



北京大学物理学院 李健

He-Ne 激光器模式分析

吴熙楠

北京大学物理学院 学号：1900011413*

(日期：2023 年 3 月 4 日)

本实验利用共焦球面扫描干涉仪测量了 He-Ne 激光器的模式的频谱分布, 并得到了纵模横模频率间隔, 也得到扫描干涉仪的精细常数, 并判断出了示波器上频率增加的方向. 本实验对于理解激光器的不同横纵模具有较大意义, 并提供了测量激光模式间隔的方法.

关键词：He-Ne 激光器, 共焦球面扫描干涉仪, 横纵模

* xinanwu@pku.edu.cn;

I. 引言

激光以其单色性好, 相干性好而著称. 本实验以 He-Ne 激光器作为研究对象, 利用共焦球面扫描干涉仪得到激光器中不同的激光模式的频率, 分析其特征, 以加深对激光的理解.

II. 理论

A. 激光的横模纵模

本实验中采用的是 He-Ne 激光器, 所用的腔为简单的两个反射镜组成的腔. 光在谐振腔中往返一周的光程差是波长整数倍的时候会被放大, 即 $2L = q\lambda_q$ (已取介质折射率约为 1 的近似). 不同 q 对应于不同的纵模, 因而相邻纵模的频率差为 $\Delta\nu(\Delta q = 1) = \frac{c}{2L}$. 不过一个模式不仅对应于纵向的一种稳定的电磁场的分布, 也对应于横向的电磁场的一种稳定分布, 称为横模. 不同的横模的电磁场场强在 x 或 y 方向的零点数目不一样. 由理论可知相邻横模之间的频率差为 $\Delta\nu_{\Delta m + \Delta n = 1} = \Delta\nu_{\Delta q = 1} \frac{1}{\pi} \arccos \left[\sqrt{\left(1 - \frac{L}{R_1}\right)\left(1 - \frac{L}{R_2}\right)} \right]$, 其中 R_1, R_2 为谐振腔的两个反射镜的曲率半径, 由此可以计算出理论上所用的 He-Ne 激光器的横纵模频率间隔.

B. 共焦球面扫描干涉仪

扫描干涉仪的具体原理: 近光轴方向射入干涉仪的激光在两块曲率半径与腔长相等的反射镜之间传播的时候走过的路程为如图所示的 X 形 (可以通过球面反射镜的成像公式推得), 因而光走 $4L$ 是一个周期, 每个周期也都会有光从镜面透射而出; 若 $4L$ 是某个波长 λ_a 的整数倍, 则波长为 λ_a 将产生相干极大透射, 而其他波长则会抵消. 若外加电压使腔长发生微小变化, 相应的产生极大透射的波长也会发生变化, 并

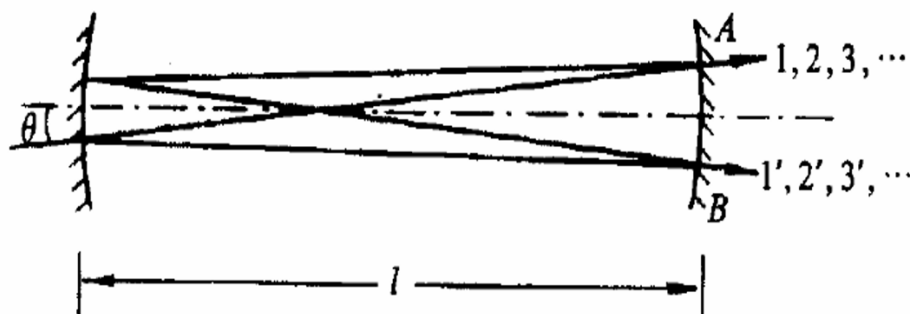


图 1: 共焦球面扫描干涉仪内部光路图

且波长和腔长一一对应。因而用一定幅度的交流电压来改变腔长就能使得激光器不同频率的模式一次产生相干极大透射, 从而实现频谱的扫描。但扫描干涉仪有重序现象, 即在 $4l = k\lambda_b = (k+1)\lambda_a$ 的时候分辨不出这两个波长, 因而测量的频谱是有一定范围的。经推导可知扫描干涉仪所能扫出的不重序的最大频率差, 即自由光谱范围, 为 $\Delta\nu_{S.R.} = \frac{c}{4l}$; 实验中要保证自由光谱范围大于所测量的光谱范围。扫描干涉仪的精细常数表征干涉仪的分辨本领, 实验的角度来说, 精细常数的定义为 $F = \frac{\delta\lambda_{S.R.}}{\delta\lambda}$, 其中 $\delta\lambda$ 即为干涉仪所能分辨出的最小波长差, 实验中可以用一个模的半宽来代替。

III. 实验装置

实验中是采用共焦球面扫描干涉仪来获得激光束中的不同的频率成分。激光束经过小孔光阑限制其宽度之后经过扫描干涉仪, 之后的信号经过光点二极管进行放大, 然后成像与示波器上。驱动器中加入锯齿波使得扫描干涉仪可以扫描得到信号, 同时其也作为 X 轴信号输入示波器。在 X-Y 模式下即可在示波器上看到频谱图。

实验中在光路中加上小孔光阑之后调节扫描干涉仪, 信号放大器与激光器共轴, 小孔光阑在调节好共轴之后即可撤去。本次实验中在调节共轴之后又小幅调节使得信噪比接近于最大。实验在室温下进行。

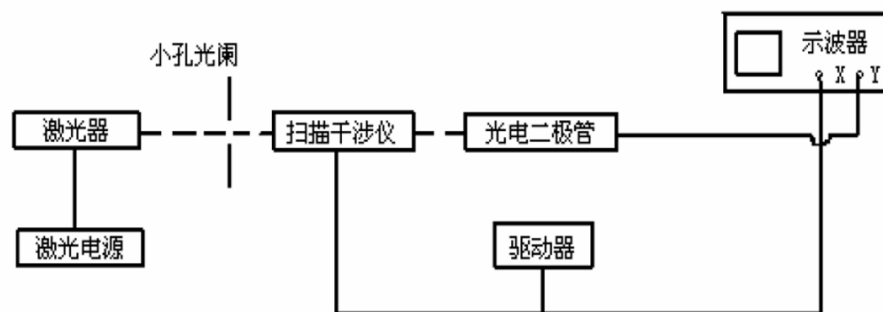


图 2: 实验装置示意图

IV. 结果与分析

V. 结论

本实验利用共焦球面扫描干涉仪测量了两个腔长不同的 He-Ne 激光器的模式在频谱上的分布, 并得到了各自的纵模横模频率间隔, 将其余理论值比较, 差别在误差范围内; 也得到扫描干涉仪的精细常数 (约 118), 并判断出了示波器上频率增加的方向为向右. 本实验对于理解激光器的不同横纵模具有较大意义, 并提供了测量激光模式间隔的方法.

VI. 思考题

1. 根据什么确定干涉仪扫出的干涉序的个数?

答: 根据频谱图的周期性, 可以确定每个干涉序, 从而可以得知干涉序的个数.

2. 辨认不同的纵模和横模的依据.

.....

答: 在本实验所用的激光器的相邻横模间隔较小, 因而间隔较小的为同一纵模不同横模的模式, 间隔较大的为不同纵模的模式.

3. 观测时, 为何要先确定示波器上被扫出的干涉序的数目, 又何好处?

答: 这样可以选出同一个干涉序进行测量, 然后由干涉序对应的示波器横轴的格数来标定每格对应的频率差.

4. 本实验方法的优缺点.

答: 缺点: 噪声较大, 部分纵模随时间波动较明显, 使得测量有一定的困难; 使用示波器面板肉眼读数, 误差比用数字方法读数要大. 优点: 扫描干涉仪扫描较准确, 得到多条激光模式.

5. 在示波器的不同位置, 纵模频率间隔有所差异的原因是什么? 如何提高测量的准确度?

答: 控制扫描干涉仪腔长的压电陶瓷的长度变化量对所加电压的响应可能偏离线性, 导致测量有一定误差. 提高测量精度方法: 一是可以选用线性程度更好的压电陶瓷; 二是可以改变示波器横轴放大倍数使得测量更加准确.

VII. 致谢

感谢我的合作伙伴杨轩同学, 他的工作是不可或缺的; 感谢耐心的胡小永指导老师对我们的巨大帮助.

[1] 北京大学物理学院光学所, 激光实验, 第二版, 北京: 北京大学物理学院, 2023.