

河北大学 物理科学与技术学院《激光原理》测试题

第三章 电磁场和物质的共振相互作用

一、简答题

1. 什么是谱线加宽？如何来描述谱线加宽现象？
2. 谱线均匀加宽的特点是什么？若均匀加宽线宽为 $\Delta\nu_H$ ，试写均匀加宽的线型函数。试举两个造成谱线均匀加宽的因素。
3. 谱线非均匀加宽的特点是什么？试举两个造成谱线非均匀加宽的因素。
4. 多普勒加宽是气体工作物质的一种主要加宽机制，试定性解释多普勒加宽产生的原因。
5. 什么是总量子效率？试以四能级系统为例解释总量子效率的意义。

6. 什么是均匀加宽工作物质的反转集居数饱和现象？试解释其产生原因。
7. 什么是增益饱和？均匀加宽工作物质的增益饱和与非均匀加宽工作物质的增益饱和的基本特征是什么。
8. 请简述非均匀加宽工作物质的增益系数的计算方法。
9. 解释单纵模多普勒加宽气体激光器（驻波腔）中反转粒子数烧孔效应。

二、证明题

10. 若某物质原子跃迁上能级与跃迁下能级的自发辐射寿命分别为 τ_{s_2} 与 τ_{s_1} ，试用量子力学的不确定关系求证该物质的自然加宽的线宽为

$$\Delta\nu_N = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\tau_{s_2}} + \frac{1}{\tau_{s_1}} \right)$$

11. 已知气体原子在温度为 T 的热平衡状态下, 其热运动速度服从麦克斯韦统计分布, 原子数按速度 v_z 的分布函数为

$$p(v_z) = \sqrt{\frac{m}{2\pi k_b T}} \exp\left(-\frac{mv_z^2}{2k_b T}\right)$$

其中 m 为气体原子质量, k_b 为玻尔兹曼常数。求证多普勒加宽的线型函数为

$$\tilde{g}_D(\nu, \nu_0) = \frac{c}{\nu_0} \sqrt{\frac{m}{2\pi k_b T}} \exp\left[-\frac{mc^2}{2k_b T \nu_0^2} (\nu - \nu_0)^2\right]$$

12. 在频率为 ν 的单模光场的作用下, 受激跃迁概率为 $W_{21} = B_{21}\tilde{g}(\nu, \nu_0)Nh\nu$, 其中 N 为该单模光场的光子数密度。试从爱因斯坦系数之间的关系证明: 分配在一个模式中的自发辐射跃迁概率等于在此模式中的一个光子引起的受激跃迁概率。

13. 试用速率方程理论证明, 采用光泵浦的方法不能在二能级系统中实现集居数反转 (设两能级简并度均为 1)。

三、综合题

14. 速率方程是用于研究激光物理现象的一种重要理论方法：

- (1) 作出激光三能级系统能级跃迁示意图，并说明有关物理量的含义；
- (2) 请写出三能级系统的速率方程组。

15. 速率方程是用于研究激光物理现象的一种重要理论方法：

- (1) 作出激光四能级系统能级跃迁示意图，并说明有关物理量的含义；
- (2) 请写出四能级系统的速率方程组。

16. 某种多普勒加宽气体吸收物质被置于驻波腔中，设吸收谱线对应的能级为 E_2 与 E_1 （基态），中心频率为 ν_0 ，线宽为 $\Delta\nu_D$ 。如果光腔中存在频率为 ν 的单模光波场，试定性画出下列情况下基态粒子数密度按速度的分布函数 $n_1(v_z)$ ，并给出说明。

(1) $\nu \gg \nu_0$;

(2) $\nu - \nu_0 = \frac{1}{2}\Delta\nu_D$;

(3) $\nu = \nu_0$ 。

17. 室温下红宝石的一些跃迁概率数据如下： $S_{32} \approx 0.5 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ ， $A_{31} \approx 3 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ ， $A_{21} \approx 0.3 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ ， S_{21} ， $S_{31} \approx 0$ 。红宝石工作介质激光上下能级的简并度 $f_1 = f_2 = 4$ 。在连续泵浦下，试估算抽运概率 W_{13} 为多大时，红宝石工作物质对波长为 694.3 nm 的弱光信号是透明的。简明起见，计算中忽略各种损耗。

18. 有一块圆柱形端面抛光红宝石样品，已知该红宝石样品中铬离子密度 $n = 1.9 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ，在 694.3 nm 处的荧光线宽 $\Delta\nu_F = 3.3 \times 10^{11}$ Hz。实验室有以下仪器：光源一个，单色仪一台，光电倍增管及其电源一套，微安表一块，直尺一把。试用实验室现有仪器测量出该红宝石样品的吸收截面和自发辐射寿命。（跃迁上下能级简并度相等，红宝石的折射率为 $\eta = 1.76$ ）

(1) 请画出实验方框图并说明实验步骤；

(2) 阐明实验原理并给出计算公式。

注：均匀工作质中心频率处的发射截面为 $\sigma_{21} = \frac{v^2 A_{21}}{4\pi^2 \nu_0^2 \Delta\nu_F}$ 。