

第八届全国高等学校物理实验教学研讨会



# 用二极管激光测量气体分子 的高分辨吸收光谱

娄秀涛

哈尔滨工业大学

2014年07月29日

# 主要内容

实验背景

实验原理

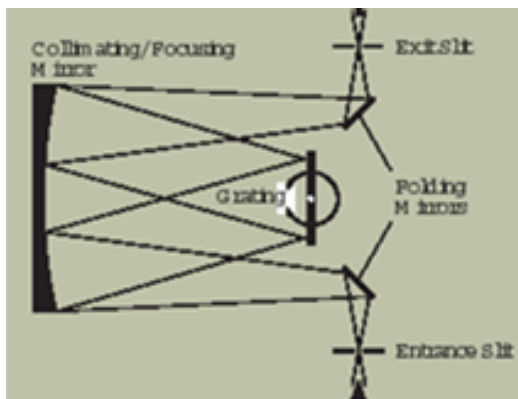
实验装置

实验结果与分析



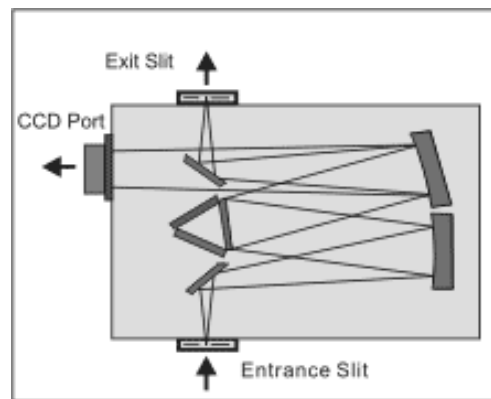
# 吸收光谱测量的主流方案

在光源部位通过光栅单色仪对其出射波长进行选择性的调控



中国科大  
武汉大学  
哈工大

在光探测环节通过光栅光谱仪对不同波长的透过光进行分光



重庆大学  
华南理工

- 两种方案的共同本质：宽谱带光源+分光装置
- 整套系统的体积较大、成本较高
- 分辨率最佳值0.1nm，仅适用于具有宽谱带吸收的固态或液态物质。

气态小分子吸收谱线窄，需要更高光谱分辨率（ $<0.001\text{nm}$ ），具有窄带发射光谱的可调谐二极管激光光源是最佳选择。

实验背景

实验原理

实验装置

实验结果与分析

# 比尔-朗伯定律

气体分子的吸收光谱是通过电流驱动LD的波长（频率）扫过被测气体的吸收谱峰来获得的。比尔-朗伯定律：

$$I_t = I_0 \exp[-S\phi(\nu)NL]$$

吸收线强      吸收线型表达式      分子数密度      吸收路径长度

在小吸收情形下，即  $S\phi(\nu)NL \ll 1$  ，吸收幅度可近似为：

$$A = (I_0 - I_t) / I_0 = S\phi(\nu)NL$$

吸收幅度与气体浓度和吸收长度均成正比，改变二者是等效的。在本实验中选择空气中的氧气分子为研究对象通过改变吸收光程来等效气体浓度的变化，这便大大降低了实验操作的难度。

# 吸收线型表达式

$\phi(\nu)$  - 一般情况下是描述分子碰撞展宽的洛伦兹线型和描述多普勒展宽的高斯线型的卷积结果。

一般气体在常压情况下，碰撞展宽占主要优势，此时吸收谱线可近似由洛伦兹线型描述：

$$\phi_c(\nu) = \frac{\Delta\nu_c / 2\pi}{(\nu - \nu_0)^2 + (\Delta\nu_c / 2)^2}$$

表达式简单  
拟合运算速度快

吸收谱中心频率

谱线的半高全峰宽 (FWHM)

实验背景

实验原理

实验装置

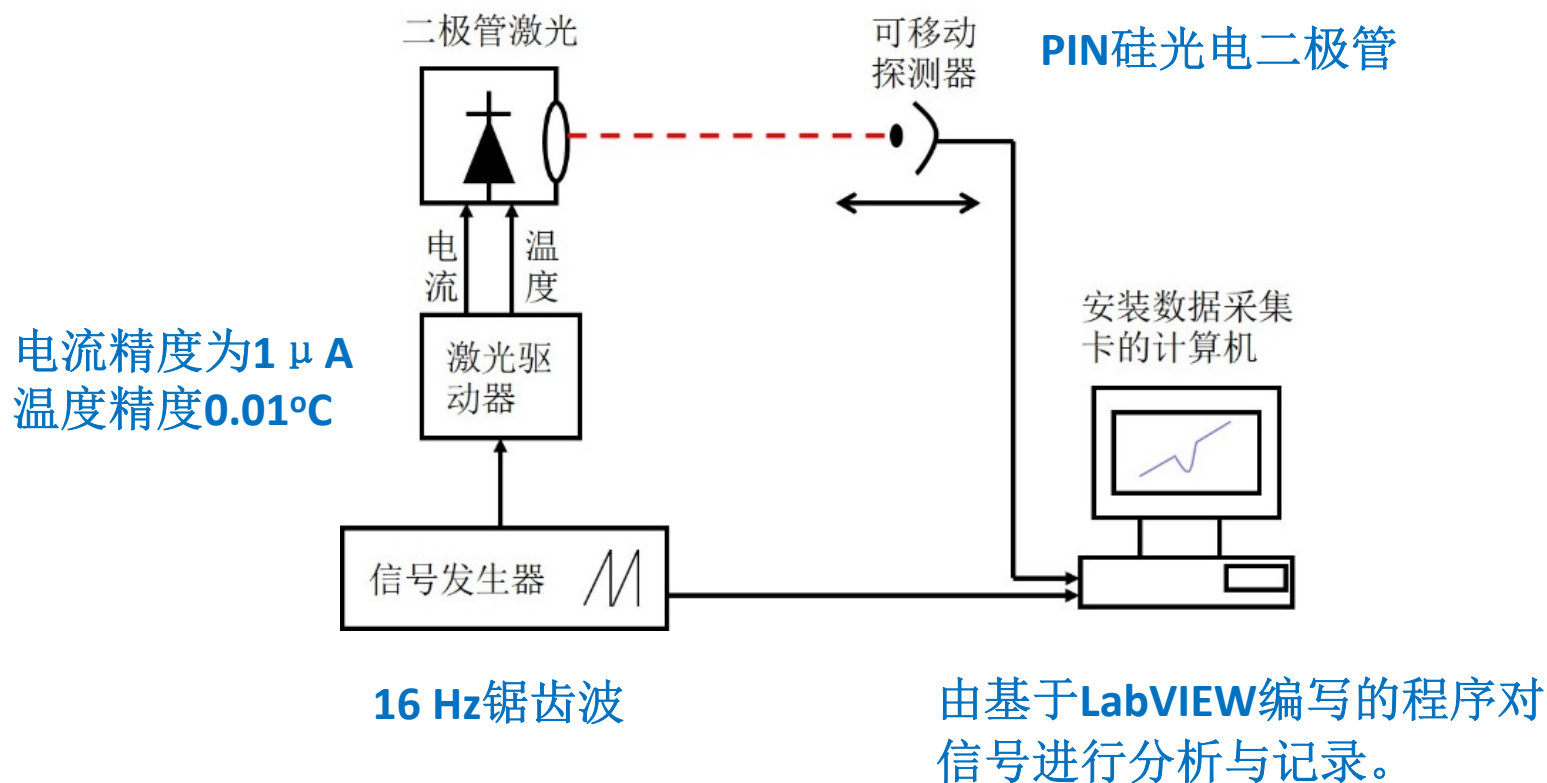
实验结果与分析



# 基于LD的氧气吸收光谱测量装置

系统构建成本：< 2万

垂直表面发射型（VCSEL）  
标称中心波长~763 nm



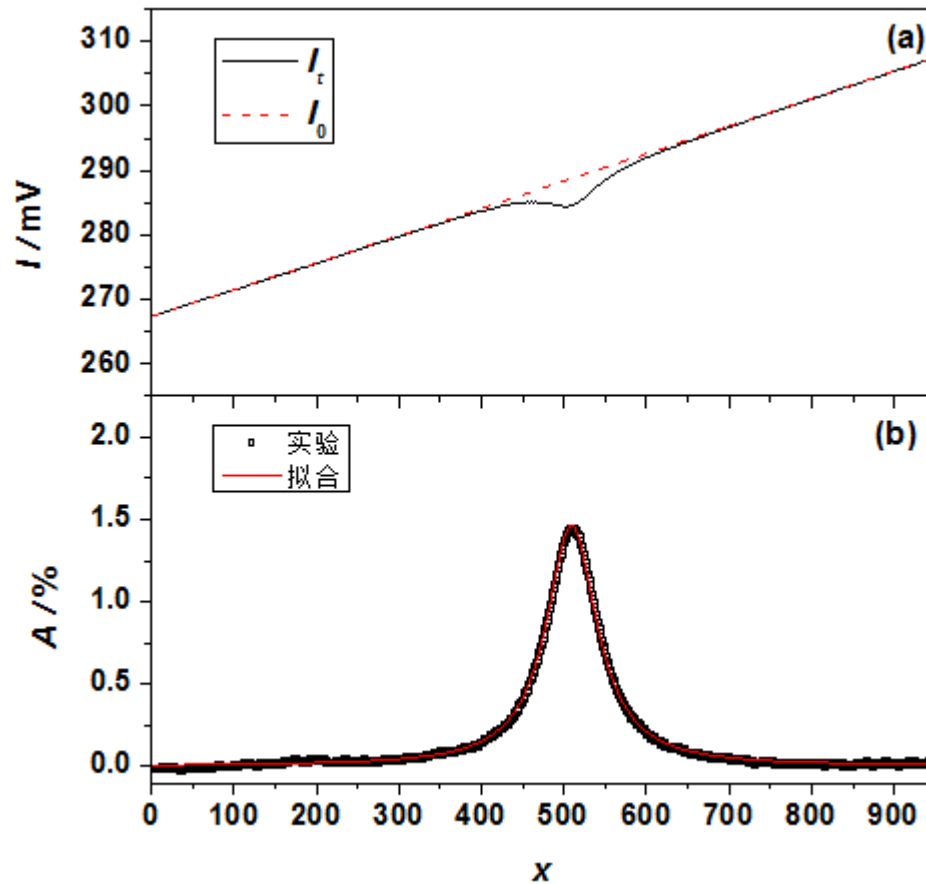
实验背景

实验原理

实验装置

实验结果与分析

# 空气中氧气分子的典型吸收信号

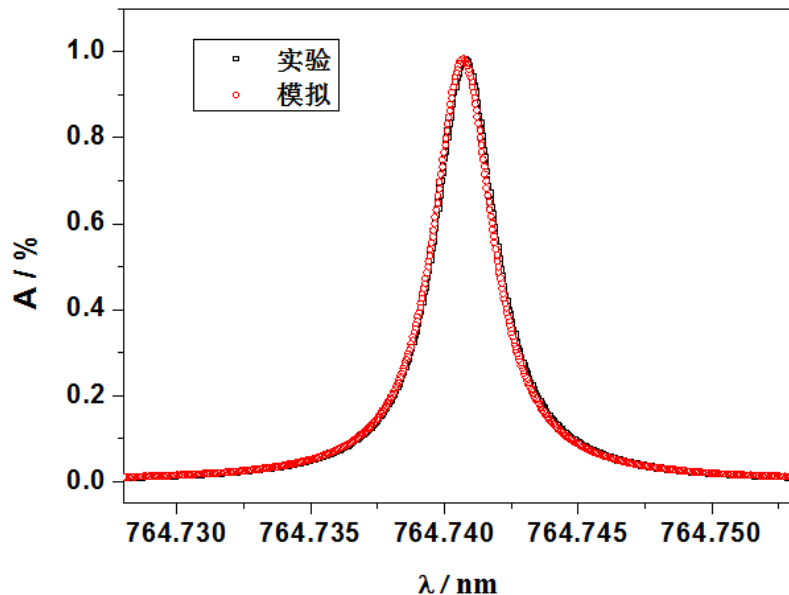
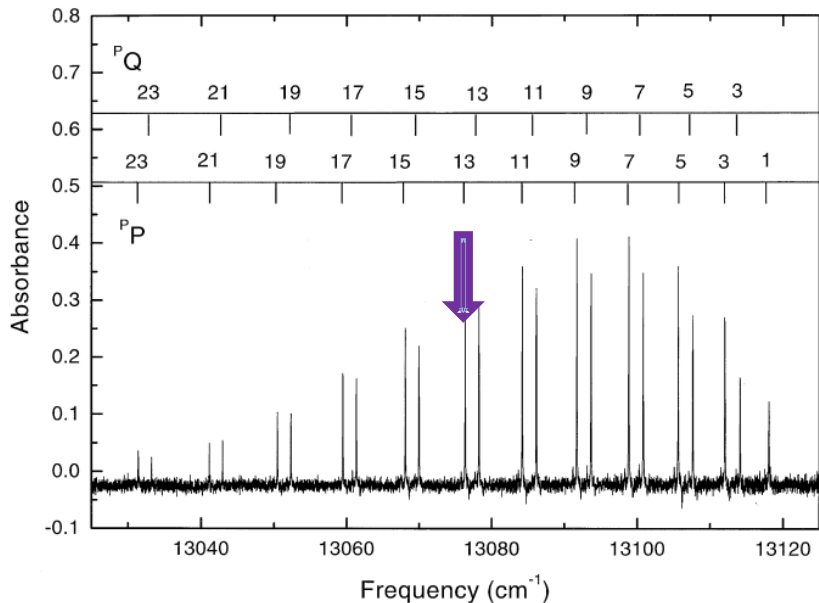


吸收光程: **60 cm**  
平均时间: **5 s**  
拟合线型: 洛伦兹

- a) 探测器输出的原始信号
- b) 数据处理后的吸收信号

# 氧气吸收谱线的指认

光谱分辨率: 0.0001 nm

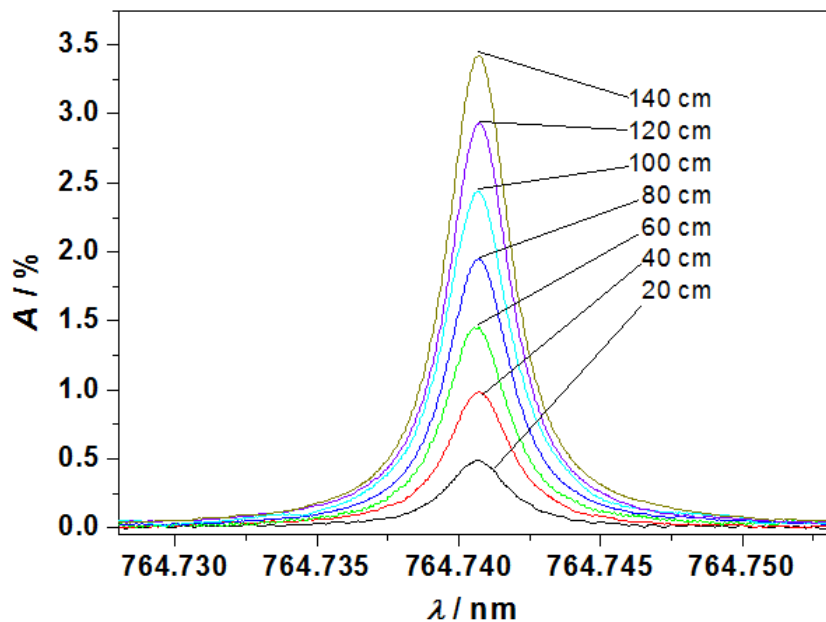


763nm所对应的氧气P分支吸收谱带

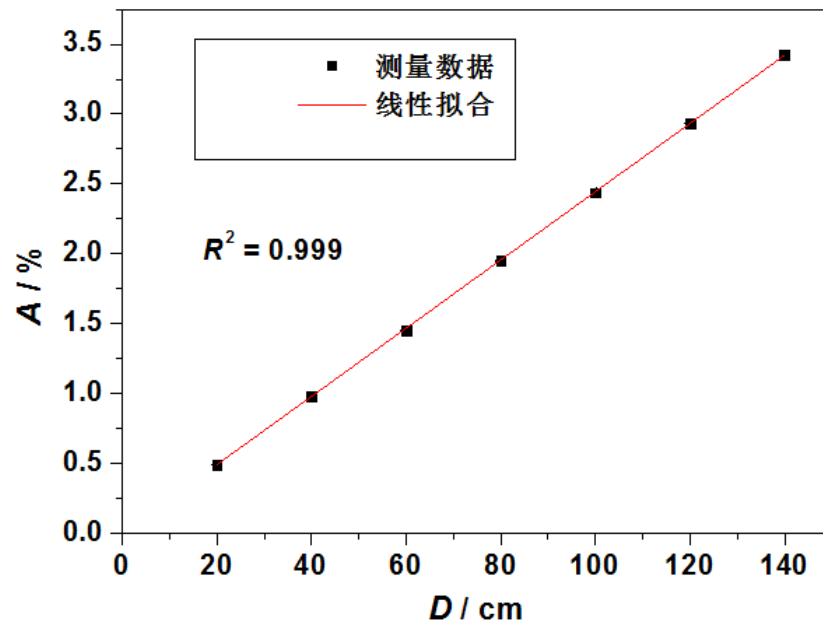
40 cm空气中氧分子的吸收光谱实验  
测量与理论模拟结果对比

模拟和实验数据的比对结果显示二者具有很高的 consistency, 证实本实验所测量得到的吸收谱线为氧气P分支的P<sup>13</sup>吸收线, 其波长为764.7407 nm

# 吸收线性度的验证



不同吸收长度的氧气分子吸收光谱



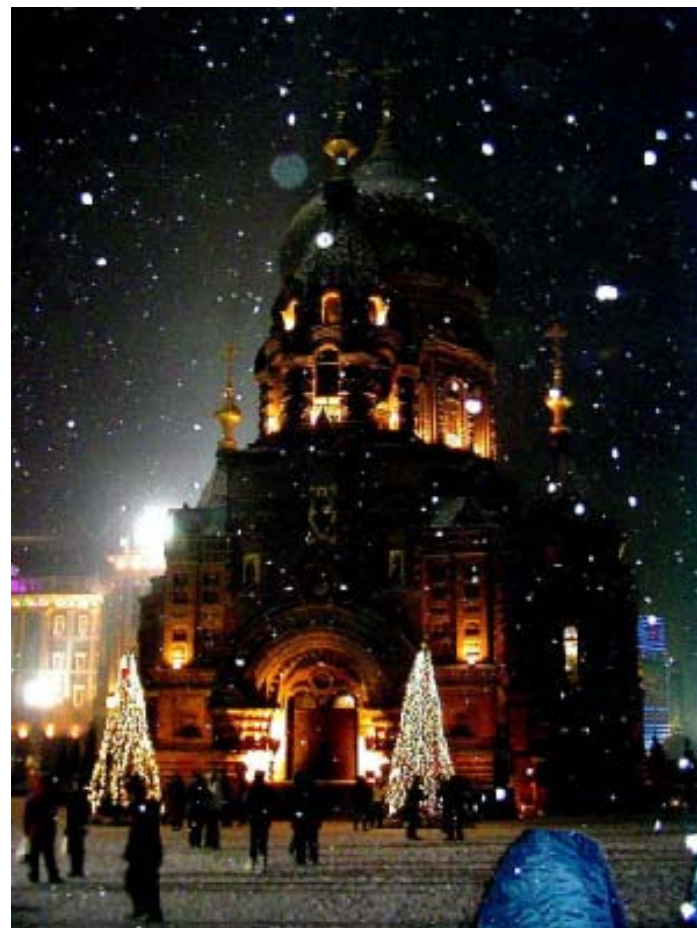
氧气分子吸收信号幅度与吸收长度的正比例关系

线性拟合分析得到不同吸收长度下吸收幅度与吸收长度二者的线性相关系数大于**0.999**，充分验证了在小吸收情形下： $A \propto NL$

# 结论

- ▶ 介绍了利用波长可调谐的二极管激光实现空气中氧气分子高分辨吸收光谱测量的原理、装置和方法。
- ▶ 实验结果与理论模拟结果具有高度的一致性，并且验证了在小吸收情形下吸收光谱的幅值与吸收长度成正比关系。
- ▶ 整套实验系统的构建成本低，便于同时提供多套系统来提高学生亲自动手操作的比例，从而提高学生学习的积极性和主动性。
- ▶ 本实验是对当前国内大学近代物理实验中吸收光谱部分的拓展，对于大学生了解和学习基于可调谐激光光源的近代光谱测量手段具有很好的启发意义。

# 谢谢聆听



**Email: [louxiutao@hit.edu.cn](mailto:louxiutao@hit.edu.cn)**  
**Phone: 13030011862**