本文提出了一种不同于一般模型的显式差分数值解法,即在处理能量方程时,不采用通常的隐格式,而是采用预估校正的跳点显式解法,并对方程的二阶导数项、低阶项和间断系数进行了适宜的处理。我们的计算机总体程序有双温度和三温度(除电子和离子外,还有对应有辐射温度 $T_r(R, t)$ 的光子系统)两种模式,在实际计算中,可按物理问题进行选择和比较。

本文最后附有激光聚变全过程的示例计算,其结果与实验相一致,这表明我们给出的物理模型和计算方法是正确的。