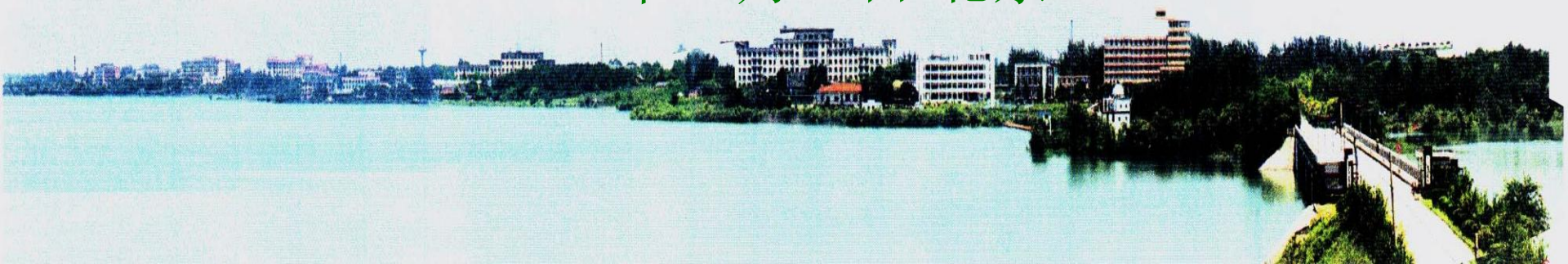
大气对星光探测的影响及大气传输研究

魏合理

中国科学院大气成分和光学重点实验室

中科院安徽光学精密机械研究所

2010年12月21日 北京



目 录

- 大气对星光探测的影响
- 安徽光光机所大气传输研究进展

在地球大气层内进行星光探测时，必然受到大气的影响：

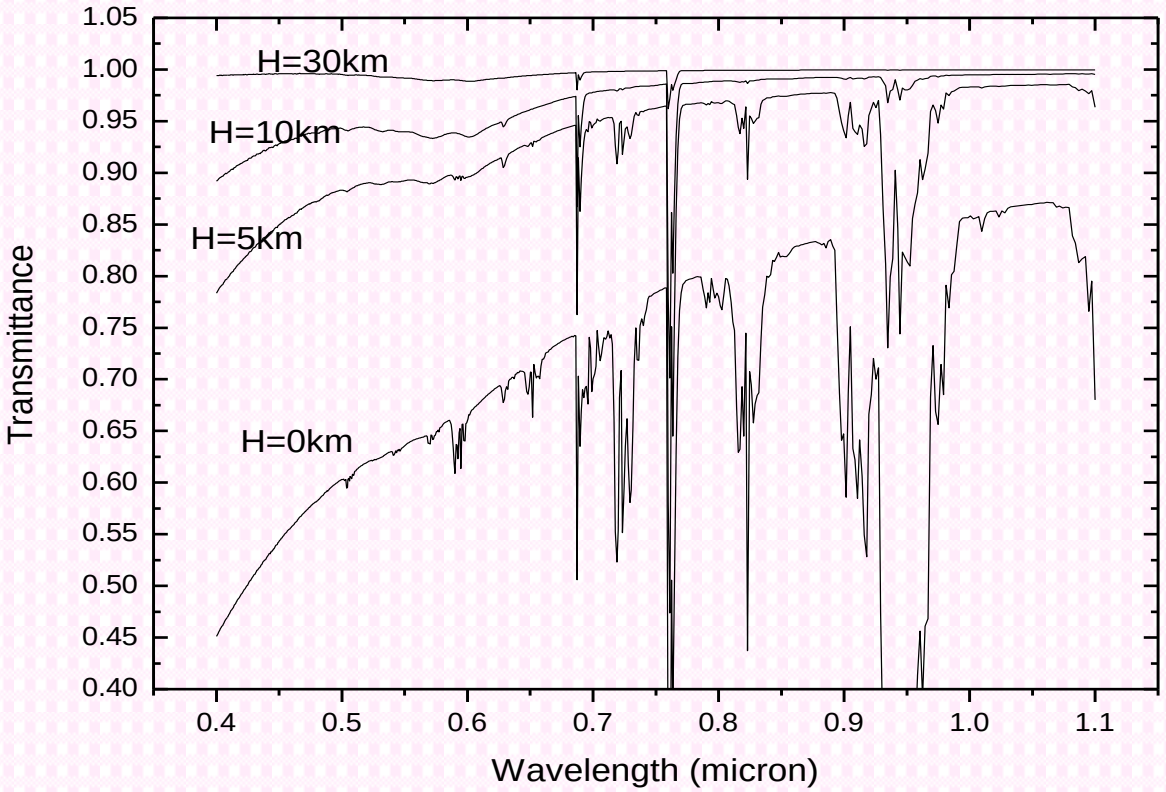
1）大气中的分子和气溶胶的吸收和散射衰减了星光的能量强度；

2）大气散射太阳和月亮的辐射造成大气背景辐射的增强，降低了星光探测的对比度；

3）大气湍流使星光的强度起伏（星光闪烁）和相位起伏（相干性退化），使图像模糊。

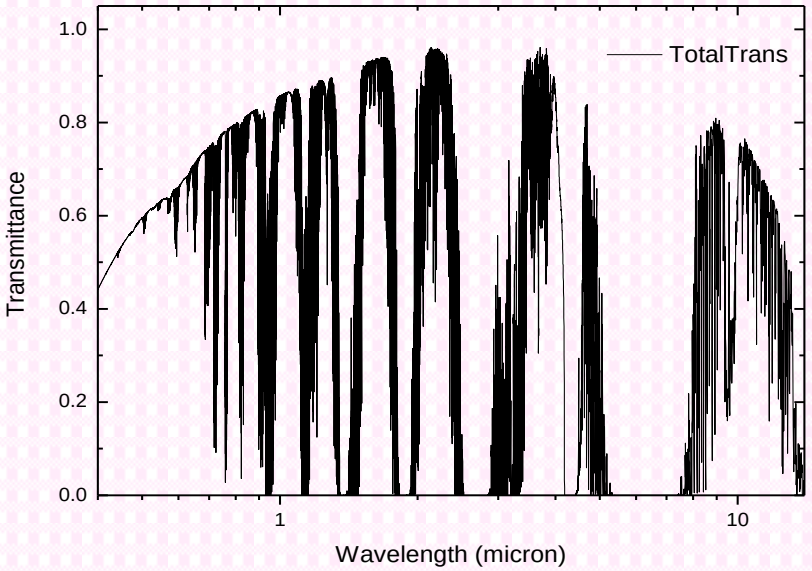
一，大气对星光探测的影响

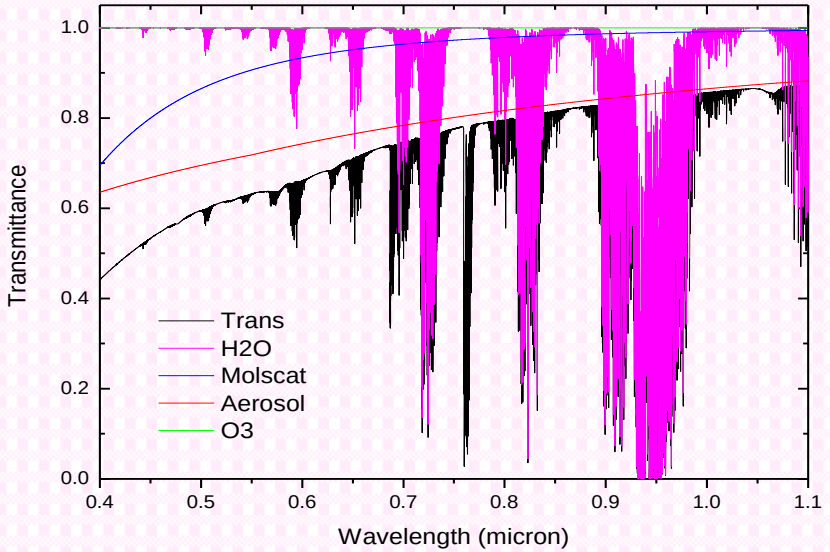
1.大气衰减效应

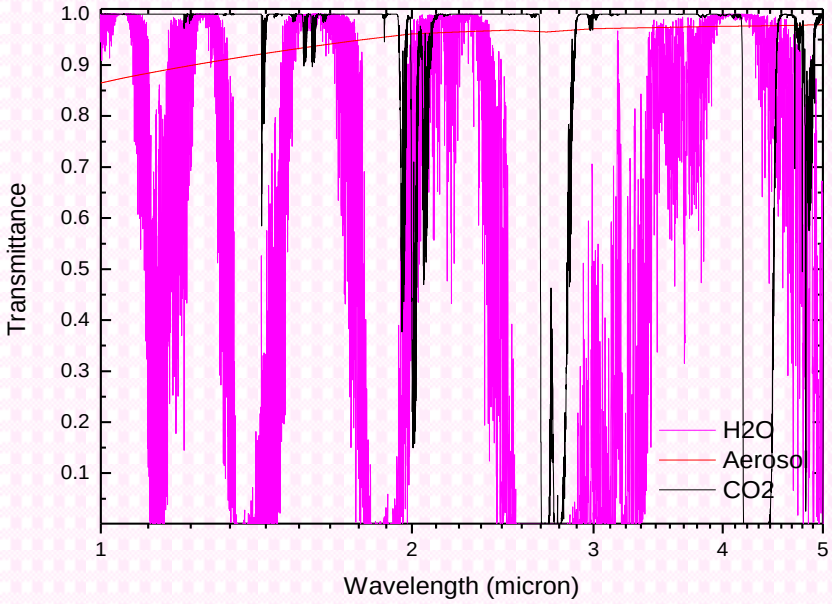


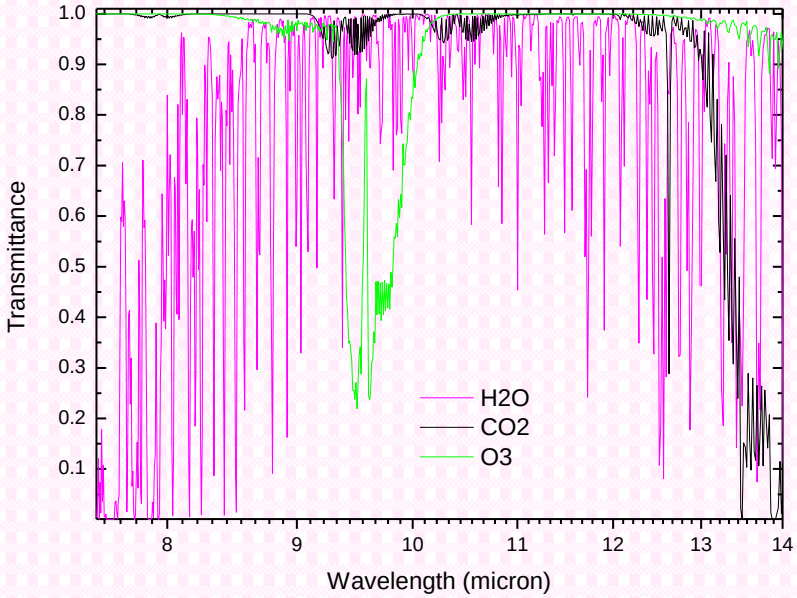
不同高度到大气顶的大气光谱透过率（中纬度夏季，地面能见度23km）

不同大气成分的气衰减


TotalTrans
Transmittance
Wavelength (micron)


Trans
H2O
Molscat
Aerosol
O3
Transmittance
Wavelength (micron)


H2O
Aeroso
CO2
Transmittance
Wavelength (micron)


H2O
CO2
O3
Transmittance
Wavelength (micron)

站址评价:影响光波衰减的大气参数

可见光波段:

- 大气气溶胶:
- 1.整层大气气溶胶光学厚度
- 2气溶胶高度分布廓线
- 3.地面能见度
- 4.地面气溶胶粒子谱分布测量

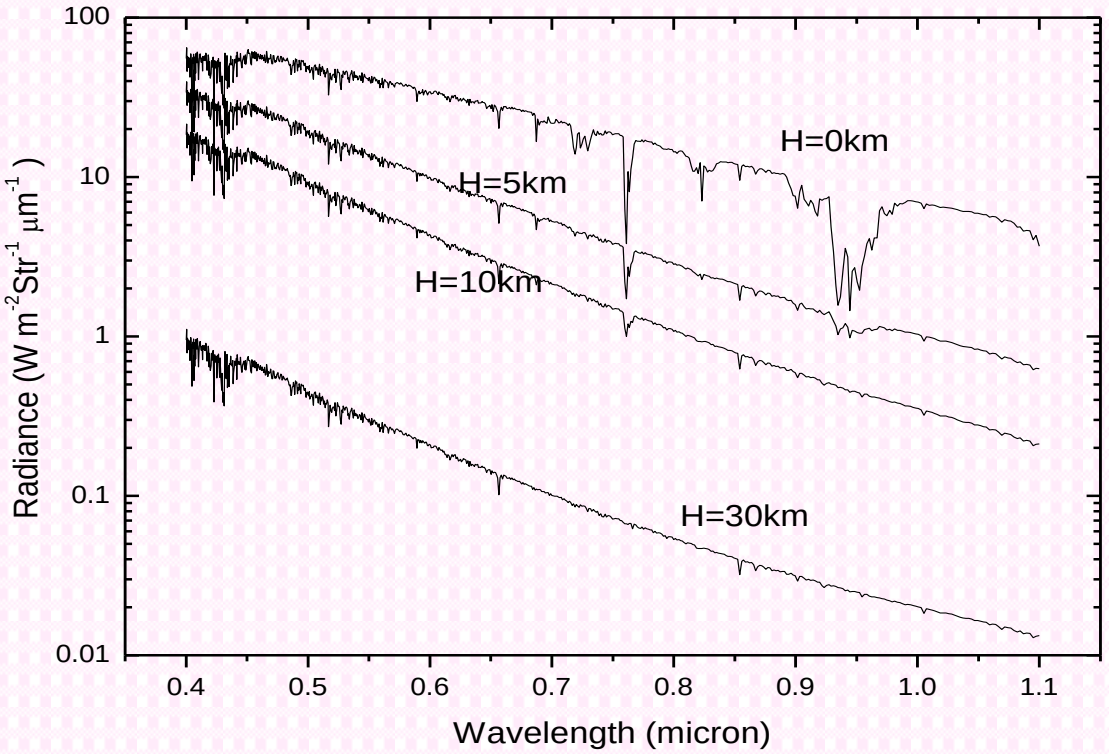
红外波段:

- 5.水汽总量、高度分布
- 6.温度分布

星光光谱光度测量的大气修正

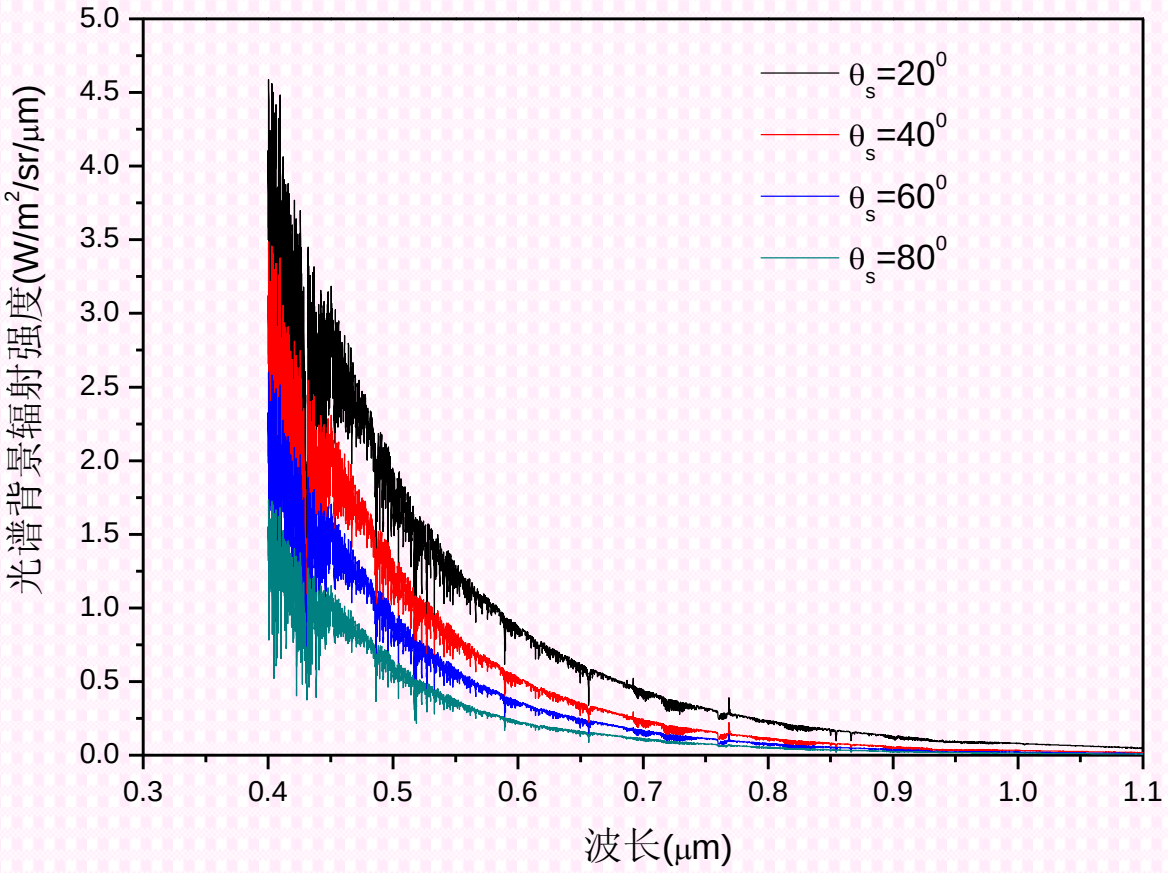
□根据实际测量的大气光学参数，用辐射传输模式计算各个波段的大气光谱透过率，对地面测量的星光光谱辐照度进行大气修正，得到大气外的星光辐照度。

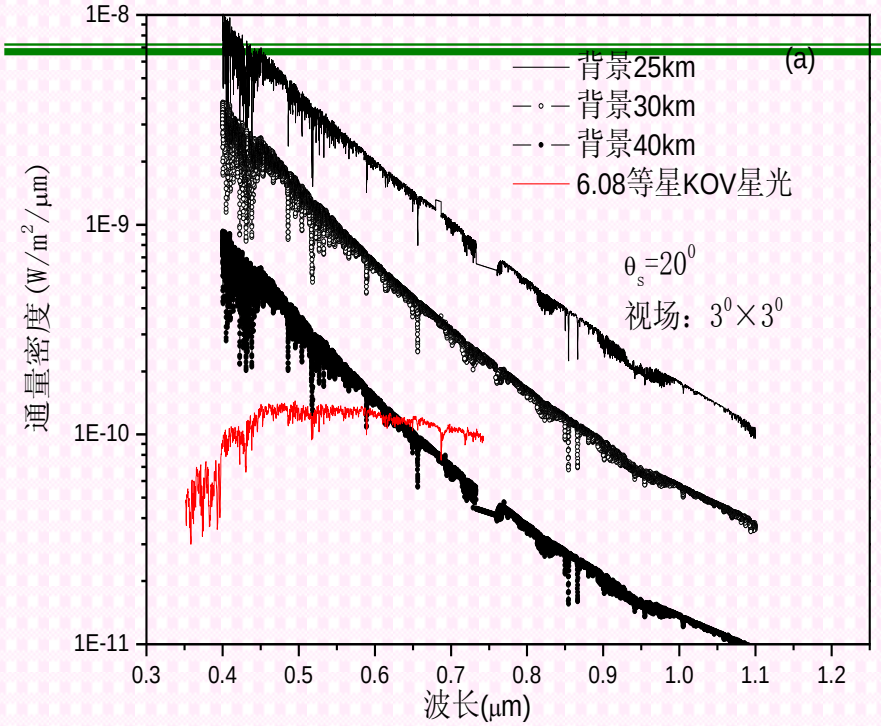
2.大气背景辐射效应

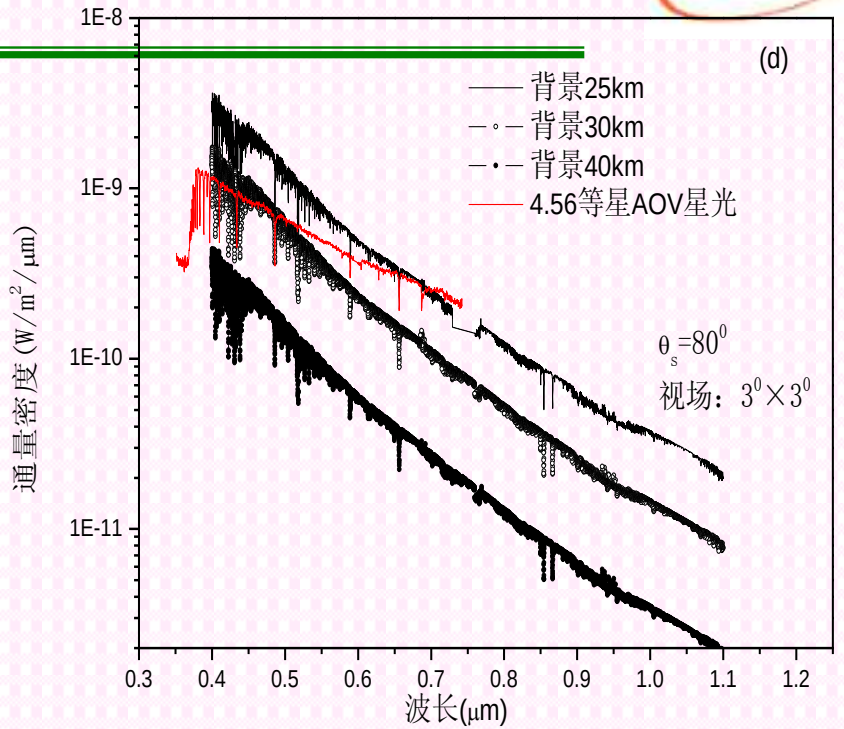


不同高度处天顶方向大气背景辐射（中纬度夏季，地面能见度23km，太阳天顶角30度）

光谱背景辐射强度随太阳天顶角的变化

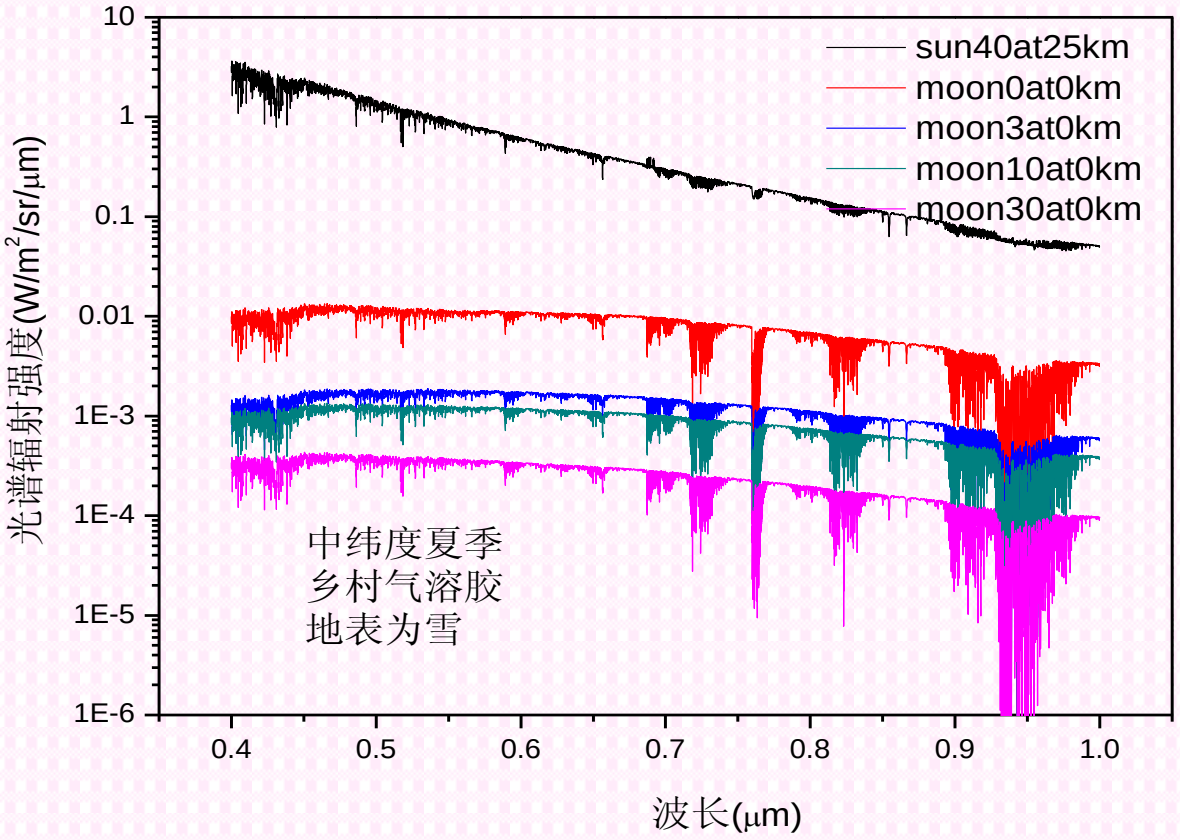




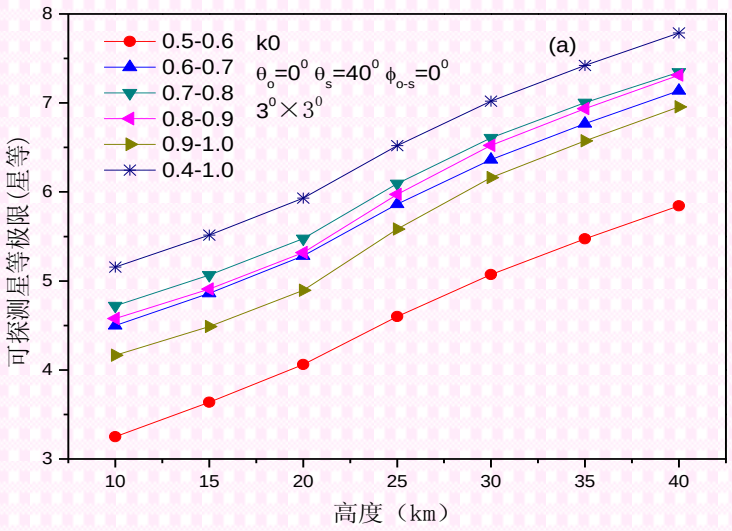


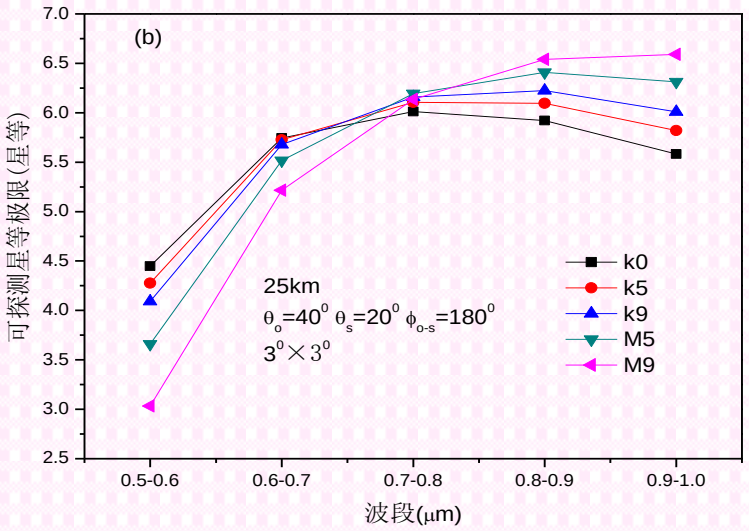
白天恒星的通观星时星光通量密度和
单位像元视场角内的天空背景通量密度比较

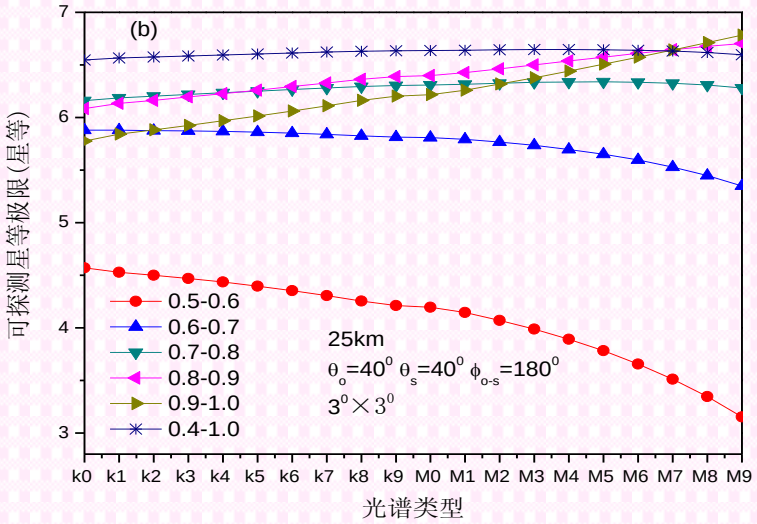
散射太阳辐射和散射月亮辐射

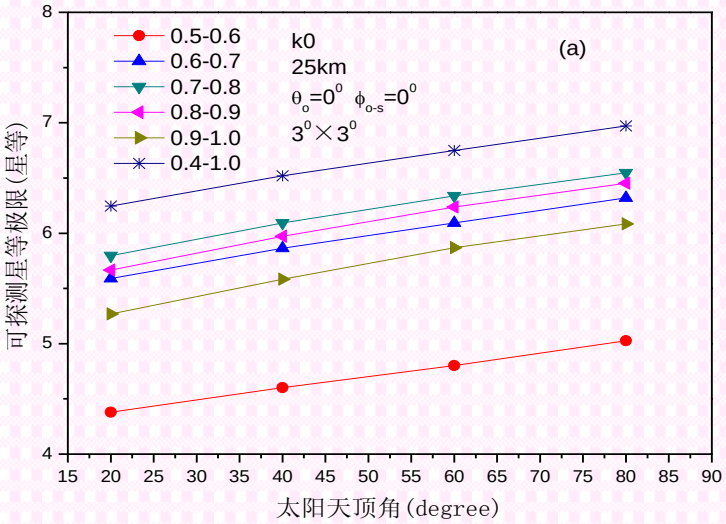


白天观星可探测星等极限值分析



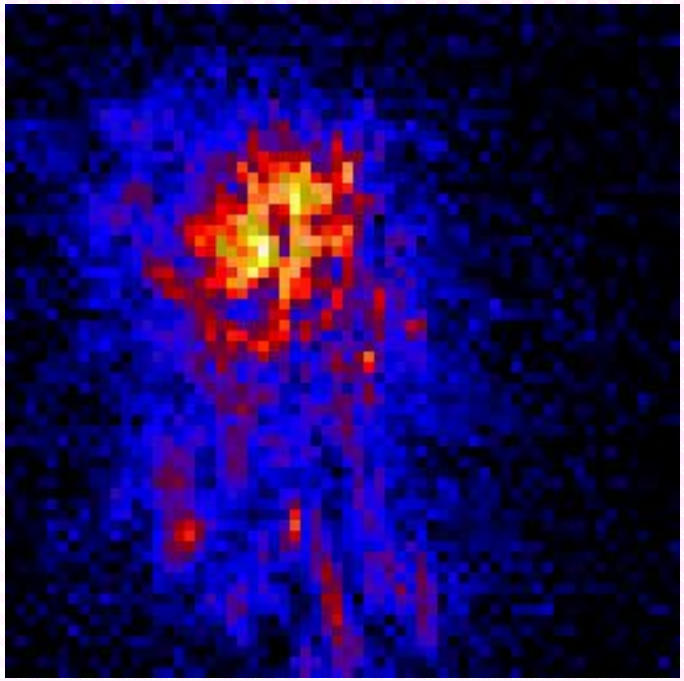


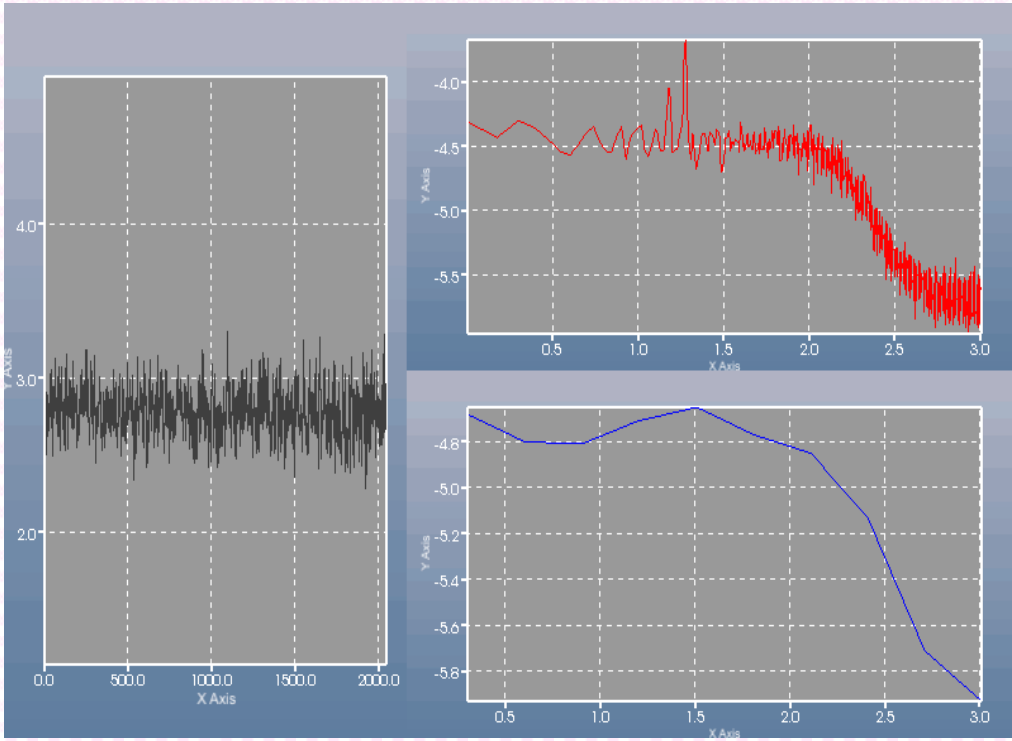




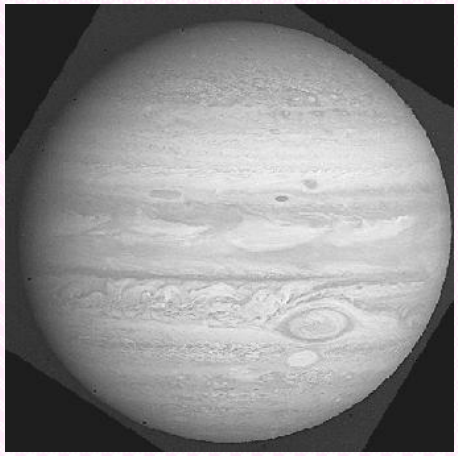
3. 大气湍流效应：星光闪烁、到达角起伏

湍流引起的激光大气闪烁图像：

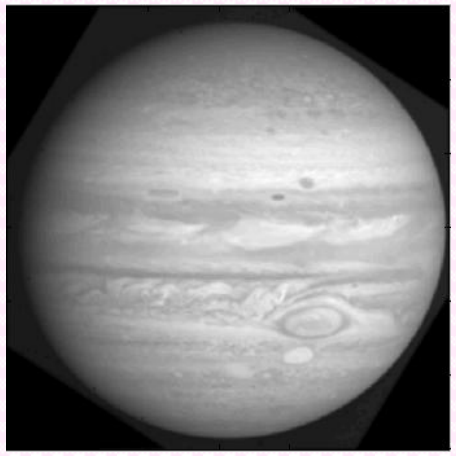




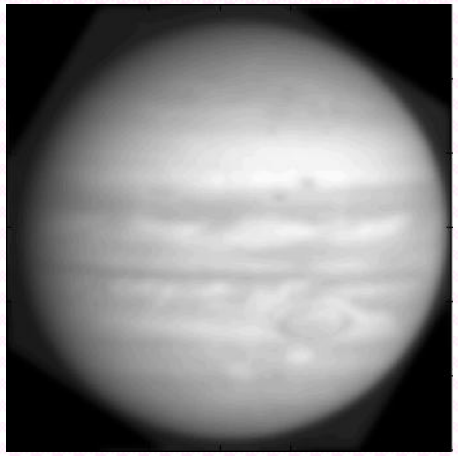
大气湍流影响图像分辨率的实例



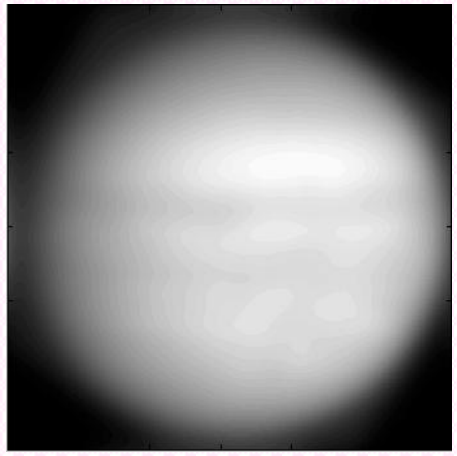
$\varepsilon = 0''05$
$r_0 = 2.5$ m



$\varepsilon = 0''1$
$r_0 = 1$ m

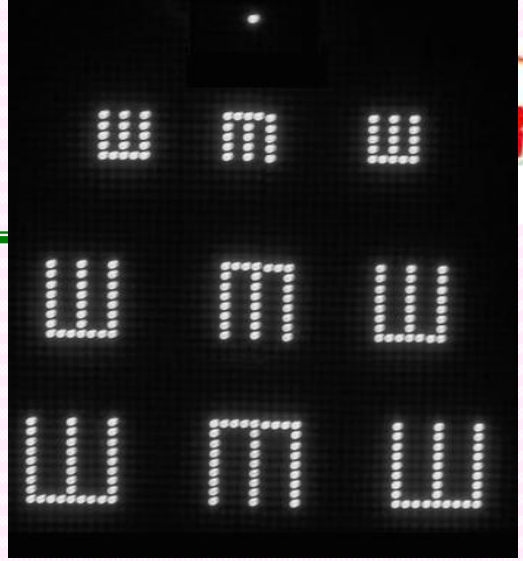


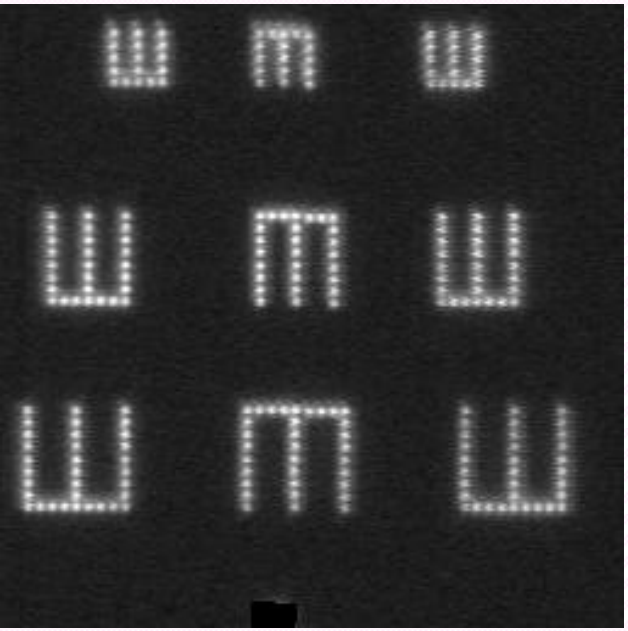
$\varepsilon = 0''3$
$r_0 = 30$ cm



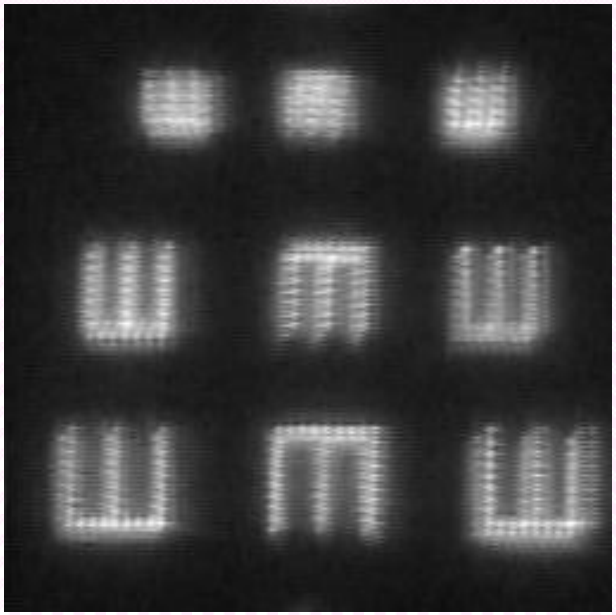
$\varepsilon = 1''$
$r_0 = 10$ cm

大气湍流引起图像模糊

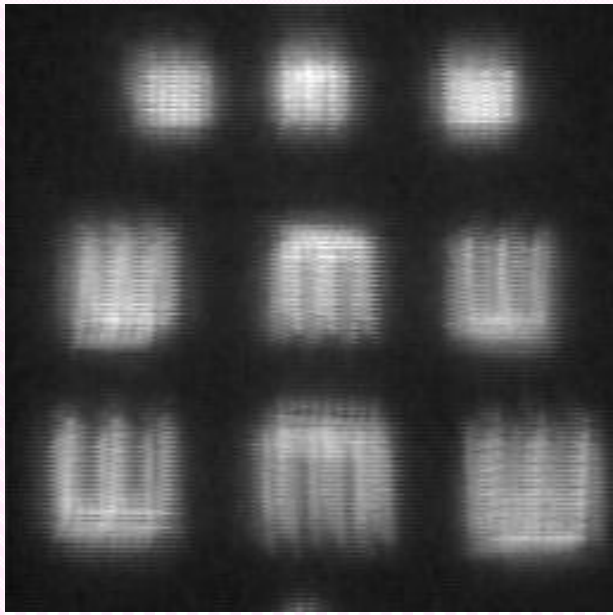




$r_0 = 15cm$



$r_0 = 10cm$



$r_0 = 5cm$

二. 中科院大气成分和光学重点实验室有关大气传输的研究进展

国家863计划

大气光学重点实验室

围绕国家863计划任务,研究激光大气传播规律，提供系统、可靠的激光大气传输数据；研究改善大气对激光传输影响的关键技术，发展和完善自适应光学技术，提供先进实用的自适应光学系统。

http://lacor.aiofm.ac.cn

中国科学院大气成分与光学重点实验室

Key Laboratory of Atmospheric Composition and Optical Radiation （LACOR）, CAS

电子公告栏 MORE

- 关于论著发表等实验室.. 03-08
- 学术报告：激光雷达卷.. 04-06
- 关于财务对外办理业务.. 03-21
- 关于推荐安徽省重点发.. 03-08
- 关于组织申报引进高层.. 03-08
- 关于2009年度国家自然.. 03-08
- 关于“第五届苏皖两省.. 03-08
- 《大气与环境光学2009.. 03-08

站内搜索

关 键 字：

所属类别： ==全部内容==

搜 索

图片新闻 MORE

中国科学院大气成分与光学重点..

中国科学院大气成分与光学重点实验室正式获批..

2008年12月19日，“中国科学院大气成分与光学重点实验室”获得中国科学院批准正式成立。该实验室.. 更多>>

我室研究生沙龙举行喜迎金牛师生联欢茶话会

我室研究生沙龙举行喜迎金牛师生联欢茶话会 2009年1月8日下午，会议室内暖意融融，气氛热烈，70多.. 更多>>

合肥: 6℃~23℃
下午: 晴
晚上: 晴

Email 入口

学术沙龙

工作动态 MORE

- 关于召开第一届中国激光雷达学术.. HOT 07-19
- 关于对开放课题基金进行中期检查.. HOT 07-12
- 大气成分与光学重点实验室2011年.. HOT 07-12
- 美国密歇根大学XiangLei Huang教授.. 08-02
- 美国纽约州立大学奥尔巴尼分校MIN .. 07-12

内部消息 MORE

- 关于中英文期刊检索的说明 07-17
- 关于研究生暑期安排、禁止下湖游泳.. 07-18
- 关于高温期间集体休假的通知 07-16
- 关于严格执行办公场所空调温度控制.. 06-30
- 关于端午节放假时间的通知 06-10

友情链接 MORE

- 国家重点实验室
- 国家自然科学基金委
- 合肥物质科学研究院
- 合肥物质科学研究院图书馆
- 中国科学院安徽光机所
- 中国科学院研究生院
- 中国国家图书馆

实验室学科方向、主要研究内容

1) 大气光学特性：大气成分的光物理和光化学特性；大气湍流光学特性；云和天空背景辐射特性；

2) 大气成分和气候变化：大气成分的时空演化；大气辐射收支和效应；大气成分变化的气候效应；

3) 光波大气传输：大气辐射传输；激光大气传输；非线性大气光学；目标图像传输；

4) 大气光学探测：光学大气遥感方法技术；激光雷达探测方法技术；大气参数数据库与模式；

实 验 室 定 位 和 目 标

LACOR

国家863计划大气光学重点实验室 + 中科院大气成分与光学重点实验室
任务 + 学科

- 围绕大气成分光物理光化学特性、光辐射大气传输效应及其对光电工程和气候变化的影响、大气光学探测新方法新技术等科学技术问题开展基础性、前瞻性、战略性研究；

- 获取大气成分及其与光波相互作用的规律性认识，发展大气成分及相关大气参数的定量探测设备，建立综合实验观测站，获取大气成分和辐射分布及其变化规律性认识，建立大气成分与光学特性定量数据库和模式；

- 发展大气成分与光学学科交叉创新研究平台，解决我国先进光电工程应用和应对气候变化等重大国计民生问题中的有关关键科学技术问题。

大气光学研究中心组成

大气光学研究中心

- 激光大气传输与校正研究室
- 大气光学性质研究室
- 激光雷达探测技术研究室

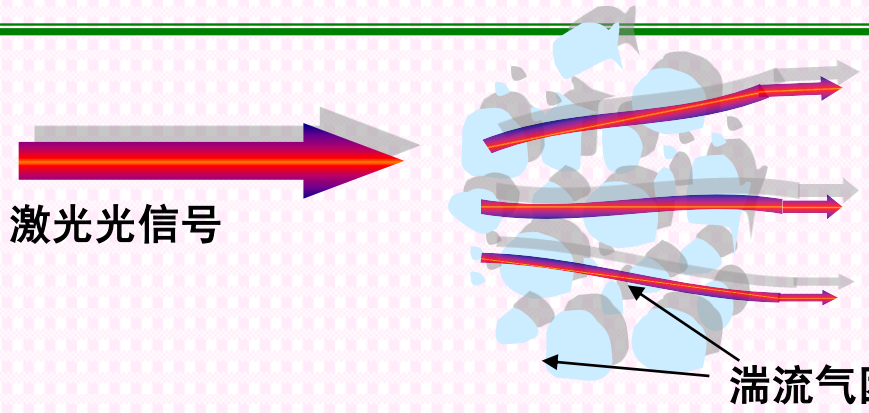
中心在职职工及博士后总数62人，在读博士生、硕士生64人；
设有大气光学和光学工程博士后流动站；
光学、大气物理与大气环境2个博士及硕士学位授予点。

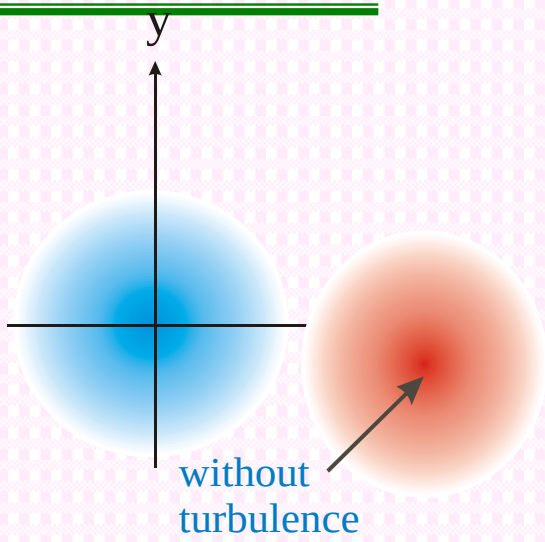
激光大气传输与校正研究室

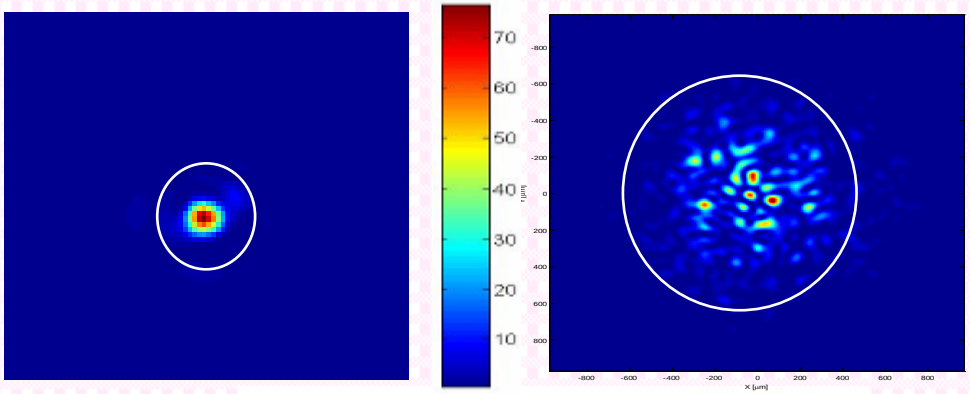
激光大气传输与校正研究室是大气光学研究中心组成之一，主要从事激光大气传输及其自适应光学相位校正的研究工作。研究内容主要包括：

- 激光大气传输与自适应光学相位校正理论和数值仿真研究
- 激光大气传输与自适应光学相位校正规律的实验研究
- 激光大气传输评估系统研究与研制
- 高能激光参数测量方法研究与测量设备研制
- 超短脉冲激光大气传输非线性效应研究

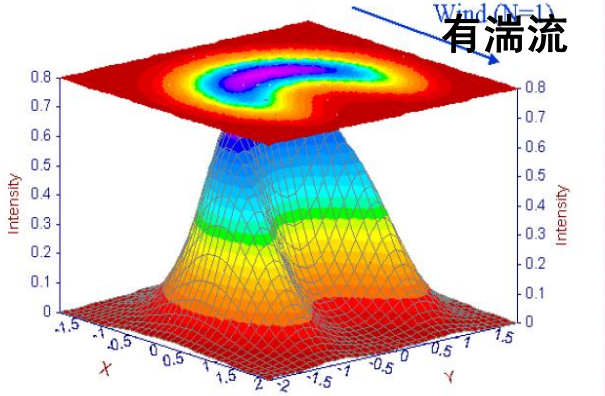
激光大气传输效应简介



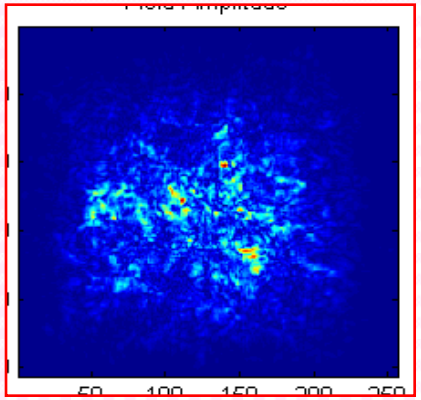




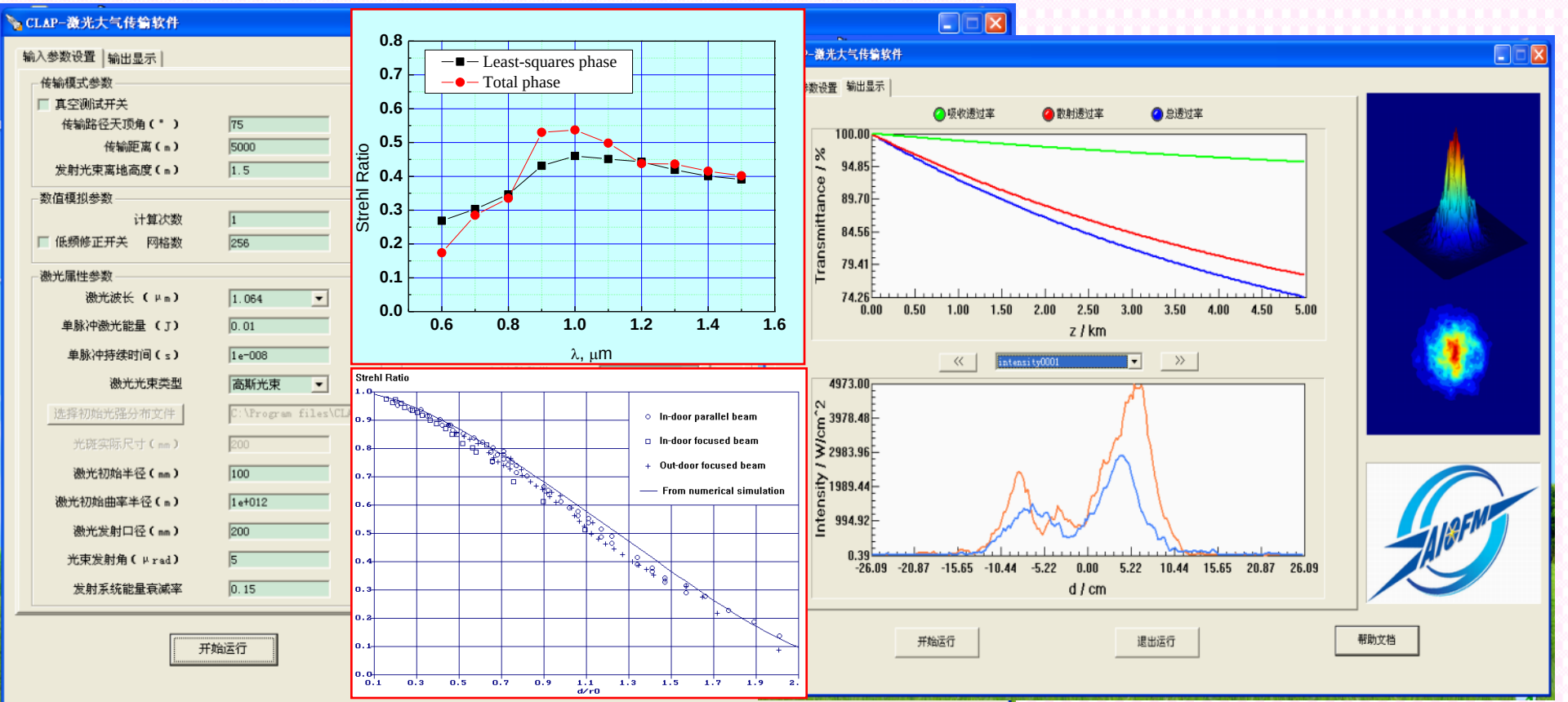
无湍流



有湍流

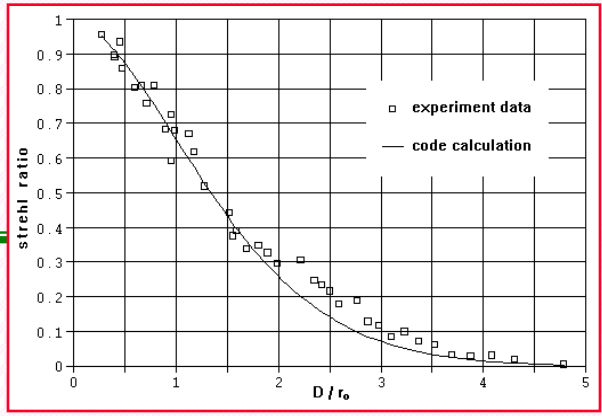


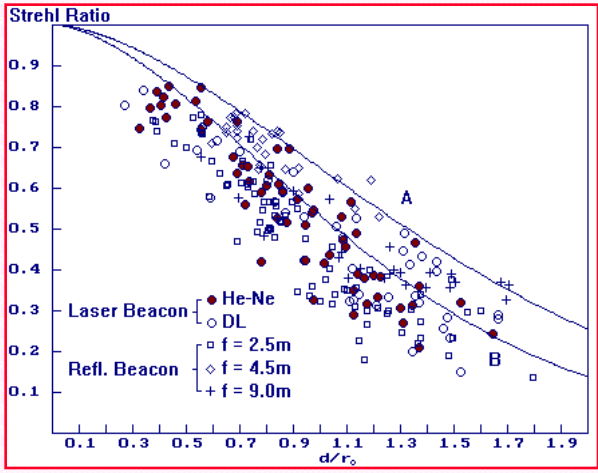
- 建立了激光大气传输及自适应光学相位校正数值仿真的实用化软件平台，并在湍流和热晕相屏及传输方程的算法、自适应光学系统仿真等方面有所创新，总体上达到了国际先进水平。

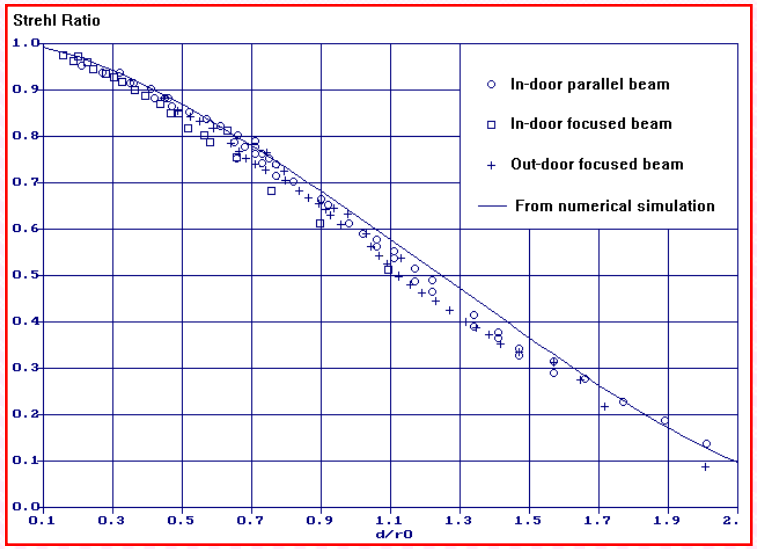


37单元激光发射自适应光学系统和大气湍流效应校正实验

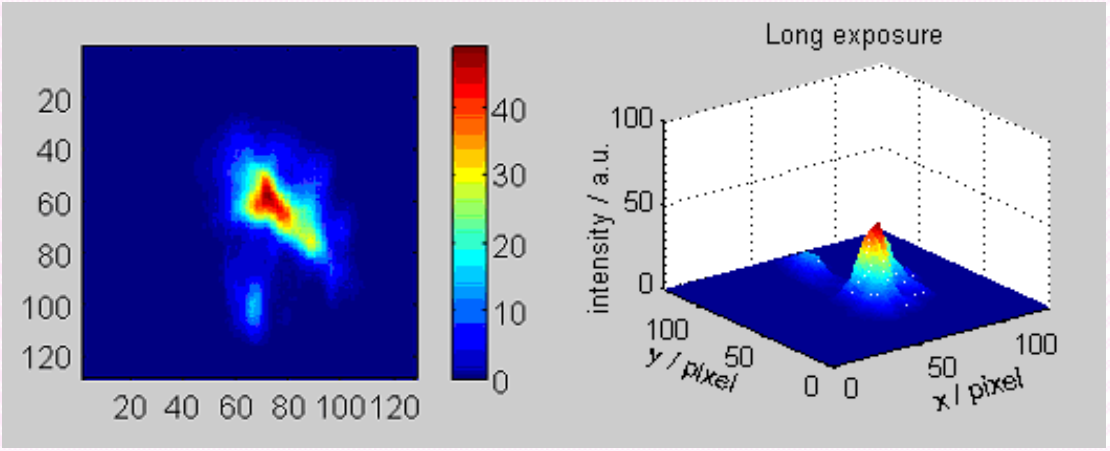
专家鉴定意见：“该系统的研制和实验结果表明，我国激光发射自适应光学技术和大气传输实验技术达到了国际先进水平，并有创新性。这一成果是我国激光应用技术研究重大进展。”







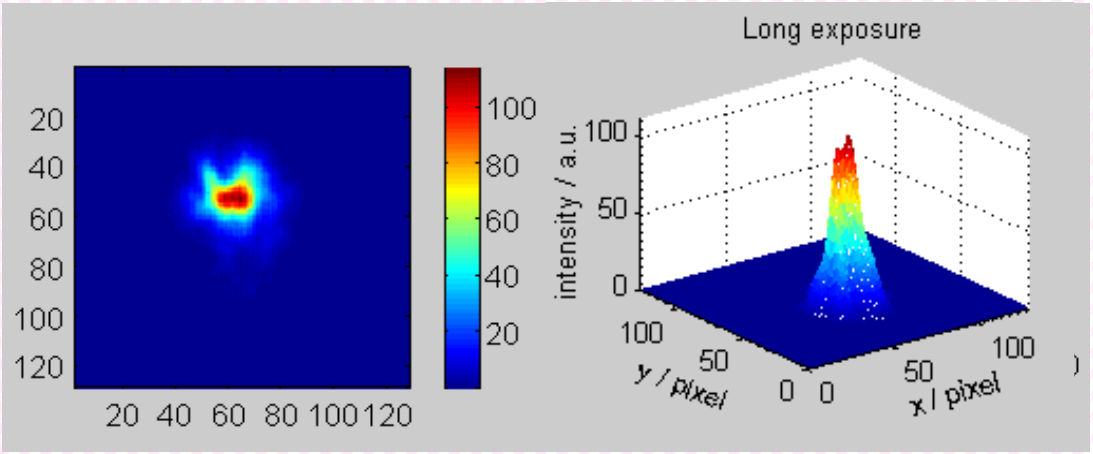
激光大气传输与校正实验平台



$N_D = 166.93$

open loop

$\beta = 5.01$

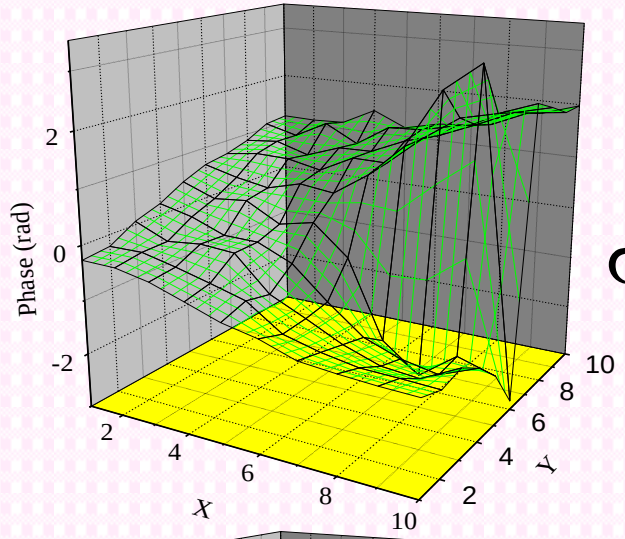


$N_D = 174.21$

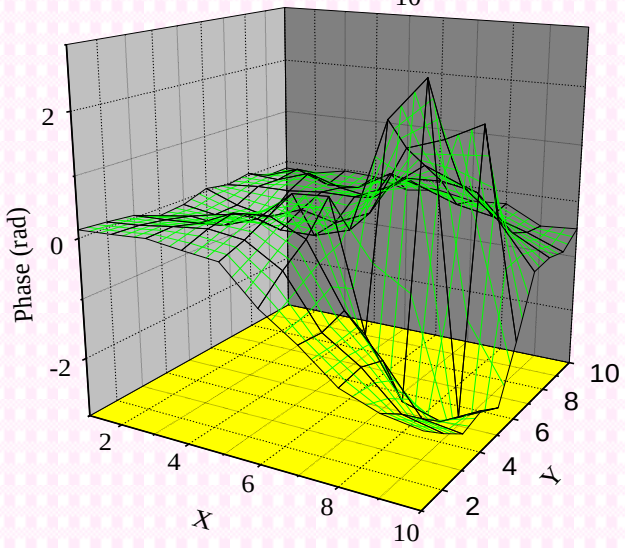
closed loop

$\beta = 3.36$

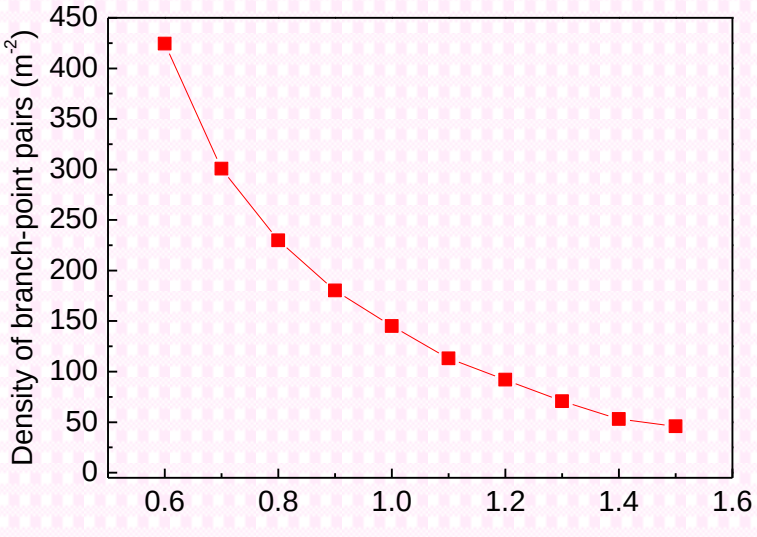
激光大气传输强湍流效应研究——

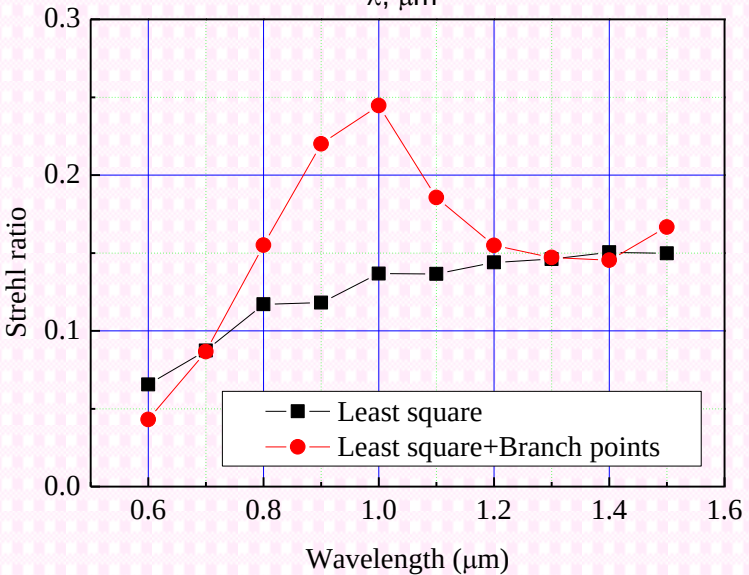


$$\sigma_\chi^2 = 0.10$$



$$\sigma_\chi^2 = 0.31$$



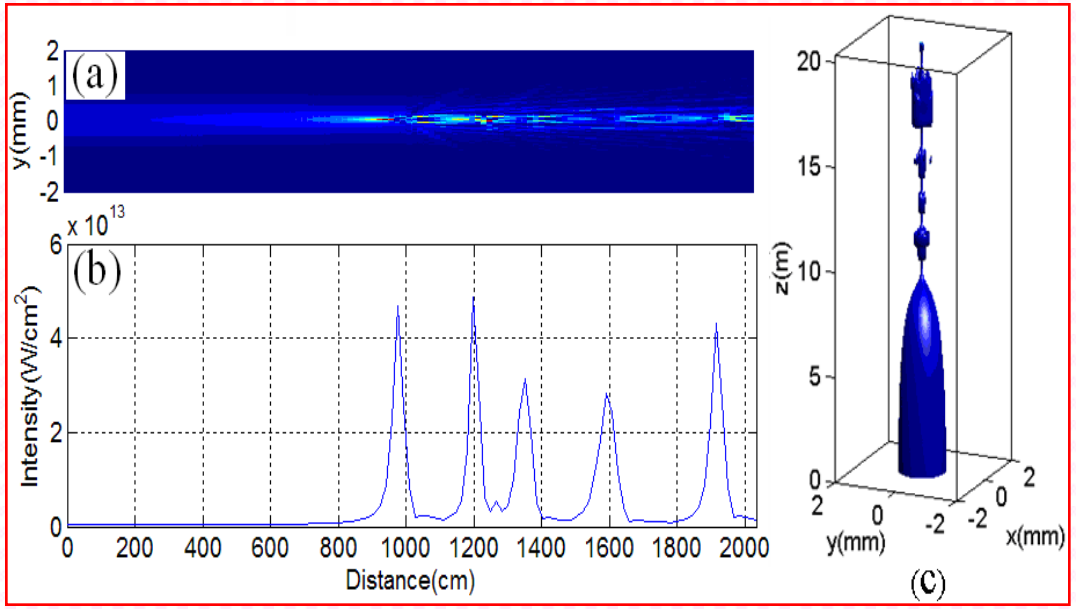


激光大气传输与校正研究室

超短脉冲激光大气传输自聚焦效应研究——

□开展超短脉冲激光大气传输非线性效应研究，研究超短脉冲激光大气传输中高级克尔效应产生等离子体丝的机理。

脉冲激光大气传输实验系统



沿传输方向高级克尔效应产生的等离子体丝的演变过程

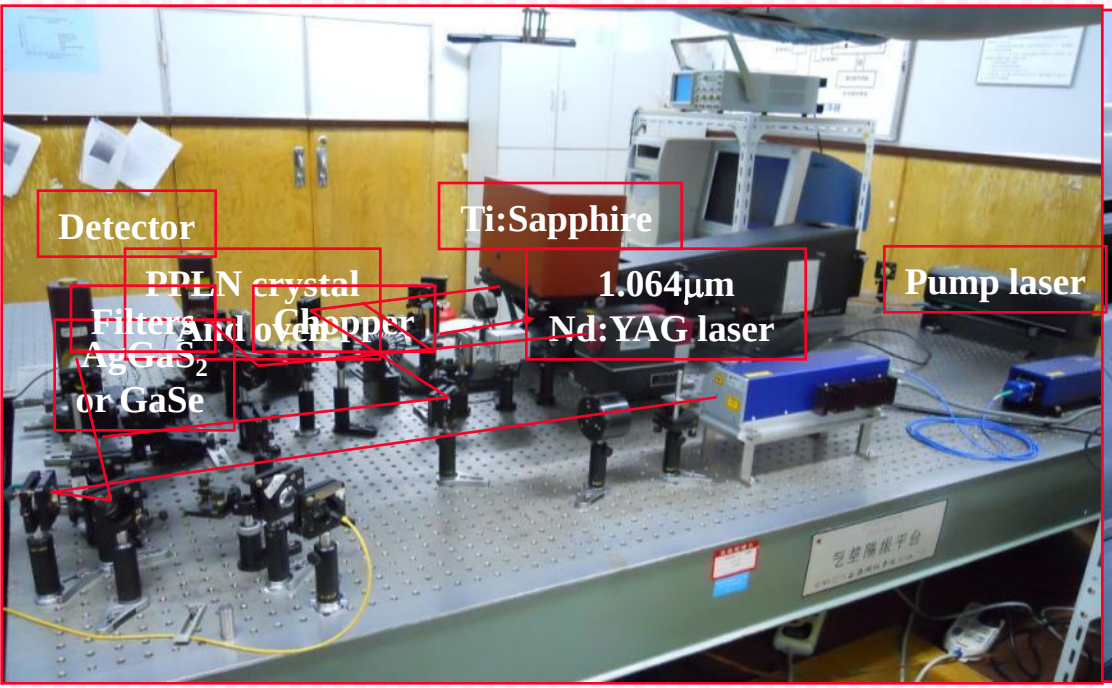
大气光学性质研究室

大气光学性质研究室以光波大气传播、辐射大气传输、大气光学特性及应用模式和大气光学参数先进测量技术为主要研究方向，基础研究和高技术开发并重。

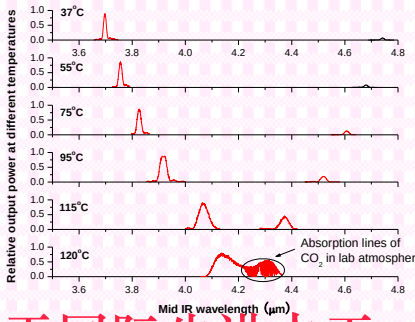
- **光波大气传播**
  - 激光大气传输效应的实验和理论研究
  - 光波大气传播数值模拟算法
  - 大气中的图像退化和复原方法
- **辐射大气传输**
  - 大气分子吸收和气溶胶粒子光散射
  - 大气辐射传输实用模式
  - 大气背景辐射和云辐射特性
- **大气光学特性**
  - 大气光学特性测量和应用模式
  - 大气光学参数先进测量方法研究和设备研制

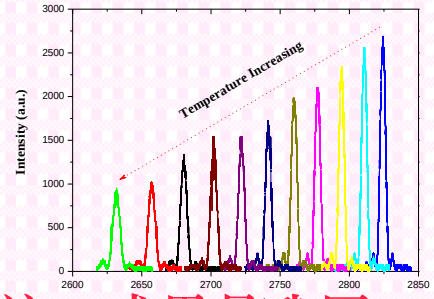
大气光学特性研究平台

——高分辨率高灵敏度大气分子吸收光谱实验系统



波长可调范围	2.6～18 μm
系统激光线宽	~ 40 MHz
激光输出功率	> 20 μW @ 2.6 ~ 5 μm > 10 nW @ 5 ~ 20 μm

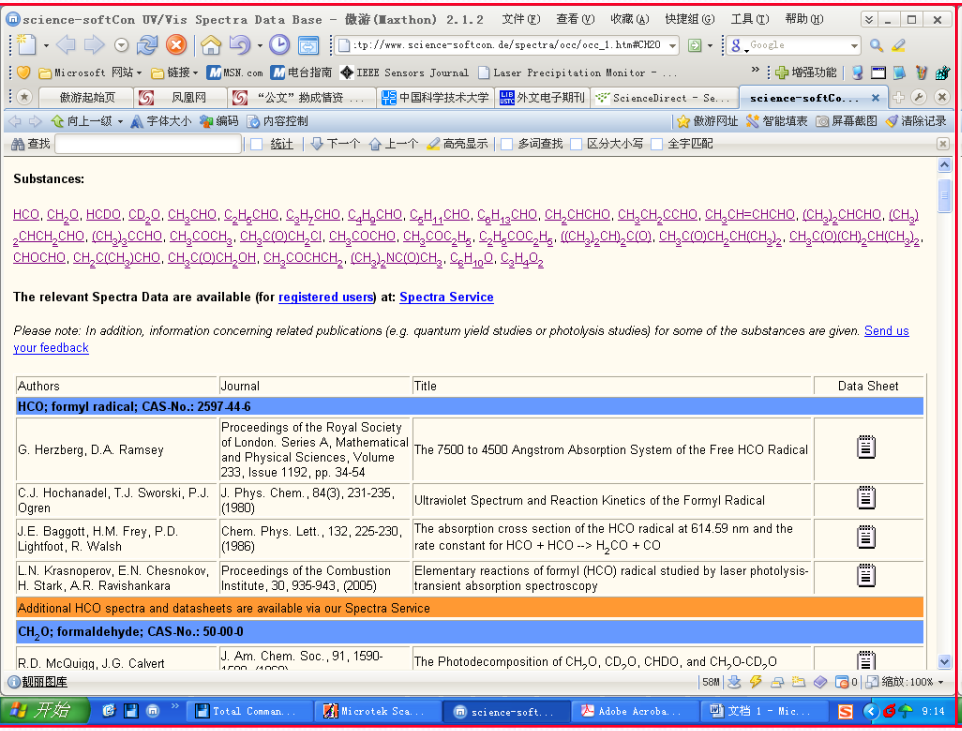




验收组专家认为：“系统具有创新性，处于国际先进水平，这一成果是我国大气分子吸收光谱实验技术研究的一个重大进展。”

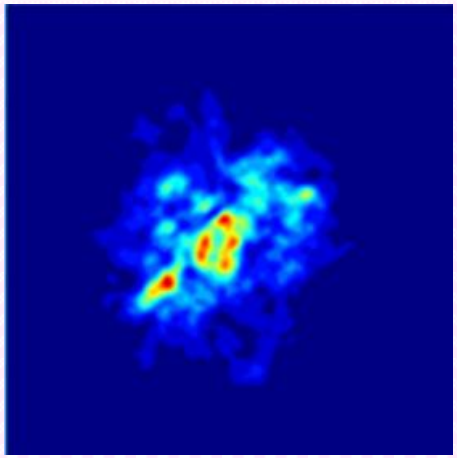
基础光谱数据被国际著名的权威光谱数据库采用

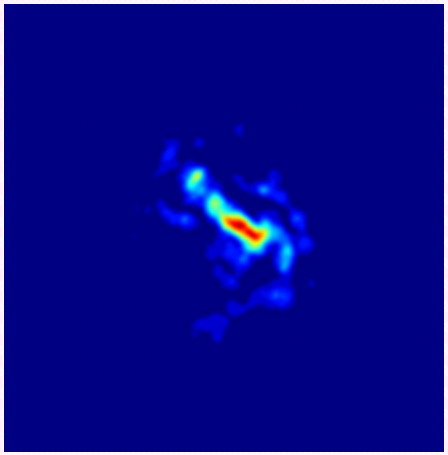
获得的二氧化碳、甲烷等一些重要大气分子高分辨率吸收光谱线参数数据被法国GEISA数据库、 science-softCon UV/Vis+ Spectra Data Base (Photochemistry Database)光化学数据库采用、HITRAN数据库编委引用。

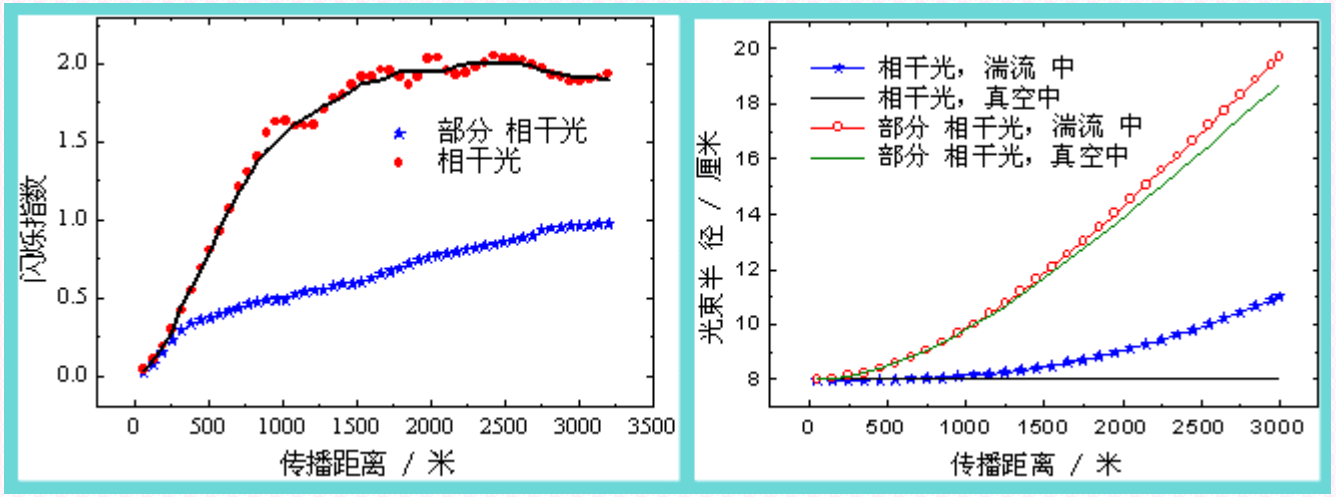


大气光学性质研究室

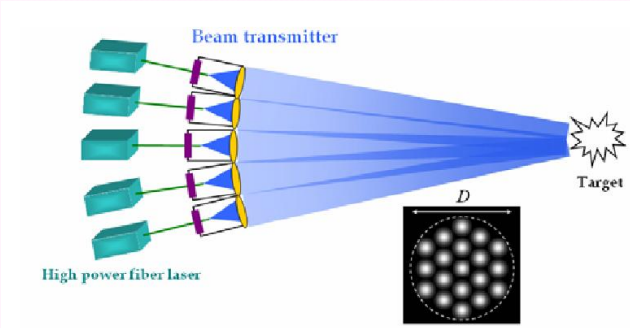
部分相干光传播/光束合成——建立了基于波动光学的数值模拟方法，开展了伪部分相干GSM光束在大气湍流中的光束扩展、漂移和闪烁等传输效应的研究;开展了固体、光纤激光相干合成、非相干合成、部分相干合成技术研究

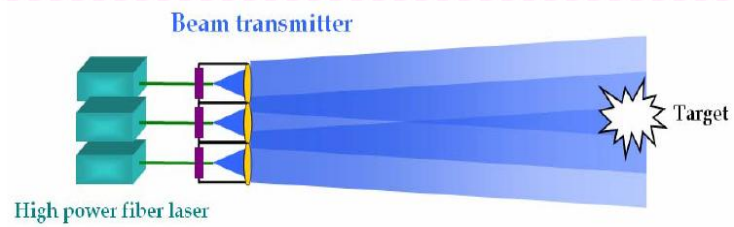






部分相干光与相干光大气传输闪烁指数与光束扩展变化对比

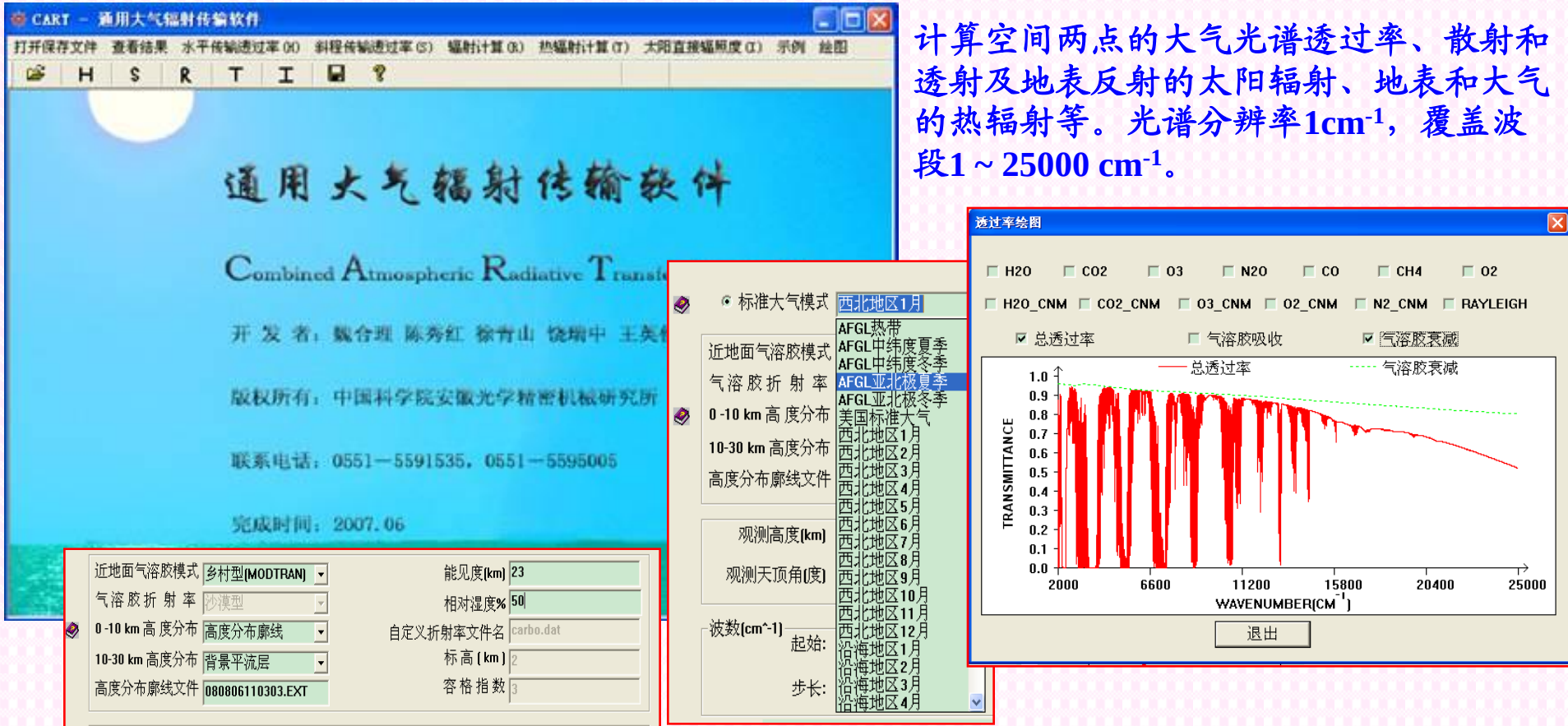




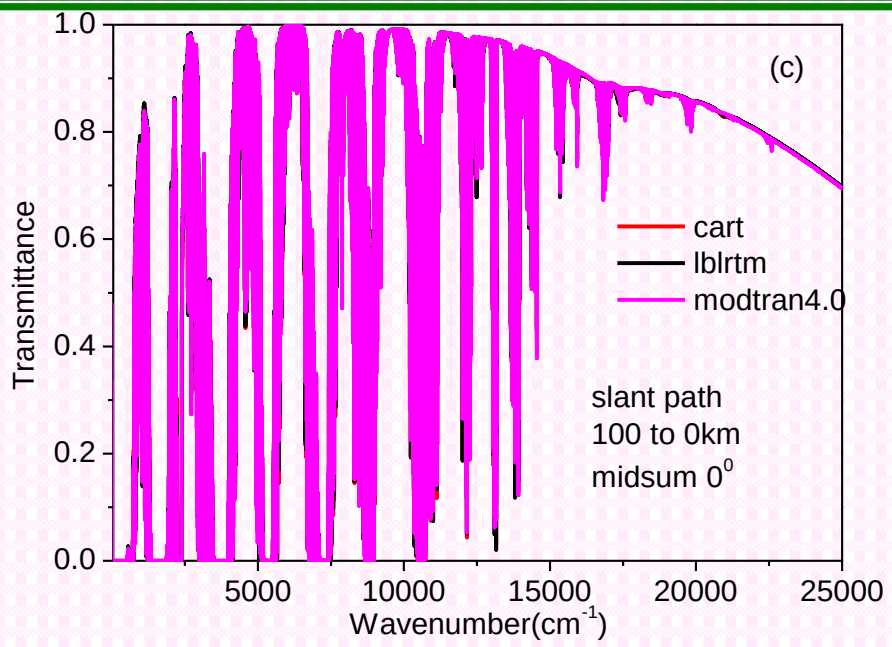
大气辐射传输软件平台

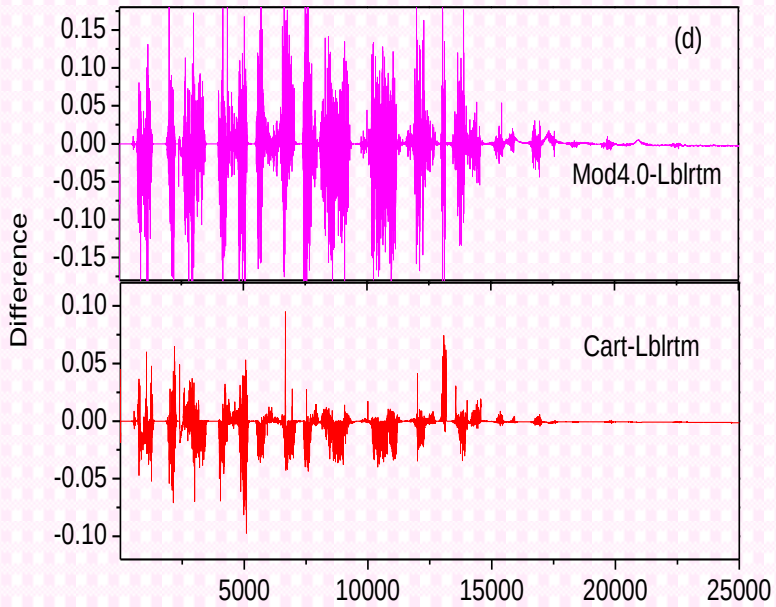
- 发展了具有自主知识产权的通用大气辐射传输的算法、模式和计算软件,并应用于相关光电工程

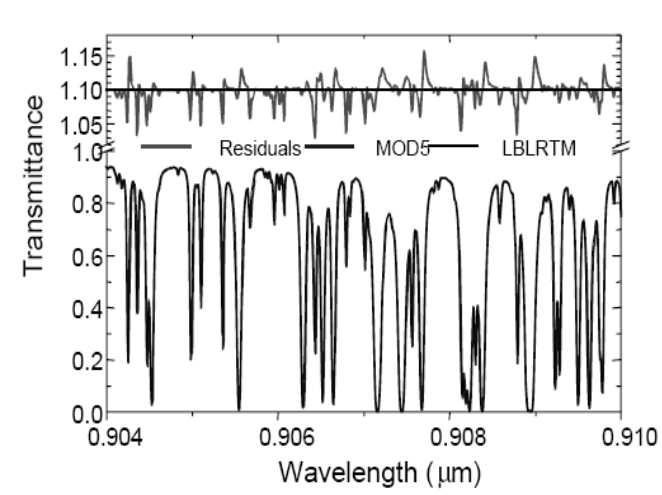
计算空间两点的大气光谱透过率、散射和透射及地表反射的太阳辐射、地表和大气的热辐射等。光谱分辨率1cm^{-1}，覆盖波段1 ~ 25000 cm^{-1}。

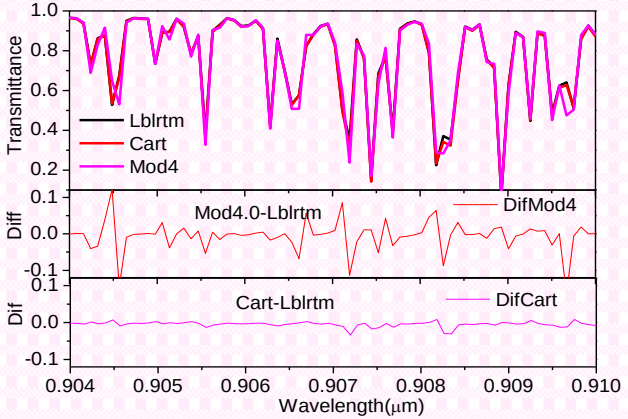


CART，MODTRAN与精确的逐线积分LBL算法的比较



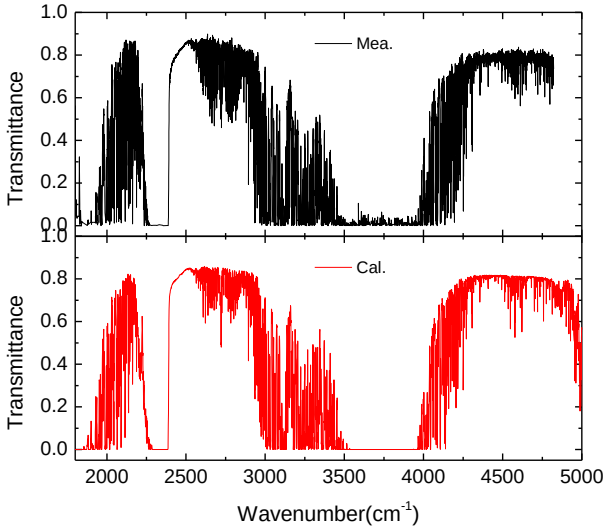




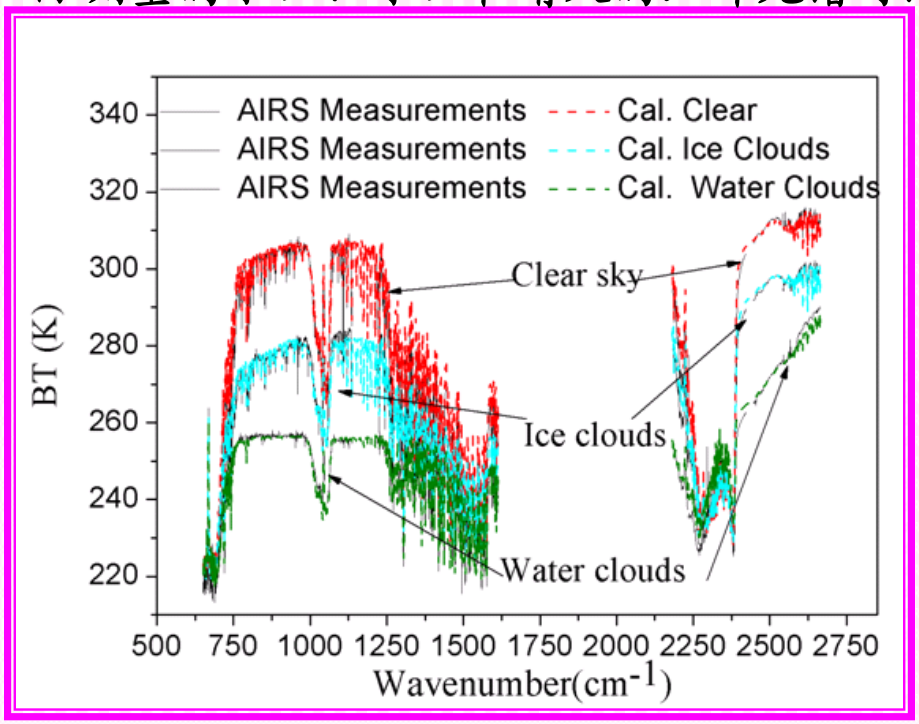


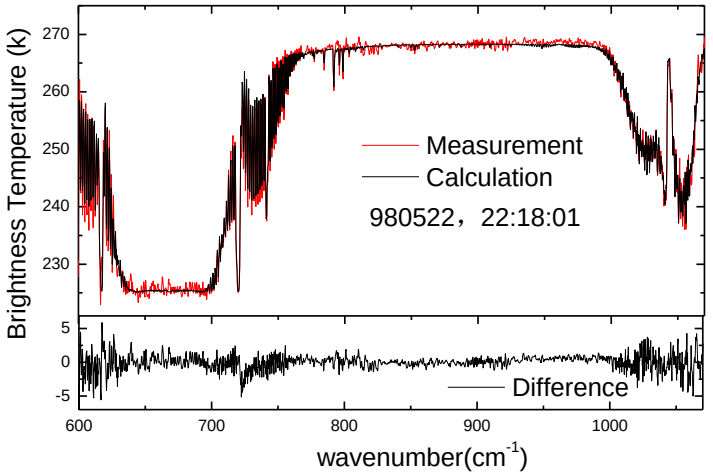
大气光学性质研究室

大气辐射传输模式新增加了考虑多次散射大气背景辐射计算的快速算法，计算精度同离散坐标法，而计算速度可以提高两个量级。目标光谱辐射测量的大气修正精度提高到15%以内。



用快速算法计算的结果与EOS-AIRS卫星的实际测量的水云、冰云和晴天的红外光谱对比





地基观测相关仪器平台

ABB

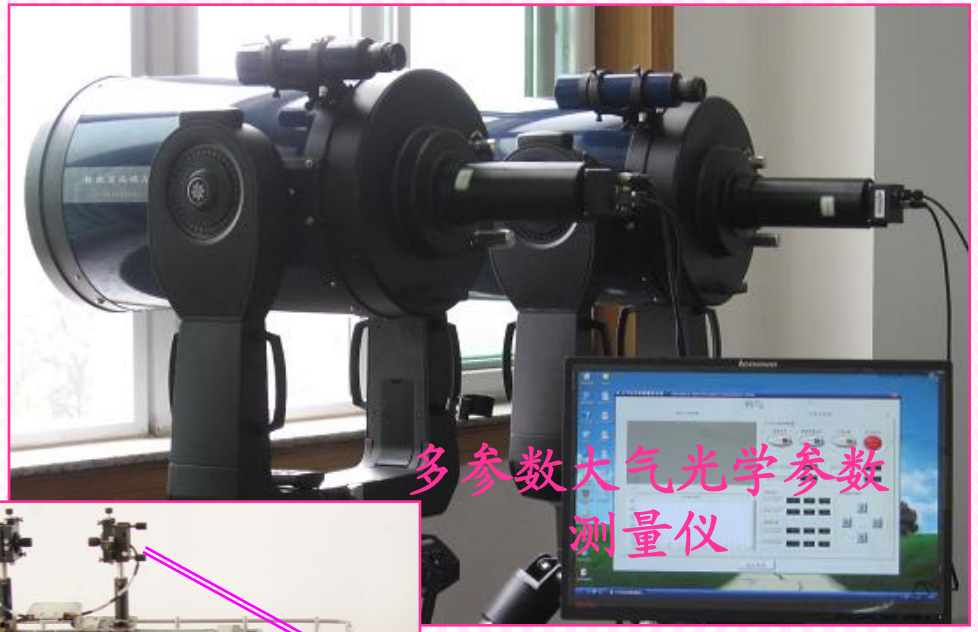
594

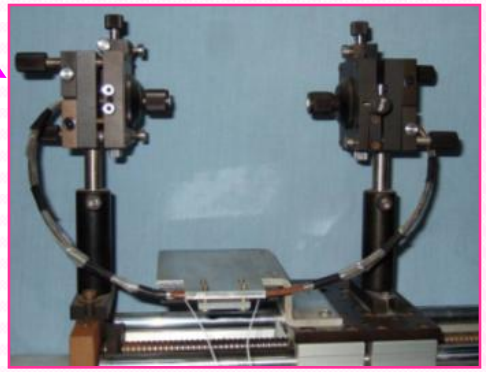
TSI
AERODYNAMIC PARTICLE SIZER

Magee Scientific
Aethalometer™

radiometrics

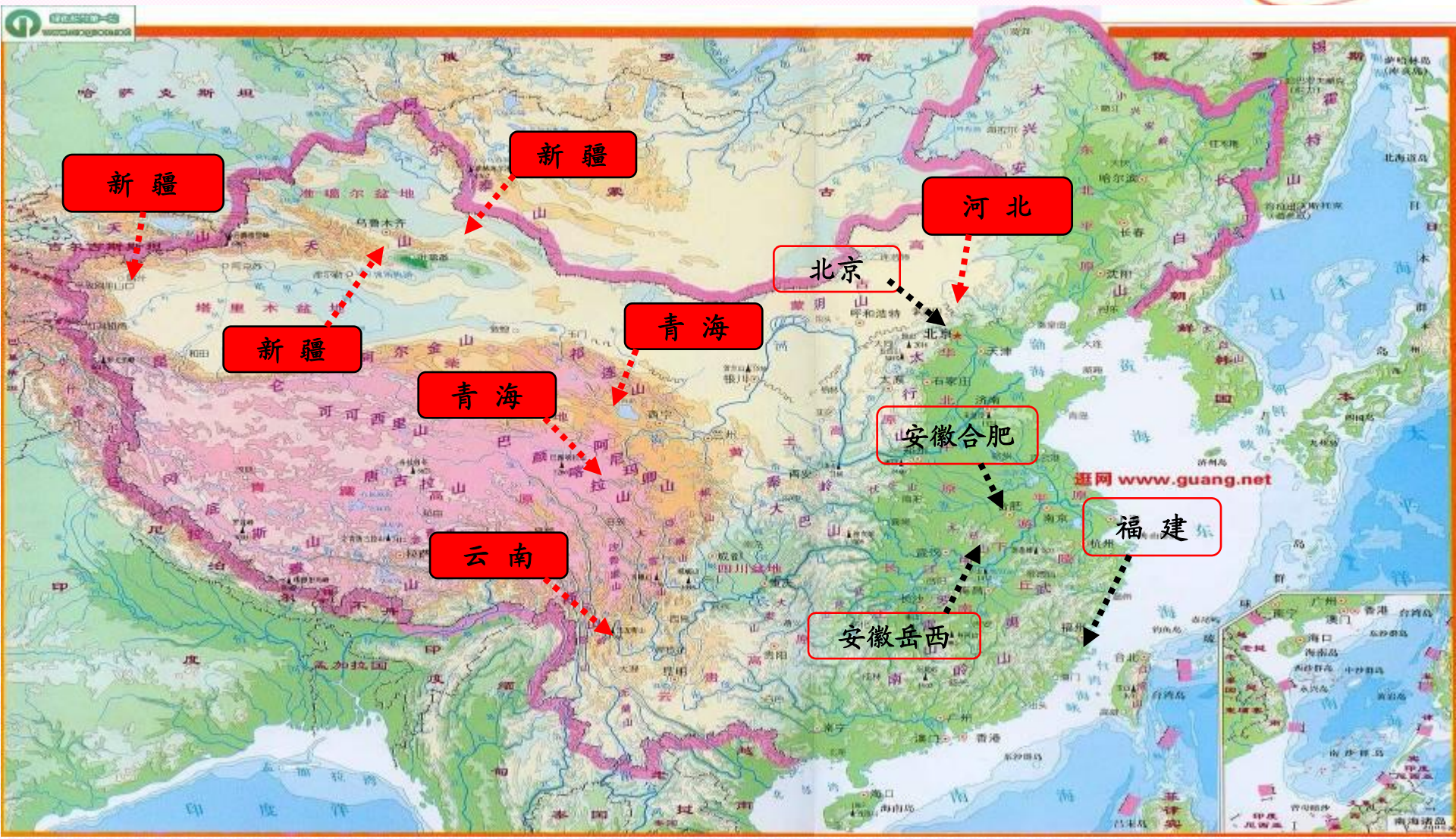
大气光学特性探测新研制的仪器平台





光纤大气湍流折射
率起伏测量仪

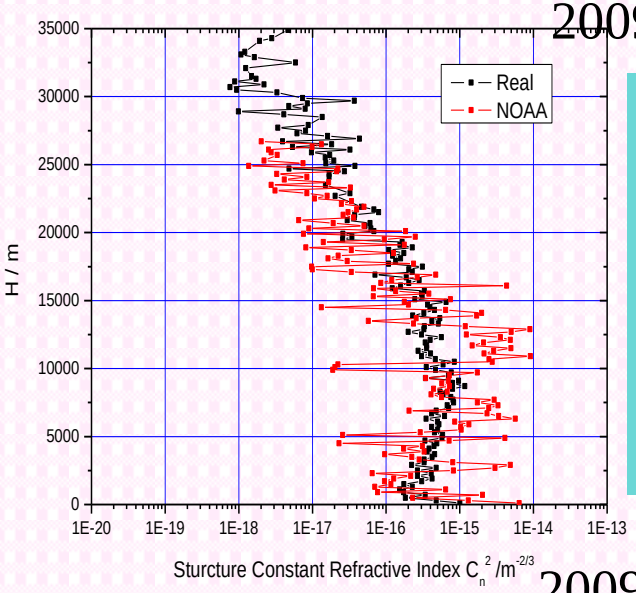
大气参数测量与模式研究



- 近年来承担大气光学参数实地勘测和模式研究所选择的典型地区

大气光学湍流模式研究

2009.3.26 6:30

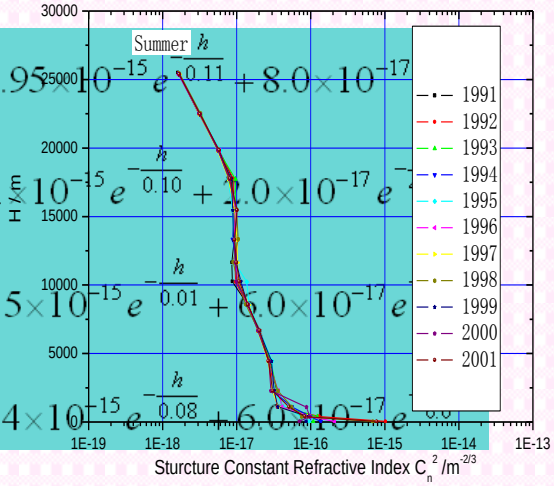


合肥春季模式： $C_n^2 = 8.0\times10^{-26} h^{13.5} e^{-\frac{h}{0.88}} + 1.95\times10^{-15} e^{-\frac{h}{0.11}} + 8.0\times10^{-17}$

合肥夏季模式： $C_n^2 = 2.8\times10^{-29} h^{17} e^{-\frac{h}{0.7}} + 2.1\times10^{-15} e^{-\frac{h}{0.10}} + 2.0\times10^{-17} e^{-}$

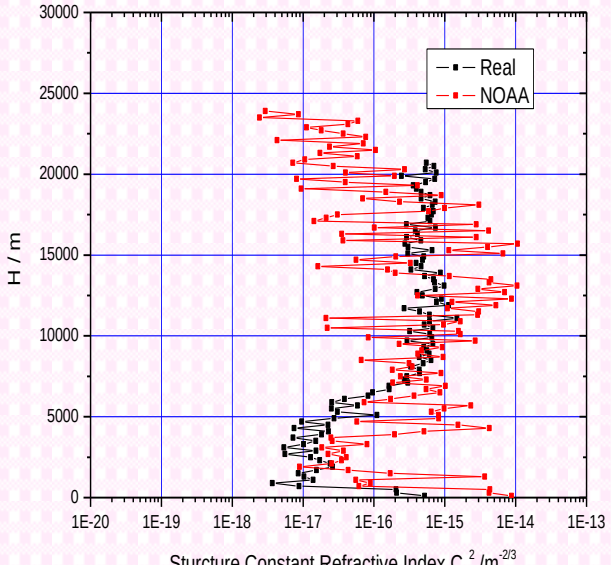
合肥秋季模式： $C_n^2 = 3.0\times10^{-27} h^{14.9} e^{-\frac{h}{0.8}} + 5.5\times10^{-15} e^{-\frac{h}{0.01}} + 6.0\times10^{-17} e$

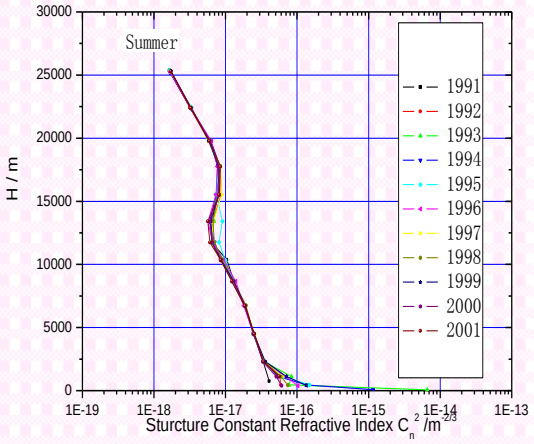
合肥冬季模式： $C_n^2 = 1.2\times10^{-26} h^{15.5} e^{-\frac{h}{0.7}} + 7.4\times10^{-15} e^{-\frac{h}{0.08}} + 6.0\times10^{-17} e$



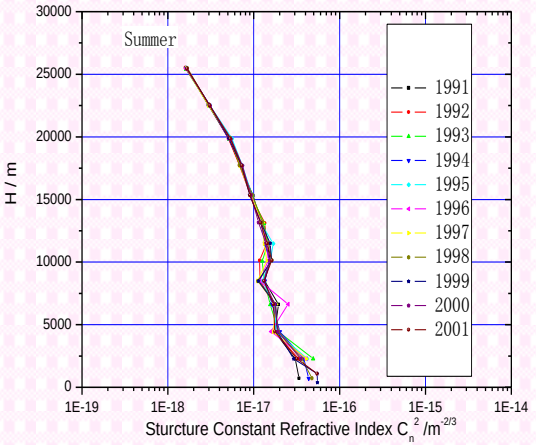
阜阳

2009.8.21；7:30





厦门



库尔勒

激光雷达探测技术研究室

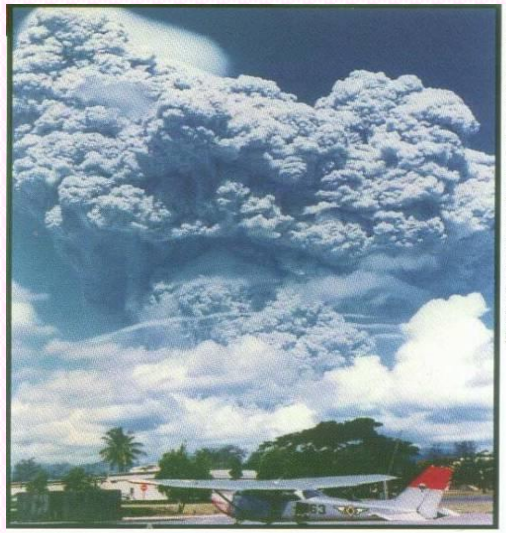
激光雷达探测技术研究室

- 激光雷达探测技术研究室是研制大气探测激光雷达的专业研究机构，具有丰富的激光雷达研制能力，自主研发了地基、车载、机载大气成分与气象参数探测的激光雷达系统。
- 经多年发展，在激光雷达大气探测研究领域已形成了一支包括激光大气探测理论研究、激光技术、光学和机械设计加工、信号探测与采集、计算机控制和软硬件技术等专业配备齐全，有较高学术水平、较强技术攻关能力的研究队伍。
- 在国际上具有一定的知名度，是我国唯一的国际激光大气探测委员会（International Coordination-group for Laser Atmospheric Studies ）的成员单位；亚洲激光雷达网发起和核心成员单位，开展了如Pinatubo火山云等的国际联合观测实验研究，部分激光雷达系统被美国NASA指定为CALIPSO星载偏振-米散射激光雷达全球对比验证试验项目的参试仪器。

发展了大气成分垂直分布探测的一系列激光雷达

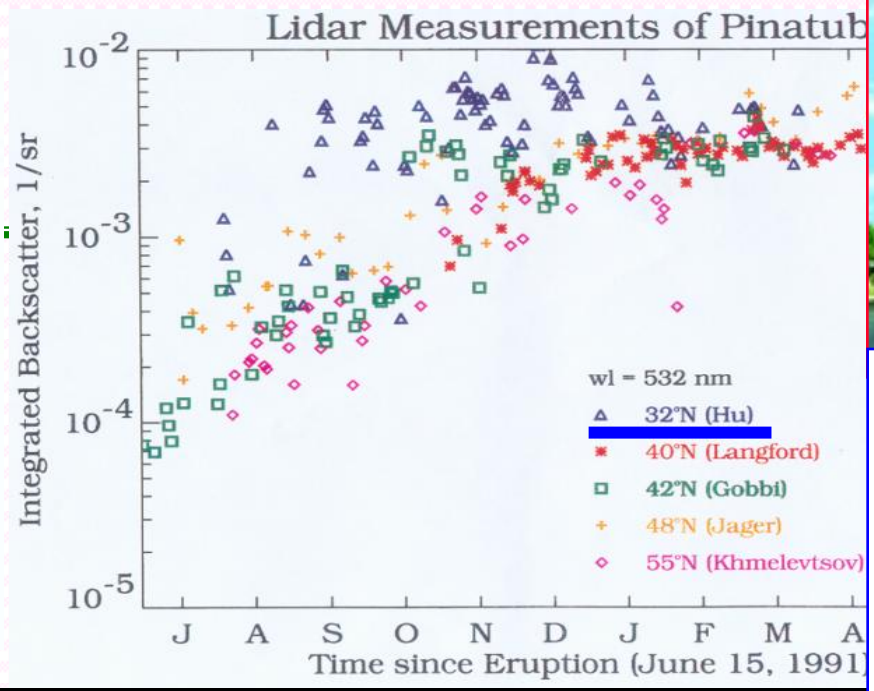
——几乎涵盖了所有的激光与大气相互作用过程

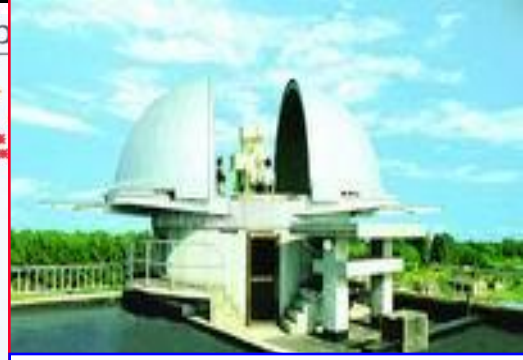
年 份	激光雷达系统名称；26套
1991年	L625多波长激光雷达
1993年	平流层臭氧的紫外差分吸收激光雷达
1997年	L300可移动式双波长激光雷达
2001年	MPL-T1 微脉冲激光雷达
2002年	车载测污激光雷达
2003年	便携式米散射激光雷达；MPL-T1P 微脉冲偏振激光雷达； 车载式双波长米散射激光雷达
2004年	车载式Raman-Mie散射激光雷达；偏振-米散射激光雷达； 实用型车载大气环境监测激光雷达； 基于F-P标准具的多普勒测风激光雷达
2005年	气象业务米散射激光雷达；机载大气探测激光雷达； MPL-T1S 扫描式微脉冲激光雷达；CO_2监测激光雷达； 荧光-瑞利-米散射激光雷达
2006年	纯转动 Raman 测量激光雷达； 双波长双视场Raman-Mie激光雷达
2007年	植物荧光激光雷达
2008年	瑞利-喇曼-米散射激光雷达；车载多波长激光雷达
2009年	扫描式红外激光雷达；1064nm米散射激光雷达
2010年	气溶胶激光雷达；机载双波长偏振米散射激光雷达

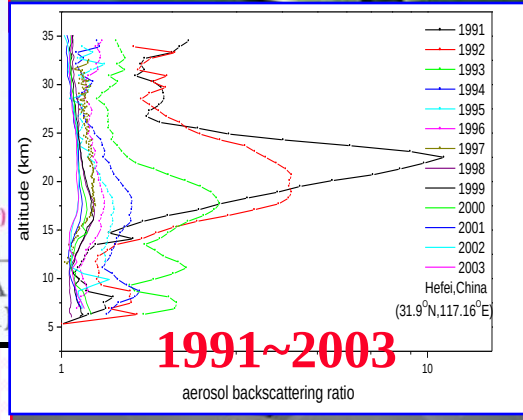


(Philippine Institute of Volcanology & Seismology)

ERUPTION OF MT. PINATUBO
(June 15, 1991).





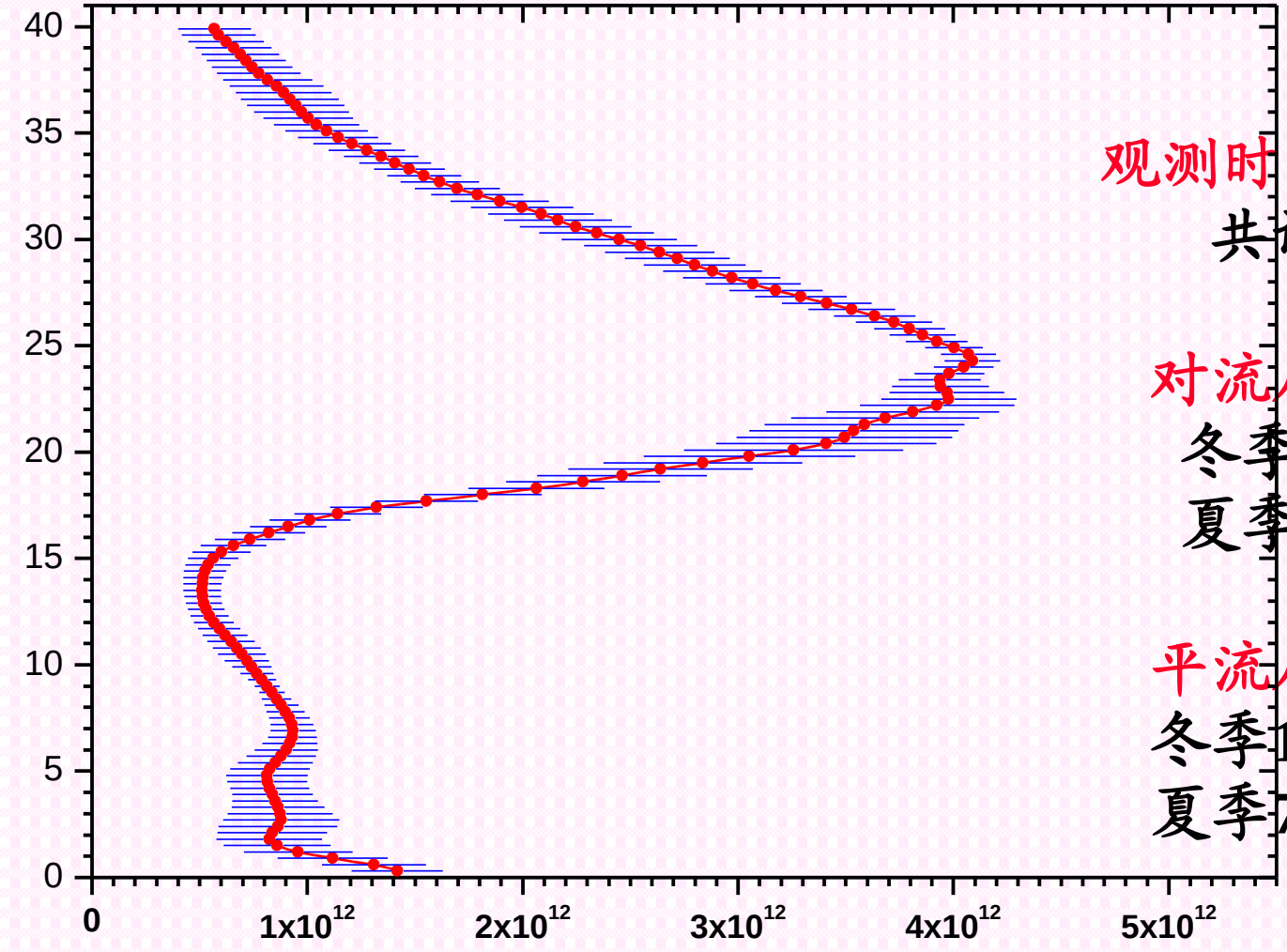


十分清晰地揭示了Pinatubo火山云从爆发、增长、衰变直至消亡全部过程的时空演变资料

“该系统是我国第一台自行研制的紫外差分吸收激光雷达系统，该紫外差分吸收激光雷达系统技术先进，自动化程度高，在技术上国内领先，已达到当前国际上同类激光雷达的先进水平。”

——王大珩、王　水、吕达仁

L625激光雷达观测臭氧数据分布统计



观测时间段：1996-2009年

共计486个晴朗夜晚，

对流层臭氧观测250次---

冬季58次，春季61次，

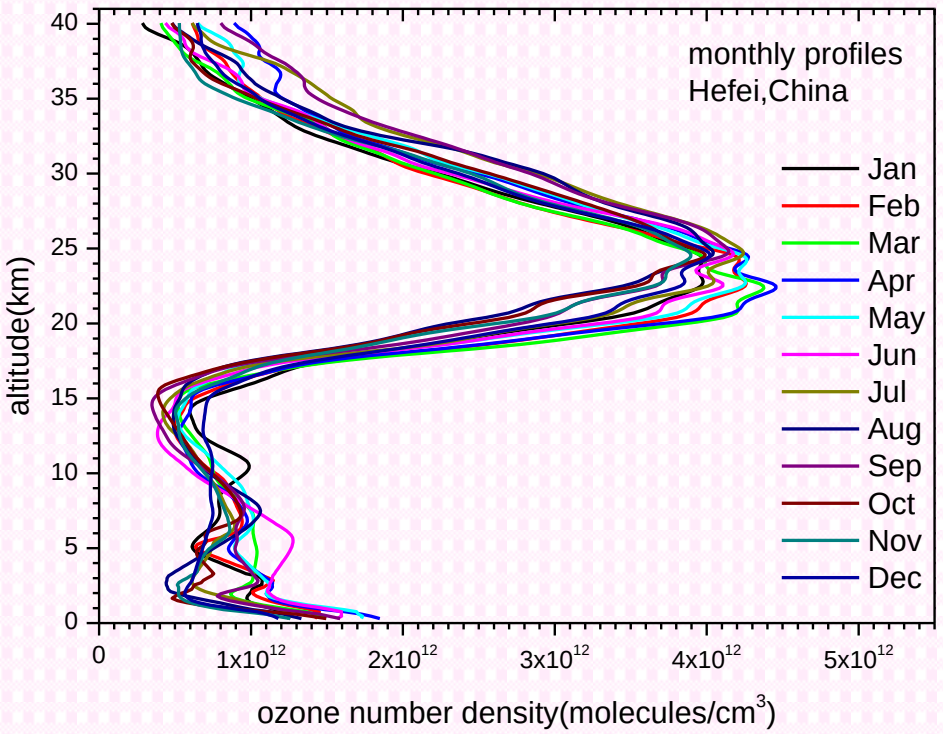
夏季40次，秋季91次；

平流层臭氧观测470次---

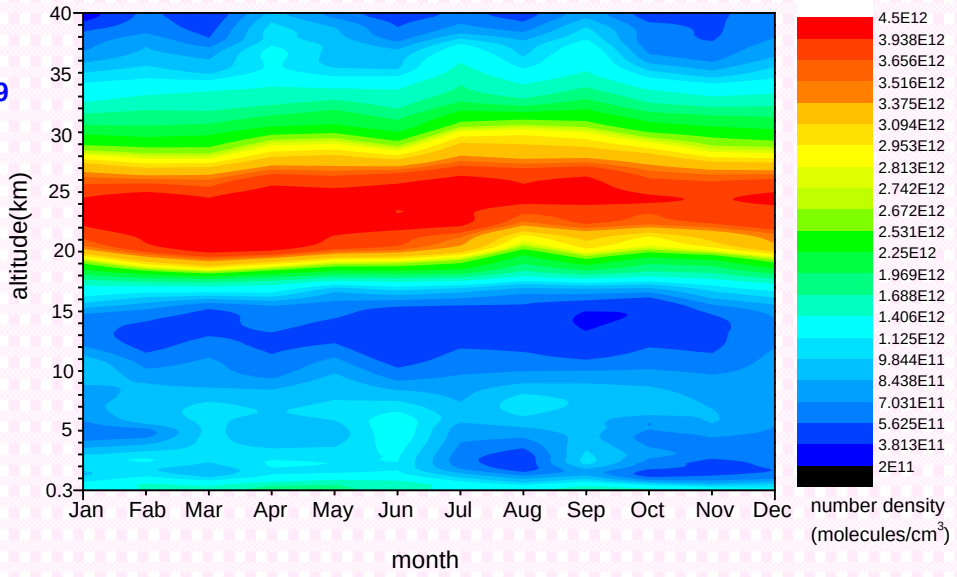
冬季130次，春季87次，

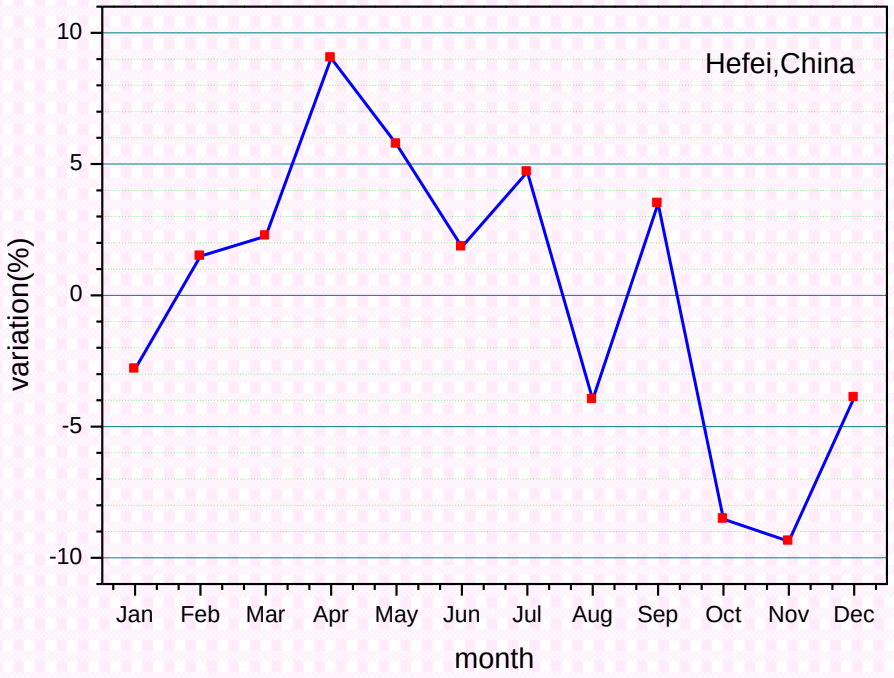
夏季77次，秋季176次。

ozone profiled by L625 DIAL and AML-2 mobile lidar during 1996 and 2009



ozone monthly profile by L625 DIAL and AML-2 mobile lidar during 1996 and 2009





合肥地区0.3-40km范围，每个月的平均含量与年平均含量的相对差别，含量最大出现在4月，最少出现在11月。

AML大气环境激光雷达监测系统

“作为863-308主题一项重要科研成果参加了国家863计划十五周年成果展”

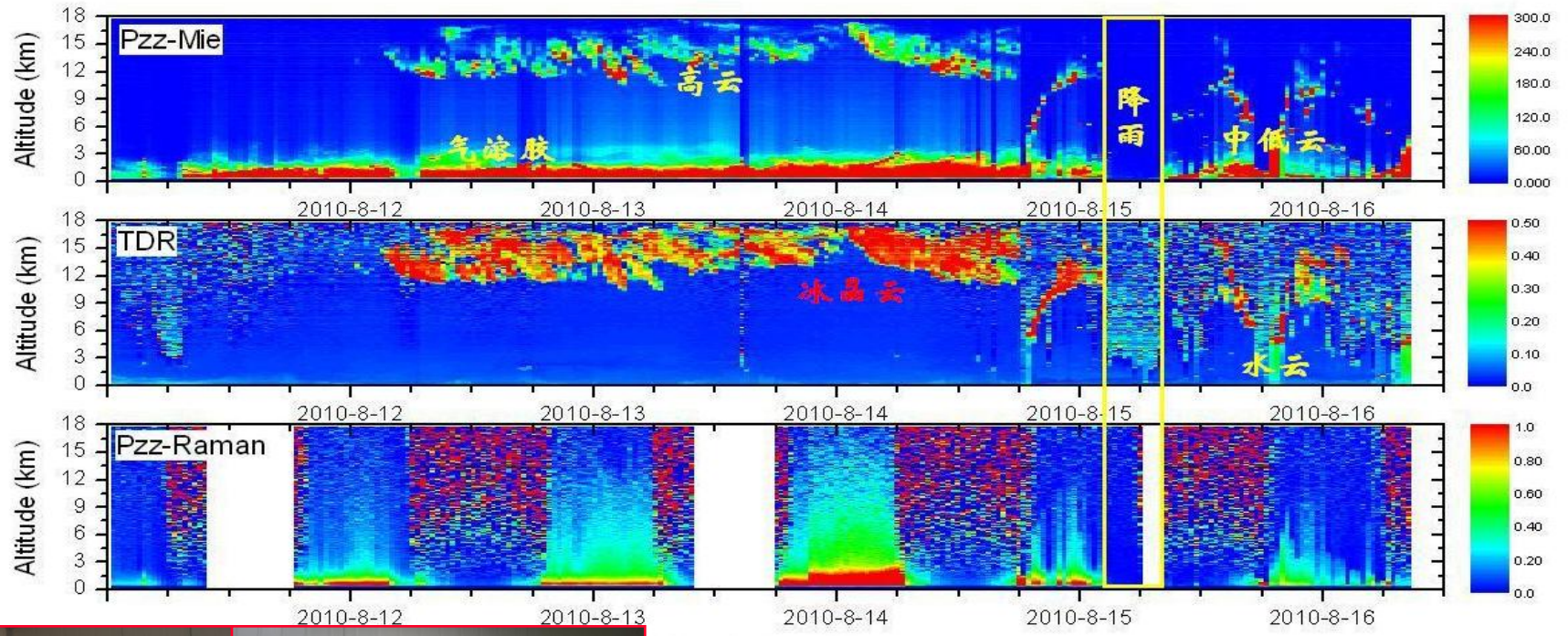
可移动大气环境质量监测系统——监测臭氧、二氧化硫、二氧化氮的时空变化，地面大气参数测量分系统同时测量近地面臭氧、二氧化硫、二氧化氮、温湿度、大气压力和风速风向等大气成分和气象参数。曾参加北京奥运展览和奥运期间大气监测活动。第三代系统保留了具有自主产权的拉曼激光光源技术，增加了地面观测系统，在系统的核心部件激光器上实现了国产化，系统自动化控制加强和改进，操作简便方面迈出了一大步。

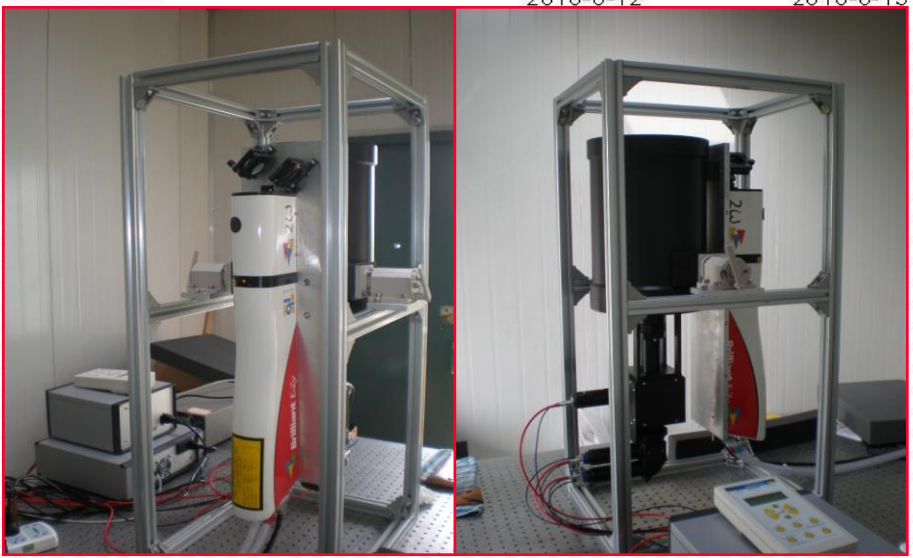
气溶胶激光雷达连续测量（2010.8.11~8.16）

Mie 通道回波

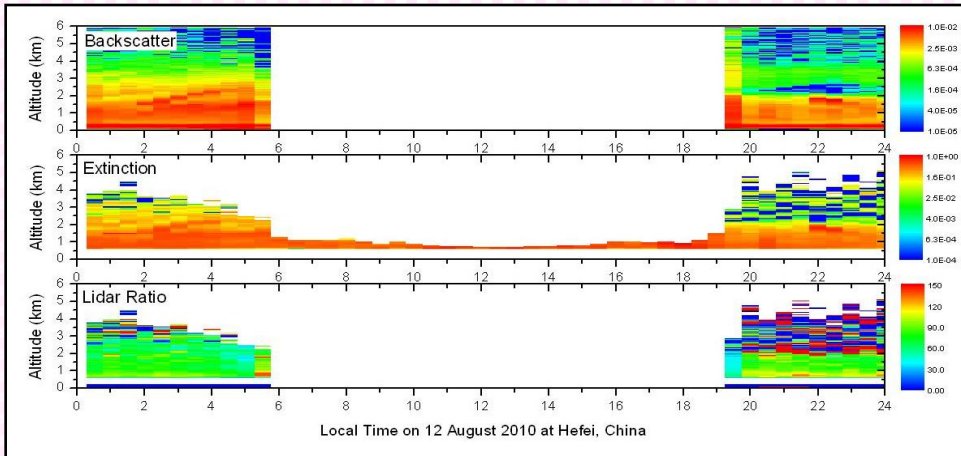
退偏振比

Raman 通道回波





8.12：Raman通道后向散射系数、消光系数、雷达比



大气探测综合实验基地

发展了一批大气光学参数观测设备,建立了大气光学参数综合实验场

“为我国战略高技术发展取得突破性进展做出了不可或缺的贡献，也使我国大气光学参数测量技术水平和激光大气传输研究能力上了一个大台阶。”

“大气光学参数测量关键设备有关选址和北京外来大气污染的测量分析等工作中发挥了重要作用。”

—王大珩为主任的鉴定委员会

曾荣获2003年度国家科技进步二等奖

小结

围绕光波大气光传输的研究，我们进行了长时间的研究，开发了一些大气参数的观测设备，建立了一些大气辐射传输模式和光波大气传输数值模拟软件；在天文观测方面，通过这些大气参数的实际测量，可以得到星光的大气透过率、星光和大气背景的对比度、星光的起伏（闪烁）、大气视宁度（相干长度）、局地大气光学湍流结构常数等，为有关工程提供服务！

谢谢！敬请批评指正！