



中山大学物理学类专业 实验室建设与实践

蔡志岗

中山大学物理国家级实验教学示范中心

中山大学物理学院

2020年05月30日

中山大学物理实验教学中心



提 要

- 一. 早期专业实验室建设
- 二. 重建物理学专业实验室
- 三. 讨论和思考



一、早期专业实验室建设

(2000年~2017年)





教学改革的契机

- 2000年，中山大学珠海校区

- “2+2” 模式
- 基础物理实验室

二十一世纪
物理学
教学改革
行动计划

- 在广州校区，重新规划教学实验室的布局

- 近代物理实验室
- 改造原教研室的实验室

- 光学
- 材料物理
- 核物理
- 半导体物理

- 光信息科学与技术实验室
- 材料物理专业实验室
- 微电子专业实验室



以物理为核心的专业实验室

- 2001年计划建设“光信息科学与技术实验室”
 - 顺应光通信大发展的热潮
- 2002年装修，2003年春季正式开课





以物理为核心的专业实验室

- 2003年开始建设“材料物理专业实验室”
 - 包含“凝聚态物理实验”

2019年成为**省级材料物理实验教学示范中心**

- 2005年开始建设“微电子专业实验室”
 - 包含“半导体物理实验”

并入 **信息技术国家级实验教学示范中心**



光信息专业培养目标

- 具有扎实的数学、物理、电子和计算机的基础知识
- 系统地掌握光学信息处理技术、现代电子学技术和计算机应用技术的基本技能，
- 能在光通信、光学信息处理、以及相关的电子信息科学、计算机科学等信息技术领域、特别是光机电算一体化产业从事科学研究、产品设计和开发、生产技术或管理的面向二十一世纪的高级专门人才。



光信息实验课程

- 《光信息专业实验I》（必修，三2）

- 《光信息自主设计实验I》（三2）

- 《通信原理实验》（三1）

- 《光通信网络实验》（三2）

- 《光信息专业实验II》（四2）

- 《光信息自主设计实验II》（四2）

- 《光通信系统设计》（四2）

- 光通信技术组，光信息科研训练

- 华南光电创客实践基地（2017年）

“N+1”

“两个面向”





“N+1” 创新实验教学模式

- “N”→指定实验，“1”→（由学生提出、设计的）开放性、探索型实验。
 - 查阅文献，提交初步实验计划
 - ✓ 初审
 - 拟定实验方案
 - ✓ 答辩
 - 预约实验时间，办理仪器借用手续
 - 实验，数据处理、分析总结，提交实验报告
 - 实验总结暨交流会

空气净化实验室

本科生的实验室

实验室守则

签名



《光信息专业实验I》课

1. 专业基础：光度学、色度学、谱线宽度、偏振光特性
2. 激光与光谱技术
3. 光电测量技术
4. 光通信器件与检测技术
5. 光纤光学实验

专业实验





实验类型

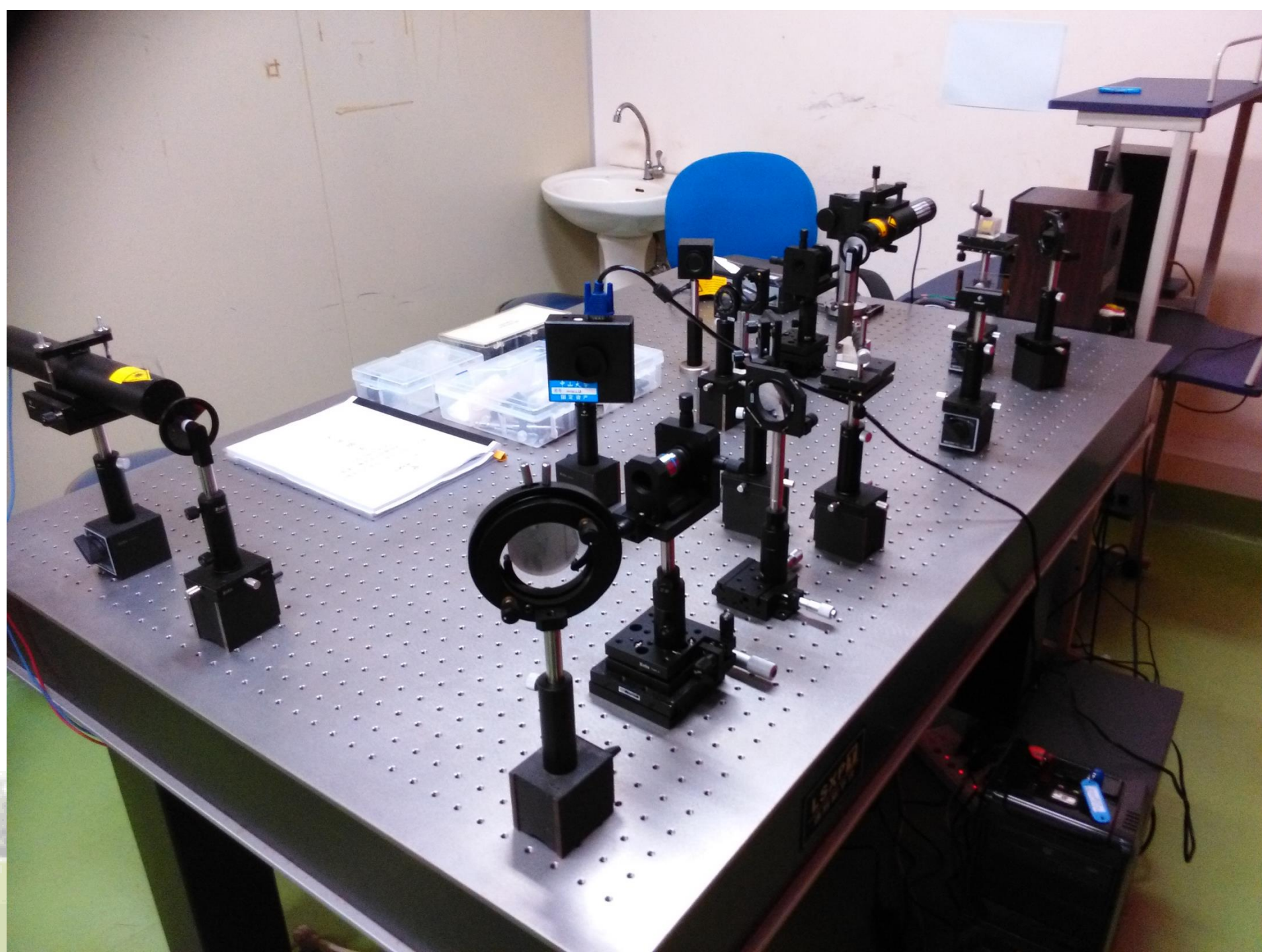
- 光学平台上的光路设计与调节
- 光具座的光路调节
- 测量系统与设备
- 光通信器件与设备
- 精密光学调节架（Newport设备）

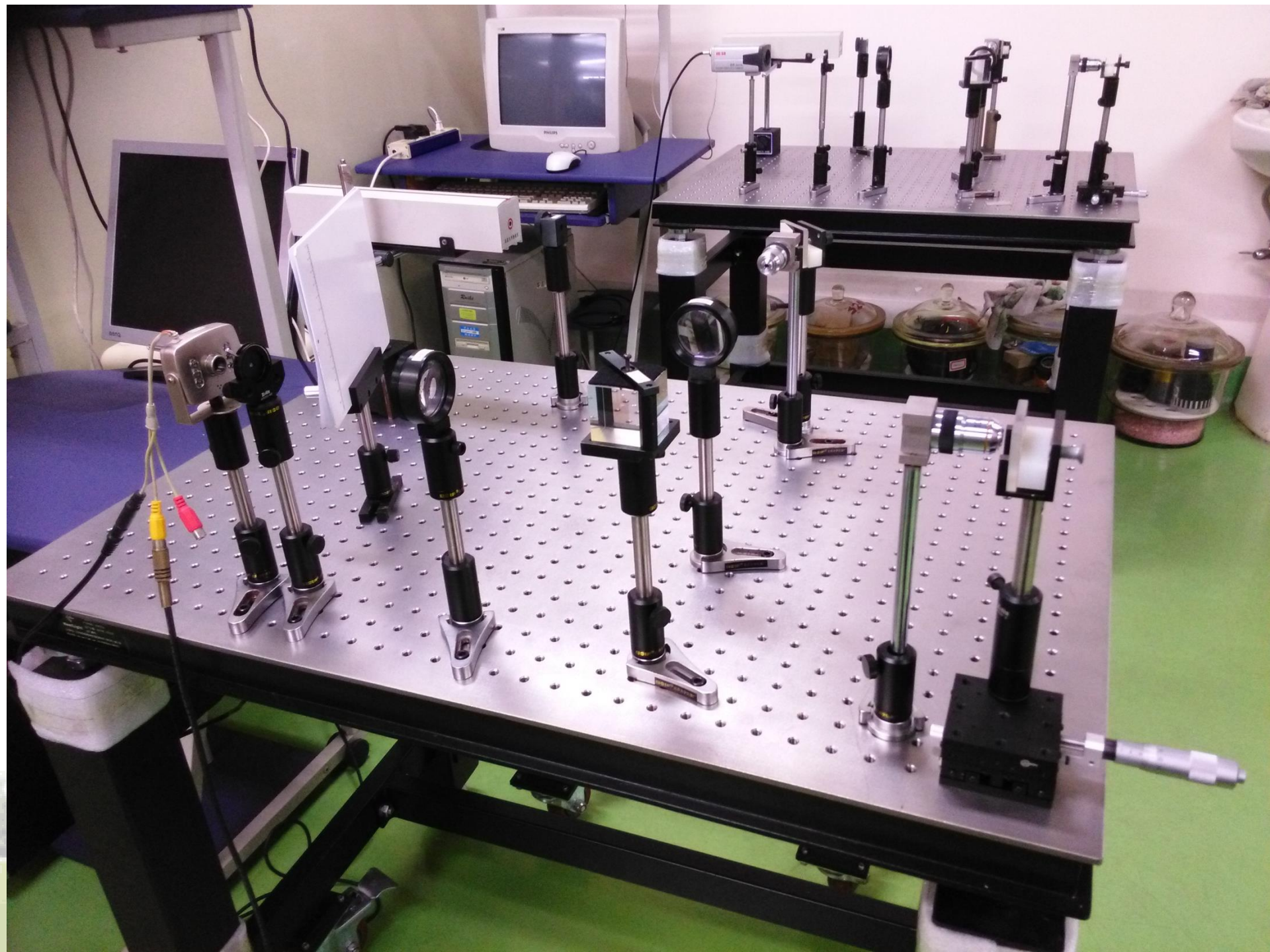


平台光路设计与调节

- 1) Twyman-Green 干涉实验
- 2) 傅里叶变换光学系统
- 3) 散斑干涉实验
- 4) 共焦测量实验
- 5) 纳米测量光学实验
- 6) 光学全息
- 7) 谱线宽度的测量 (I)



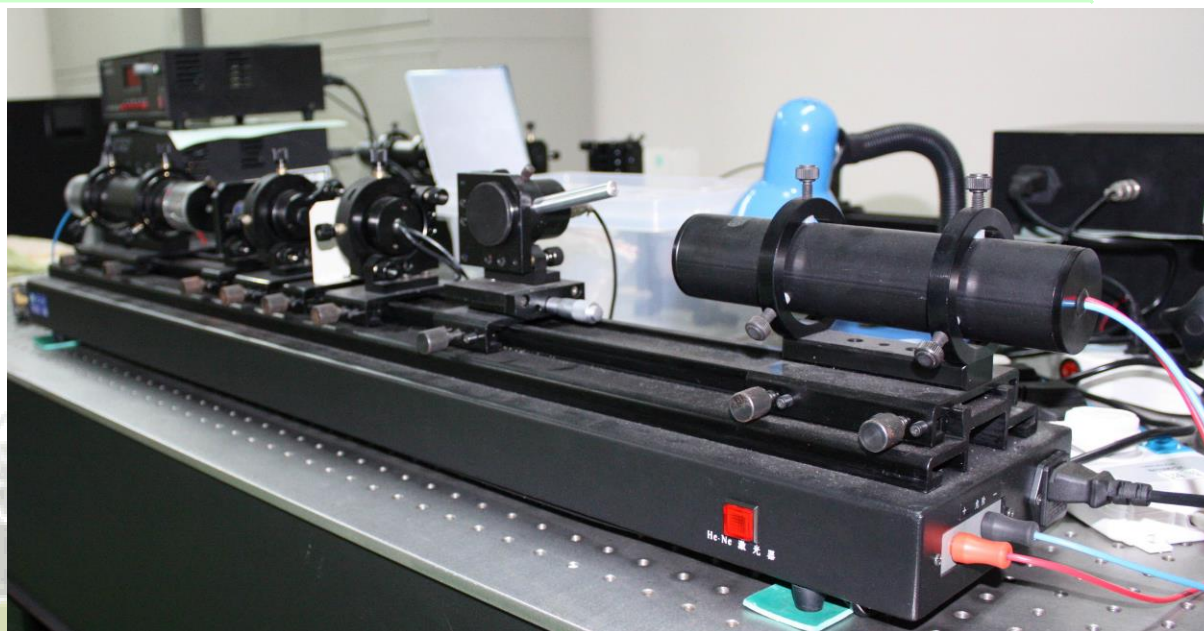






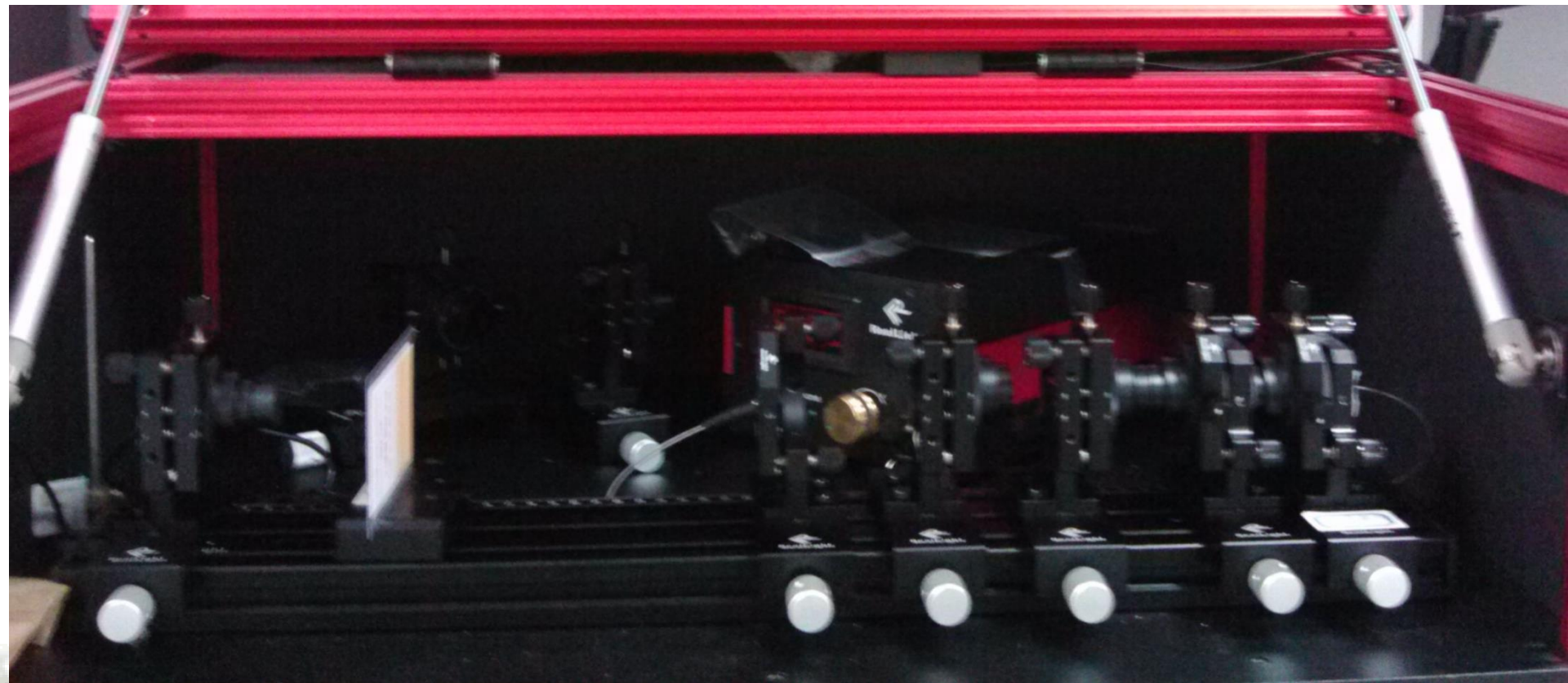
光具座的光路调节

- 1) LD 泵浦激光原理实验
- 2) He-Ne 激光参数测量实验
- 3) 光调制与光通信模拟实验
- 4) 偏振光特性实验





LD泵浦固体激光系统





测量系统与设备

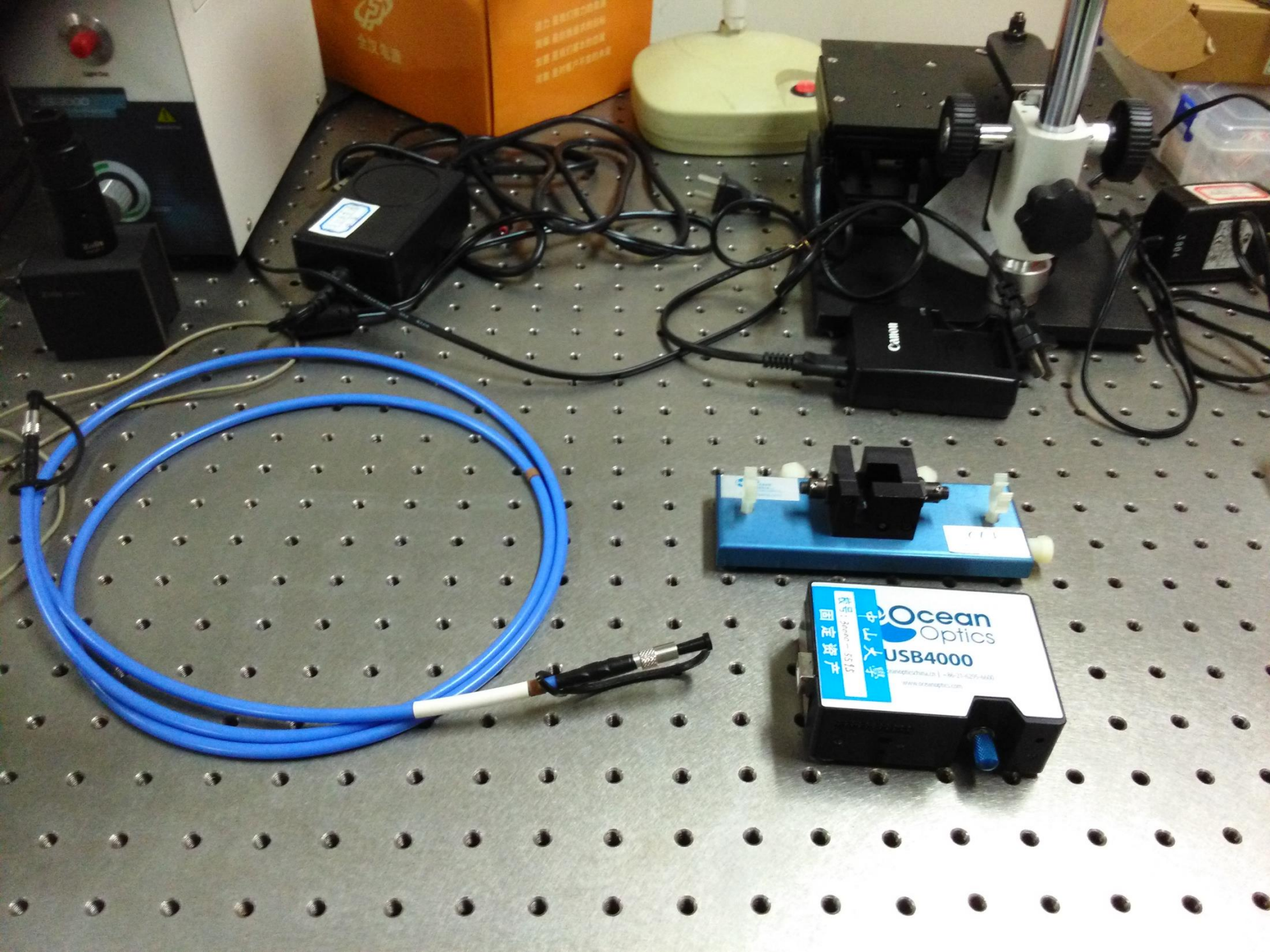
- 1) LED 特性与光度学实验
- 2) 色度学测量实验
- 3) 应用光谱技术



2020/5/30



中山大学物理实验教学中心

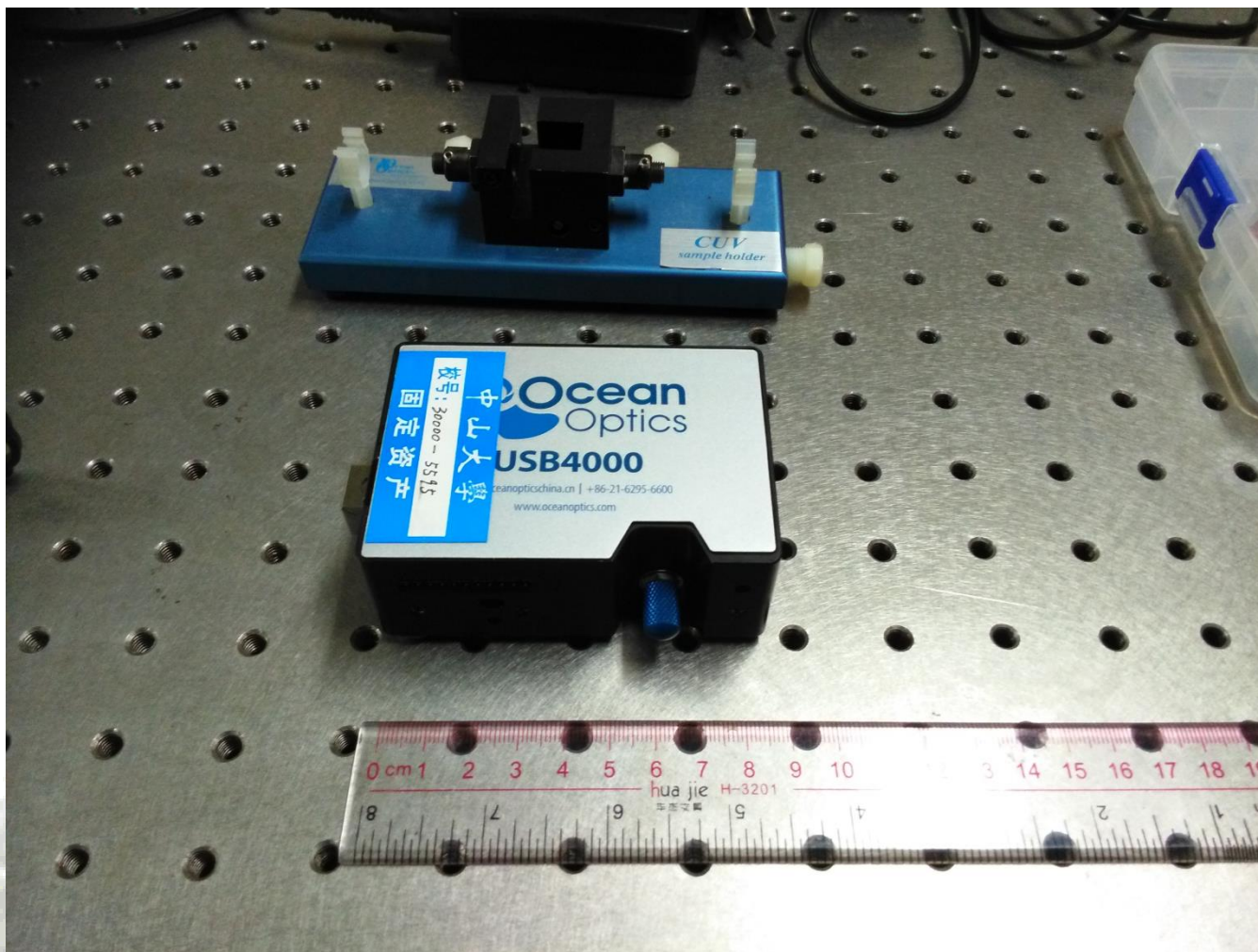


中山大學
固定資產
電話: 2606-5555
Ocean Optics
USB4000
www.oceanoptics.com

CC



小型化的光纤光谱仪

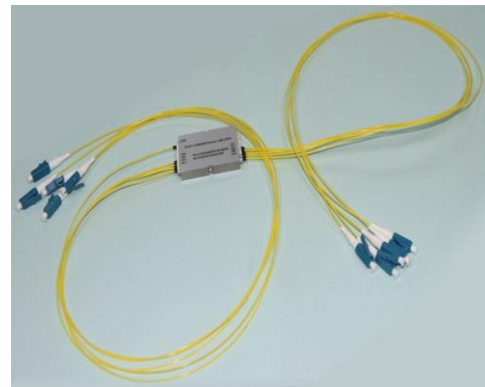




光通信器件测量技术

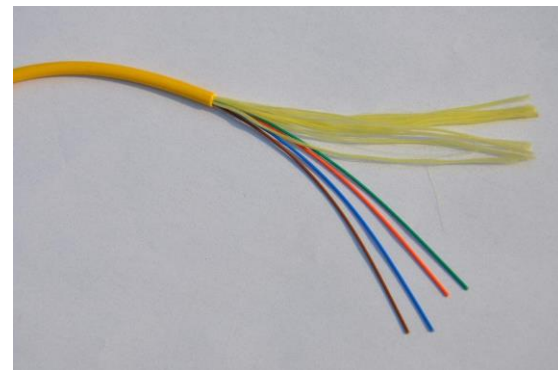
◆ 光通信器件与检测技术

- 1) Coupler 光耦合器
- 2) WDM 光波分复用器
- 3) Isolator 光隔离器
- 4) 光时域反射仪 (OTDR)
- 5) 光纤的接续与单芯光纤熔接机的使用





光纤布网的基本设备



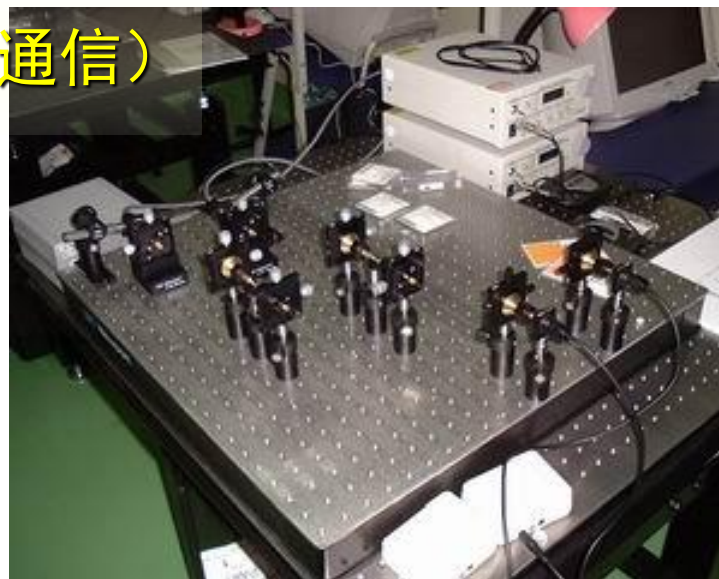
- 《光信息专业实验II》（四2）
 - 光纤光学实验（通信&传感）





光纤光学实验系统

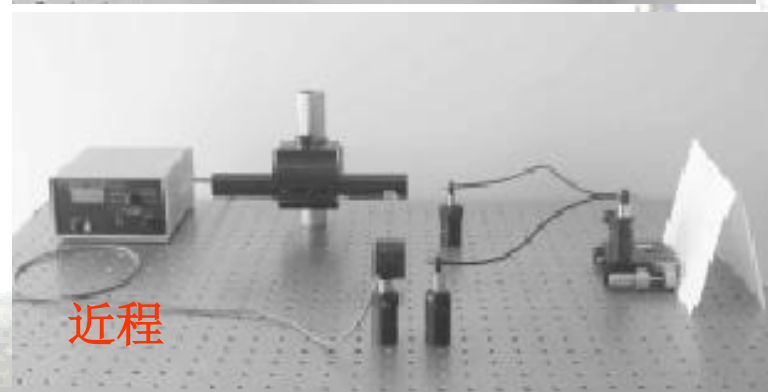
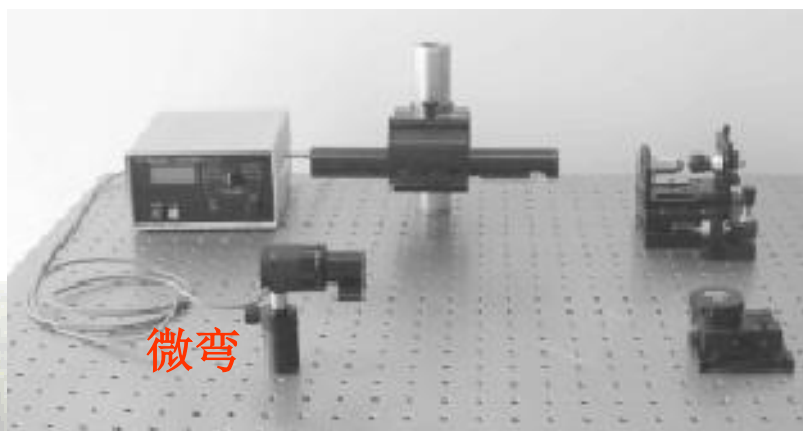
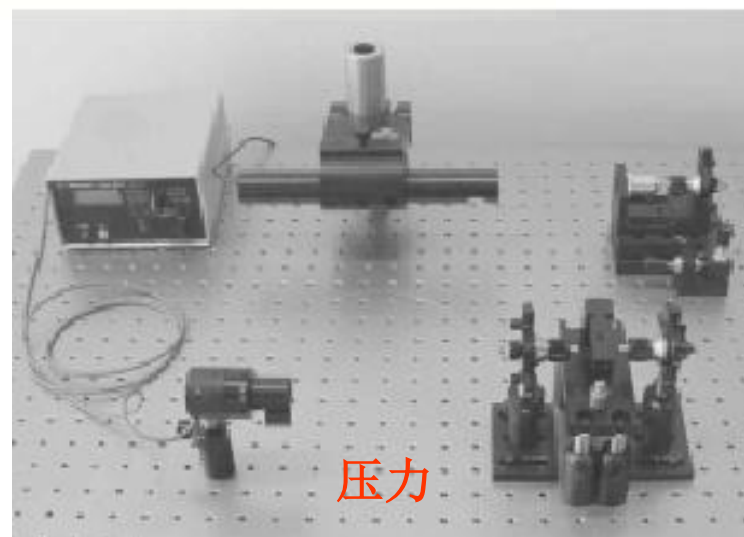
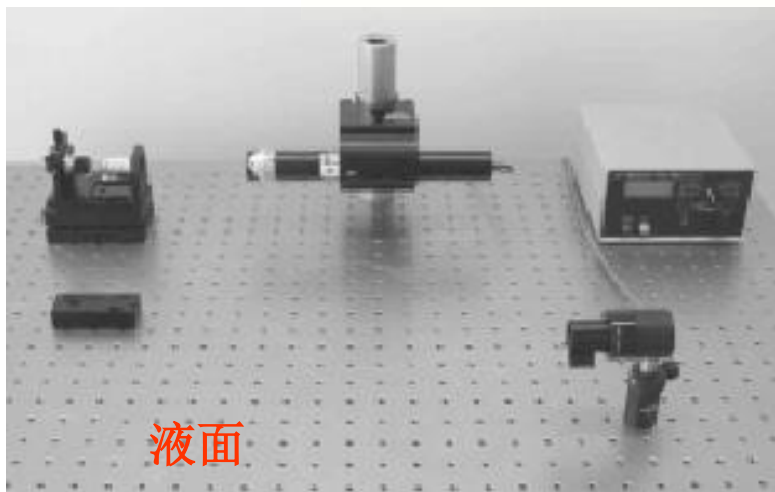
(光纤通信)





光纤光学实验系统

(光纤传感)





二、重建物理学专业实验室

(2017年起)





课程建设目标:

基础、近代物理实验：验证性

- 针对基础物理的理论知识 —— 加深
- 已有标准答案的操作训练——动手能力
- 力热光电磁、近代 —— 课程体系

专业实验：探索性

- 物理学概念的落地化
- 针对学科前沿——扩展
- 有特定主题的自由探索——科学素养
- 凝聚态、光学、软物质、粒子 —— 学科体系

打造能够把物理概念落地化、可持续发展的特色课程。



课程设置思路

- 目标：围绕“**教学与科研相融合**”，**激发兴趣，让课堂知识落地。**

针对物理学普适性概念进行融合式巩固、扩展与提高

从本科物理基础知识出发，围绕物理学基础知识设计前沿应用式实验研究课程，对应物理学前沿典型科学研究的共性及我学院的学科特色，使学生在大三阶段开始 从基础经典课程向前沿研究（及毕业设计）过渡。

- **使同学们更加清楚：**

1. 基础课程能够做什么，
2. 基础知识怎么应用。

- **打造“物理学人才培养高地”应有的实验教学体系。**

适度开放给低年级及科研训练



课程实施

- 针对物理学普适性概念进行融合式巩固、扩展与提高



实空间与倒空间
能量与温度
对称性
相位
统计
测量与屏蔽
“硬”与“软”
“实”与“虚”
.....



模块+循环
72学时、60人

预期效果：

- 衔接基础、近代物理实验与毕业设计
- 培养同学对（物理）科学研究的基本认识及素养
- 加深同学对物理各二级学科的认识





课程的安排

- 《近代物理实验》 72学时，三1
- 《物理学专业实验》 72学时，三2
- 《物理学自主设计实验》 72学时，四1

（都是必修课）



课程的模块化

① 凝聚态物理实验

- 钙钛矿氧化物多晶粉末的制备与表征

② 粒子物理实验

- 宇宙线缪子测量；PMT特性检测

③ 软物质物理实验

- 单分子DNA的拉伸力学性质测量

④ 微纳光学实验

- 电磁波成像测量



①凝聚态 物理实验:

固态化学法样品的制备

(负责人: 沈冰副教授)

- 实验方案的选择与设计 重思考, 接轨真实科研, 不只是实验技巧



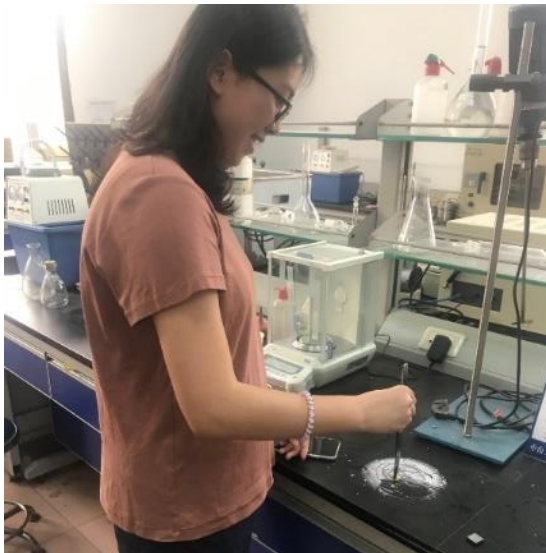
- 样品粉末的前期准备
- 样品粉末称量



- 样品的烧结



粉末样品的制备与XRD表征





模块的目标

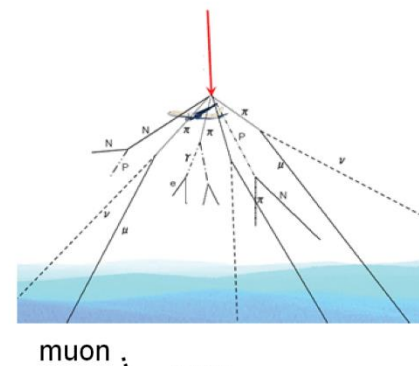
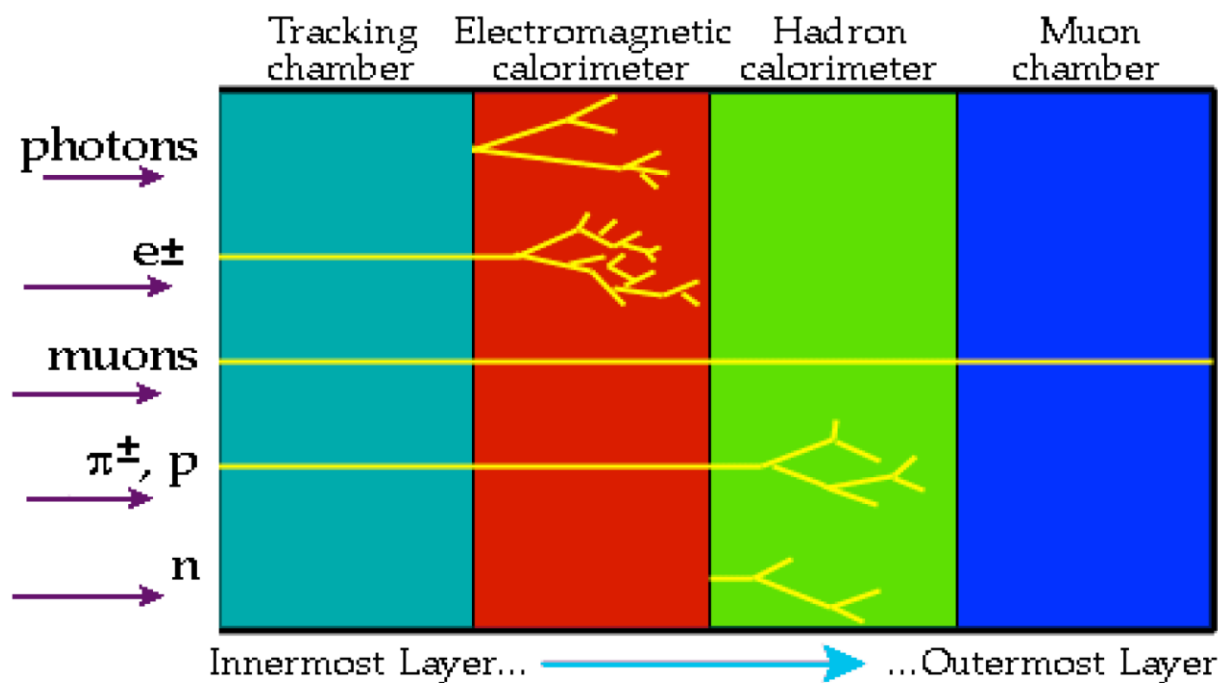
- 培养学生凝聚态材料制备实验技能
 - 固态化学**反应**的一般制备
 - 粉末，**单晶**，质构，薄膜等的一般制备
 - 材料的结构成分的基本**表征**
- 培养学生凝聚态电磁输运测量的实验技能（学院科研平台）
 - 培养学生**低温**物理技能
 - 培养学生**输运测量**的技能
 - 培养学生相关器件电极等制作的技能
- 培养学生相关数据分析和编程能力（关联前沿）
 - **Gsas**精修软件，**pdf**卡片使用，**ICSD**数据库的检索
 - 非线性方程的拟合、**LabView**编程技巧、误差分析等



②粒子与高能 物理实验:

探测器与核电子学

(负责人: 王为教授)

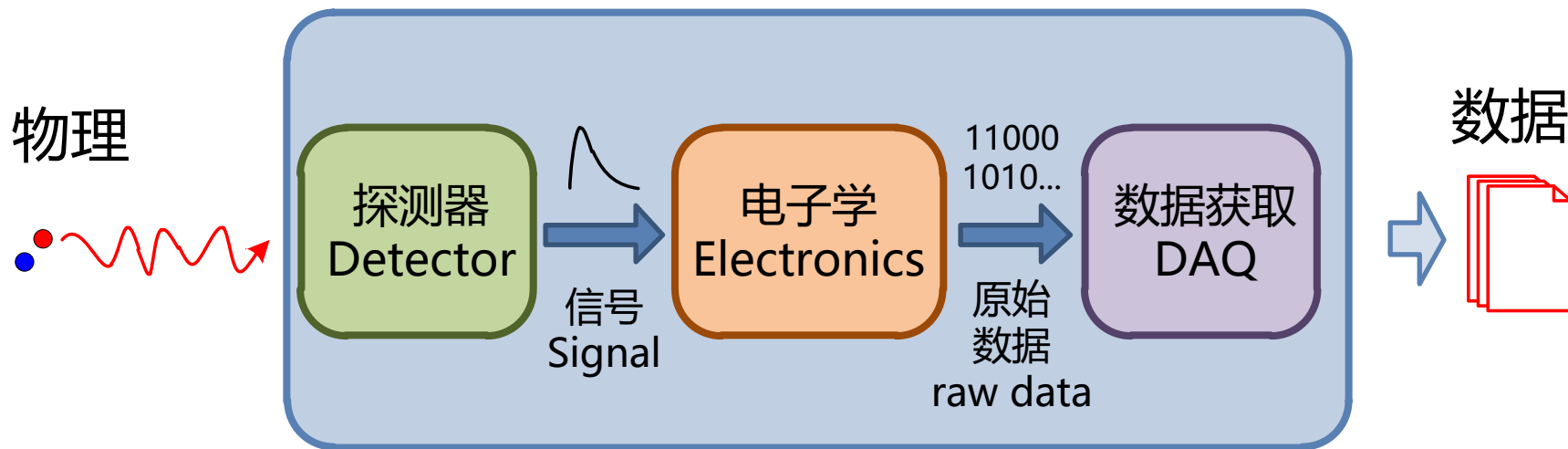


- 通过多个不同功能探测器的组合实现粒子识别
- 需要有综合性探测器系统





高能物理实验教学框架



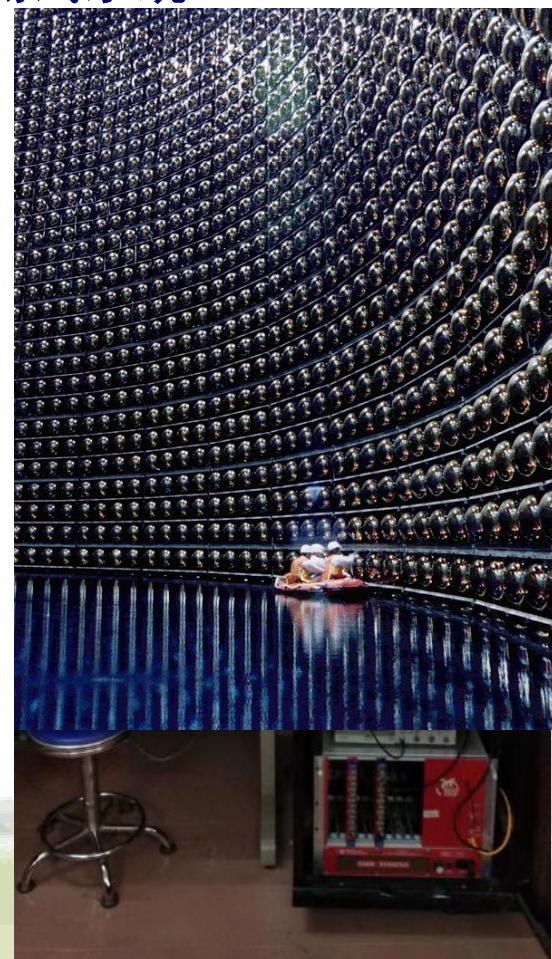
- 以粒子探测系统为中心，开展粒子物理理论应用、实验技术、硬件技术、软件开发、数据处理相关的实验实践活动。
 - “三大类”粒子探测器：闪烁探测器（闪烁体+光电转换器件）、半导体探测器、气体探测器
 - 核电子学应用与实践：信号采集与处理、模块整合
 - 探测器性能的标定与评估，核探测数据分析与信号重建
 - 紧密结合科研背景拓展实验内容——江门中微子实验(JUNO)大面积PMT测试



大面积光电倍增管测试

• 磁屏蔽光学暗室

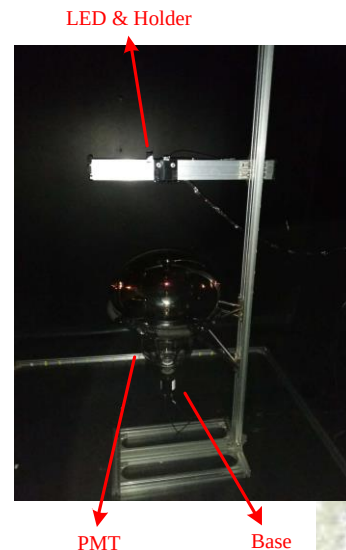
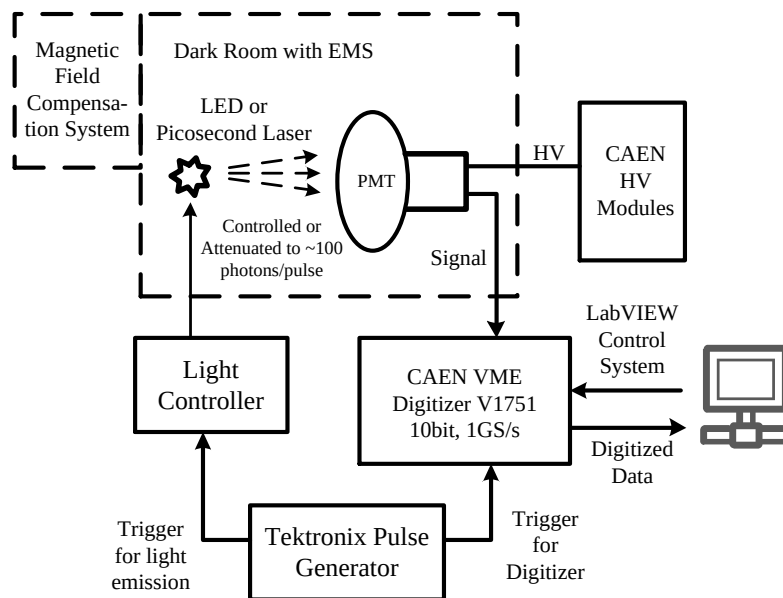
- 引进江门中微子实验PMT测试现场成熟的暗室测试系统
- CAEN标准模块化核电子学插件
- 基于LabVIEW的控制与DAQ系统





大面积光电倍增管测试

- 2017~2018秋季《近代物理开放性实验》2组共12名学生。
- 光电信息科学与工程2017届本科毕业生毕业设计：
 - 曲柯蓉《江门中微子实验中大面积光电倍增管的性能综合评估》
 - 王乔《江门中微子实验中的光电倍增管均匀性研究》



江门中微子实验中大面积光电倍增管的性能综合评估

The Comprehensive Evaluation of the Performance of Large Area

Photomultiplier Tubes for JUNO Experiment

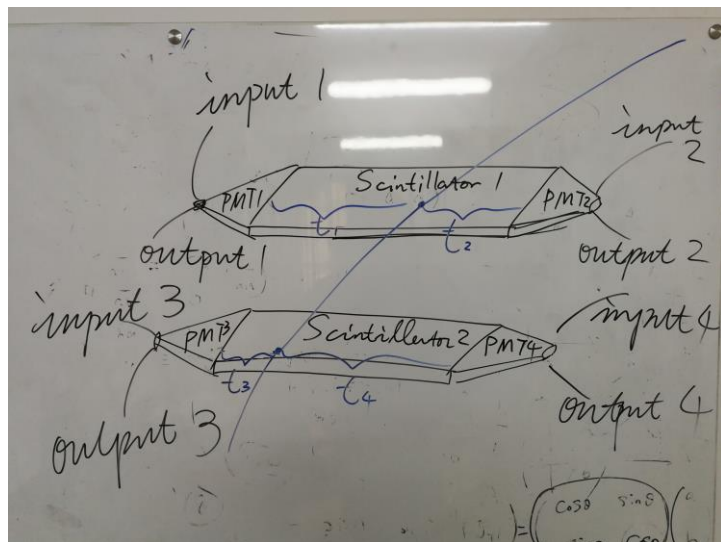
曲柯蓉

指导老师：王为

(光电信息科学与工程 14342063)



宇宙线缪子测量



- 结合闪烁探测器和光电倍增管技术，以及高速模拟-数字转换器（FADC）等信号采集模块
- 测量天然的宇宙线缪子源进行通量、能量、寿命

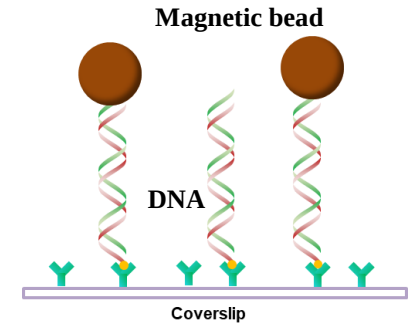
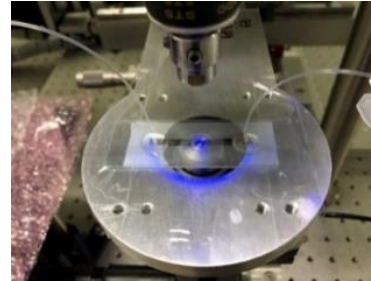


③软物质 物理实验:

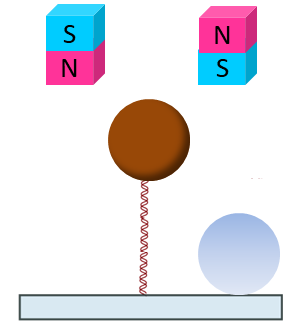
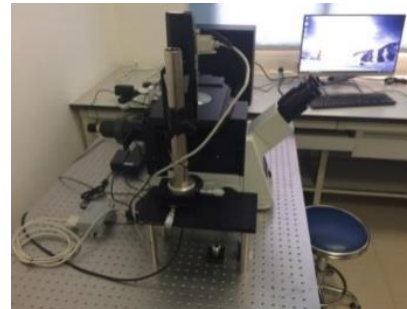
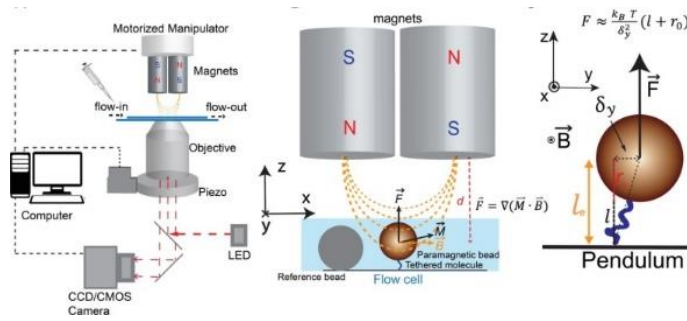
单分子DNA的拉伸力学性质测量

(负责人: 马杰教授)

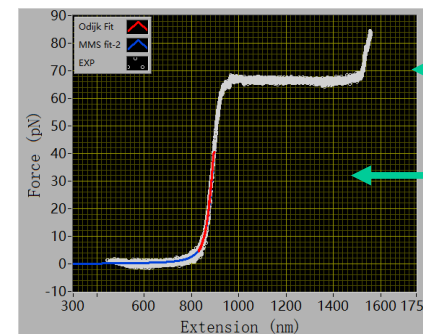
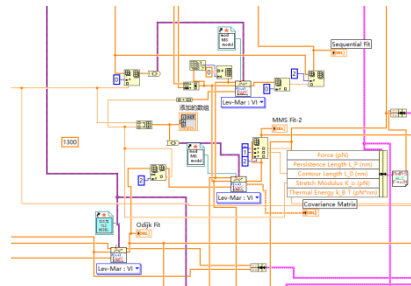
- Flow cell及单分子样品制备



- DNA拉伸实验测量单分子DNA的力学特性



- LabView 编程与数据分析

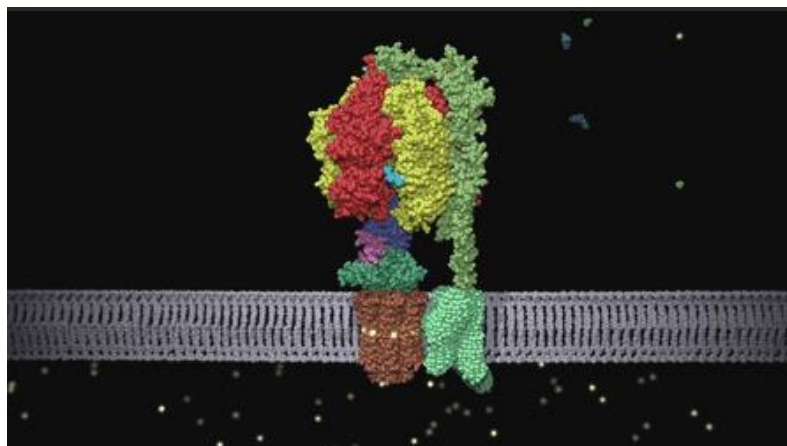


Overstretching transition

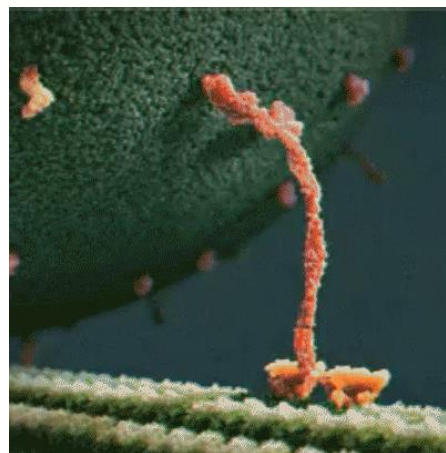
Fitting with WLC Models



生命体系物质（如DNA、蛋白质，细胞）



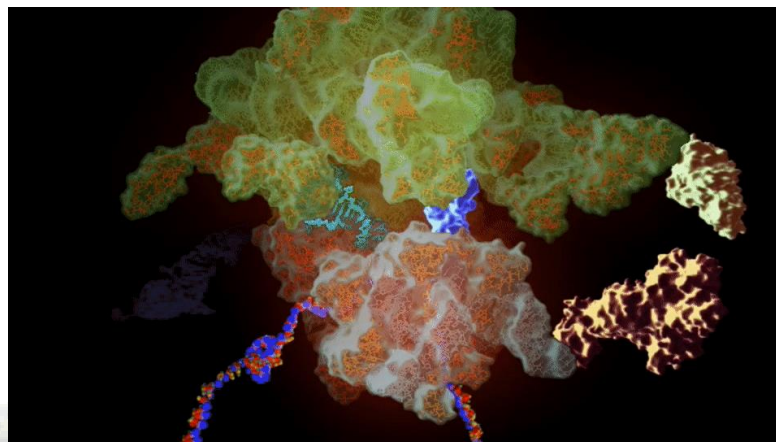
ATP Synthase



Kinesin



Replisome



Ribosome

<https://giphy.com/gifs/detail/MildImaginaryCougar>

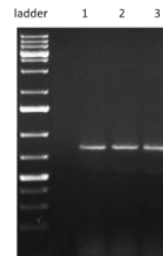
<https://giphy.com/gifs/>



新增内容

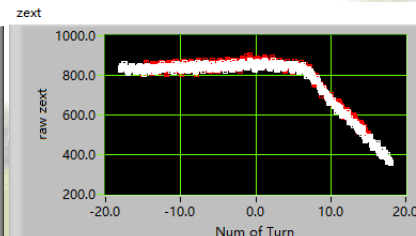
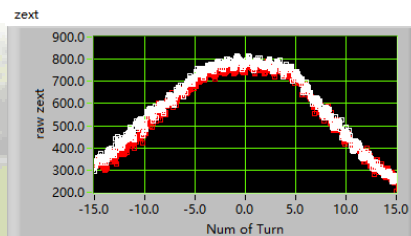
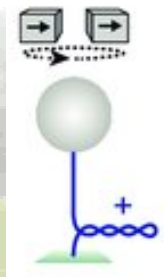
- “生物样品制备”实验模块学习一些常规的DNA分子样品制备方法

- PCR
- 电泳
- 紫外吸收光谱测量DNA浓度
- DNA的“剪切” 和 “连接”



- “单分子DNA的扭转力学性质测量”实验模块

- 测量DNA扭转曲线以及buckling和melting相变



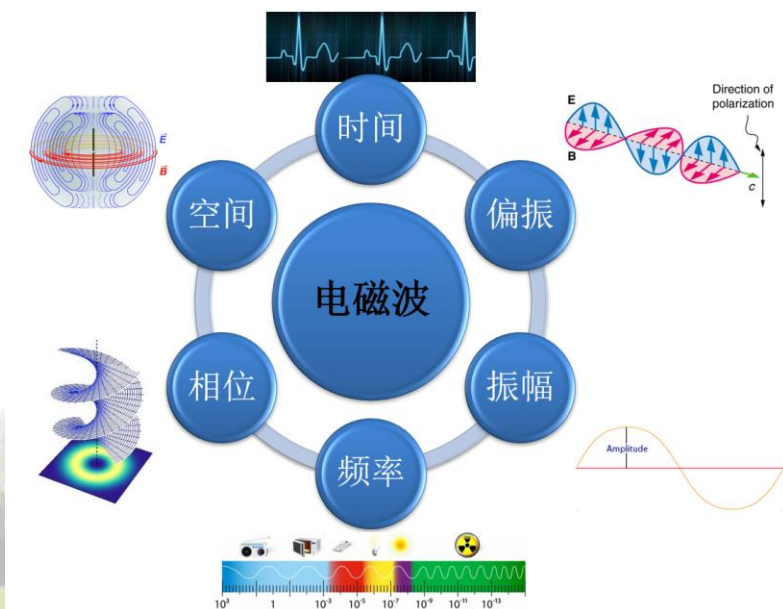


④微纳 光学实验：

(负责人：董建文教授)

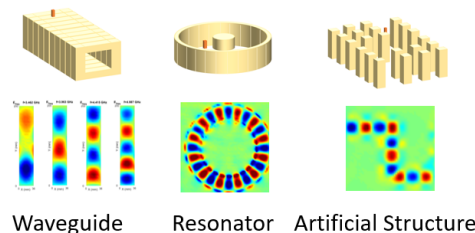
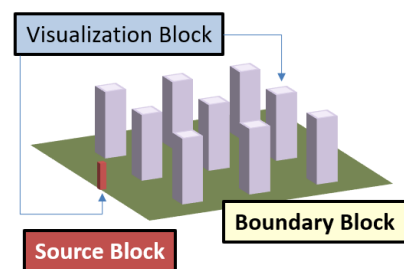
电磁波测量实验

微波频段是进行电磁波传输表征的优势频段，是电动力学、光学等课程的重要实验验证方式，对学生理解电磁波众多自由度起到关键性作用。本电磁波(微波)测量专业实验室拟购置的**电磁波近场成像系统**和**电磁波远场测量系统**，能对电磁波实现多维调控，使学生熟悉典型**电磁波结构**，学会电磁波传输表征方法，并结合**模拟仿真**对电磁波结构的性能进行预测和分析。



EM LEGO

Let students **Evaluate**, **Generate**, and **Observe** EM Waves



Boundary Block	Source Block	Visualization Block
Metal	E probe	VNA
Dielectric	B probe	Auto-Positioner

To **evaluate** versatile structures with **building blocks**

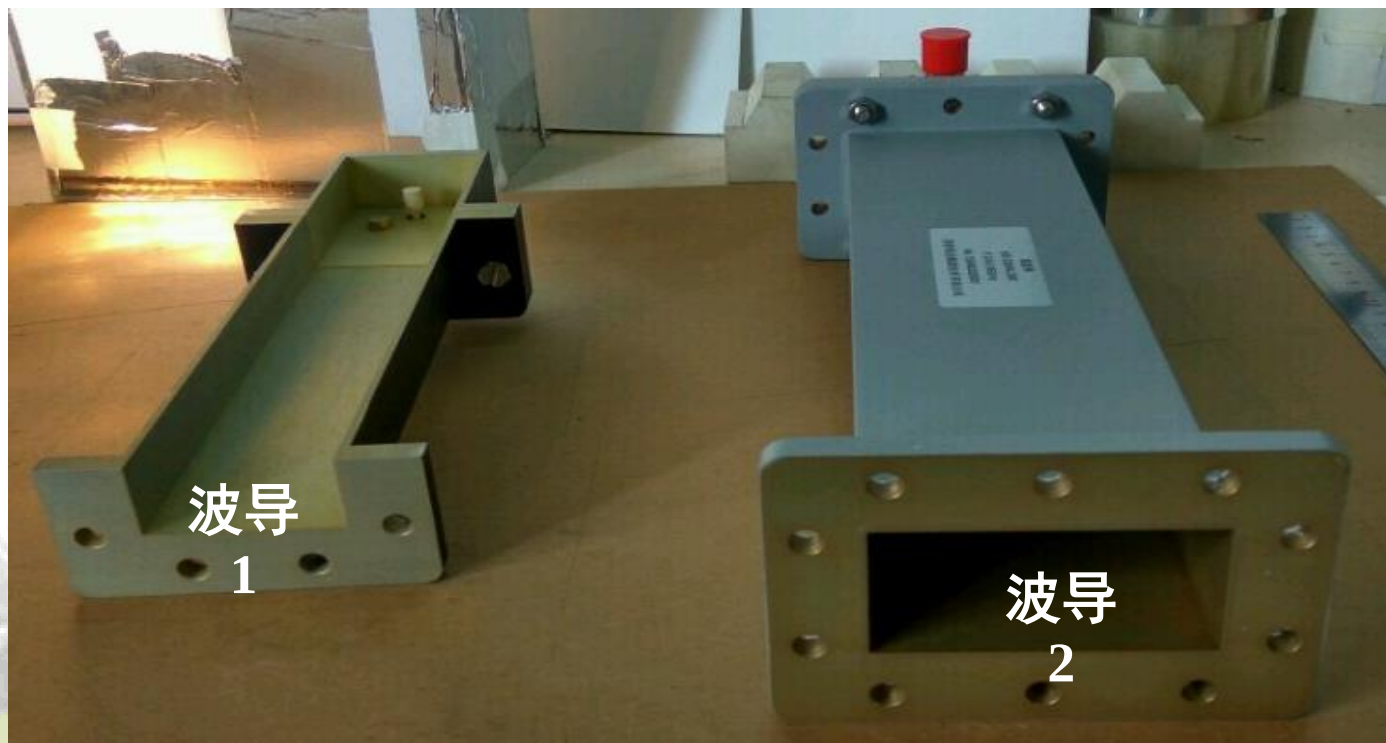
To **generate** versatile EM waves in various structures

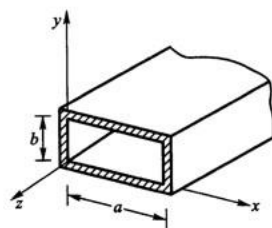
To **observe** Magnitude, **Phase** and **Polarization**



电磁波近场成像系统

- 内容一：基于矩形金属波导的全波**仿真**与样品制备
- 内容二：基于电磁近场**成像**系统的金属波导模式成像实验





$$E_x = A_1 \cos \frac{m\pi}{a} x \cdot \sin \frac{n\pi}{b} y \cdot e^{ik_z z}$$

$$E_y = A_2 \sin \frac{m\pi}{a} x \cdot \cos \frac{n\pi}{b} y \cdot e^{ik_z z}$$

$$E_z = A_3 \sin \frac{m\pi}{a} x \cdot \sin \frac{n\pi}{b} y \cdot e^{ik_z z}$$

$$\mathbf{H} = -\frac{i}{\omega\mu} \nabla \times \mathbf{E}$$

Cutoff frequency for (m, n) waveguide modes

$$f_{m,n} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

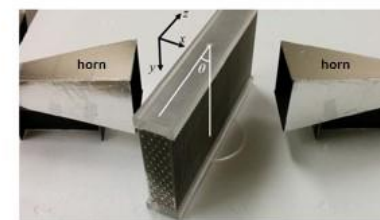
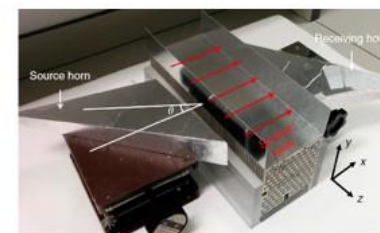
Two kinds of waveguide modes:

1) Transverse electric (TE): $E_z = 0$;

2) Transverse magnetic (TM): $H_z = 0$; $m \neq 0$ and $n \neq 0$

参考书籍：《电动力学》by 郭硕鸿、黄适本、李志兵、林琼桂

21



Nature communications 7, 13038 (2016)

原材料



成品



23



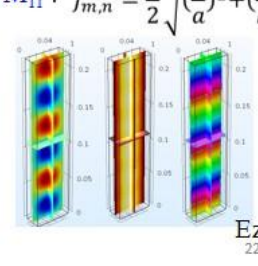
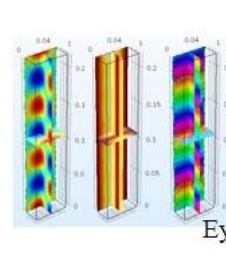
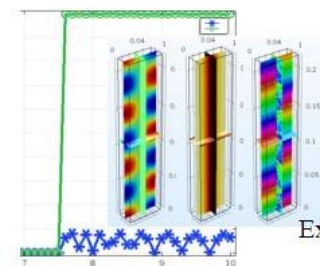
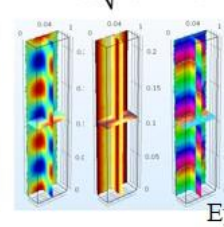
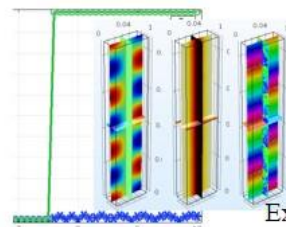
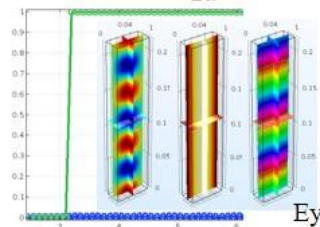
矩形金属波导：全波仿真

$a = 47.5 \text{ mm}$; $b = 22 \text{ mm}$;

$$\text{TE}_{10}: f_{m,n} = \frac{c}{2a}$$

$$\text{TE}_{11}: f_{m,n} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2}$$

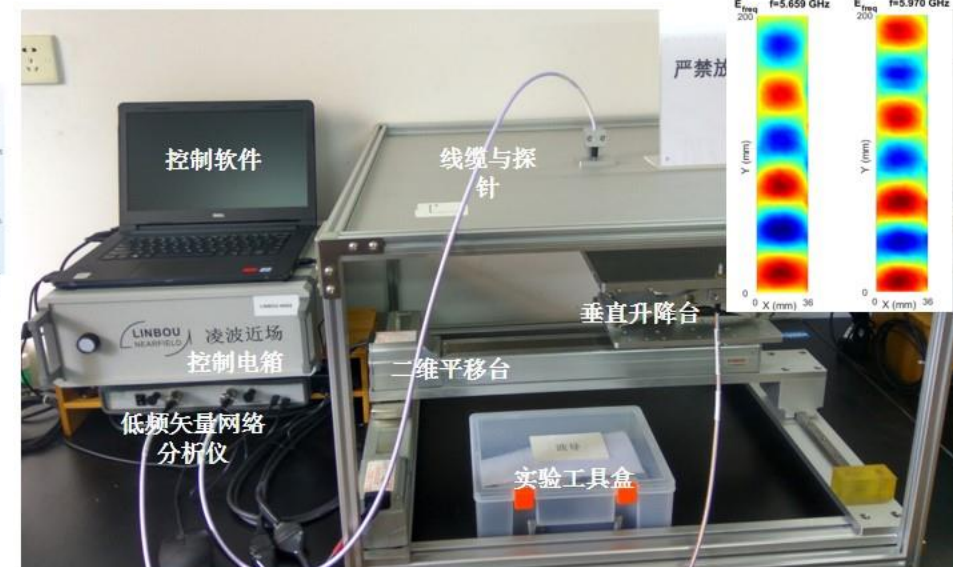
$$\text{TM}_{11}: f_{m,n} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2}$$



22



矩形金属波导：二维成像



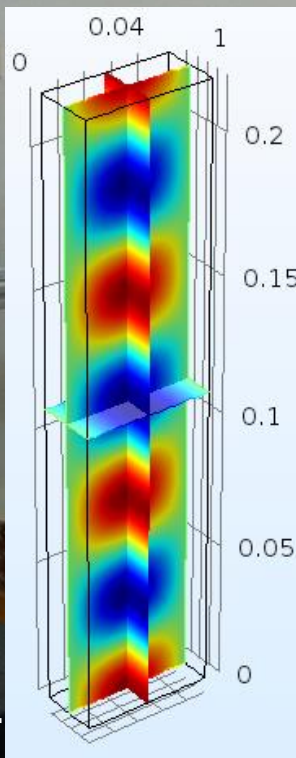
24



矩形金属波导：三维成像

三维平移台
控制电箱

线缆与探针



高频矢量网络
分析仪

控制软件



全波仿真 + 样品制备 [2周]



实验测量 [2周]



桌面二维测量系统

优点：体积小(1.5m桌)，操作简单

缺点：频率低(8GHz)



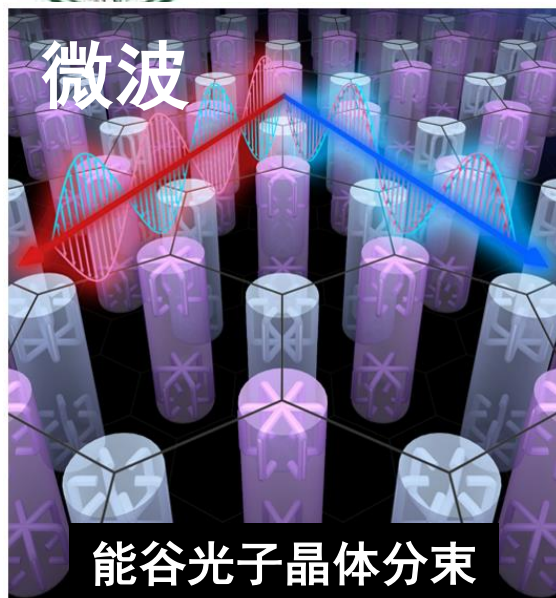
全空间三维测量系统

优点：频率高(20GHz)，测量范围大(500mm)

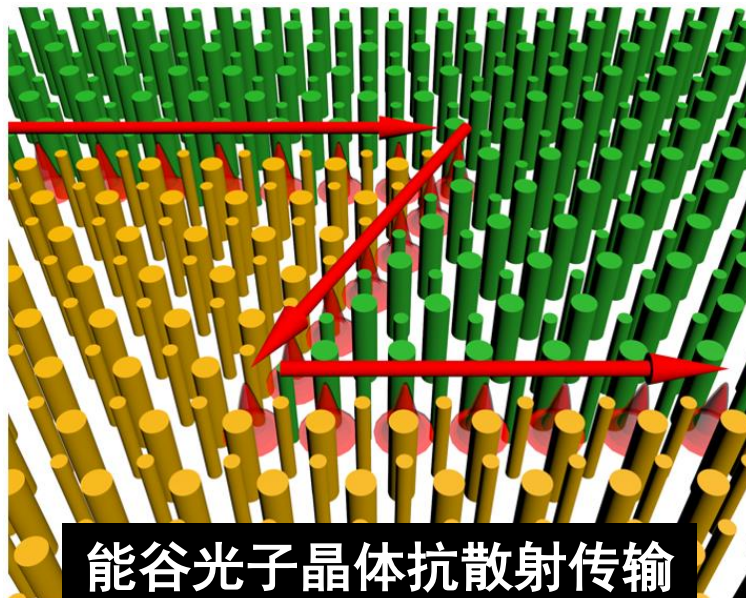
缺点：价格高、体积大，4人一台仪器



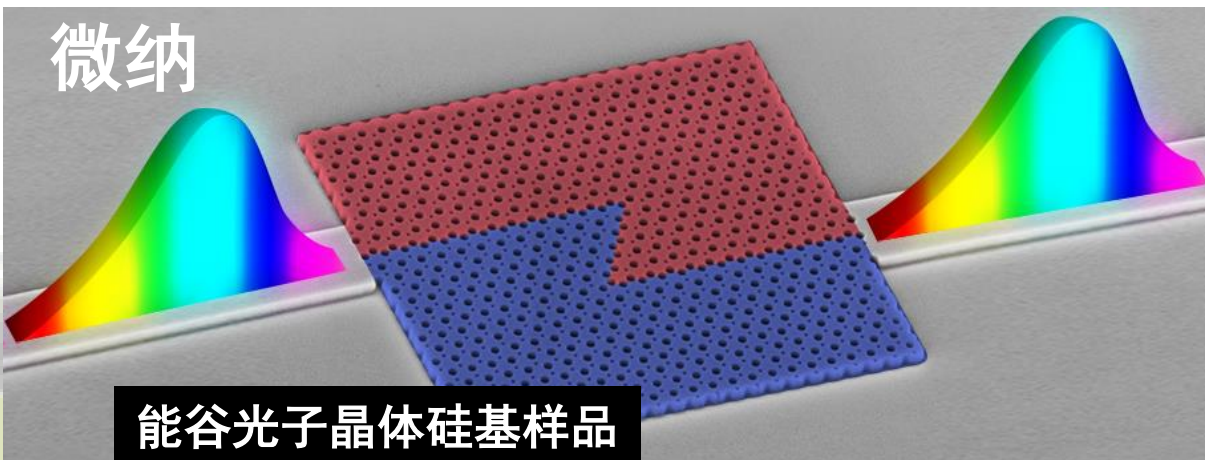
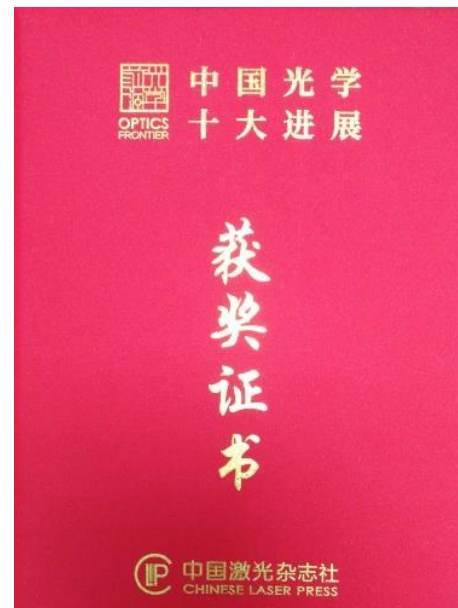
电磁波实验延拓



Nat. Mater. 16, 298 (2017)



PRB 96, 020202(R) (2017)



Nat. Commun. 10, 872 (2019)

中山大学物理实验教学中心

科研后劲

Phys. Rev. A 97, 013831 (2018)

Phys. Rev. Appl. 10, 044002 (2018)

Phys. Rev. Lett. 122, 233902 (2019)

Laser Photonics Rev. 1900091 (2019)



本课程小结

- 学生兴趣浓重
- 学生知识、能力与视野提高
- 实验安全、学术写作、学术道德
- 对实验反映的物理知识还需凝练
- 实验建设需要进一步加强以系统化
- 学生对实验、物理概念及逻辑的消化时间较短
- 课程思政元素的融合
- 授课教师工作量与绩效不符



三、讨论与思考





讨论与思考

- ✓ **专业实验**是本科衔接科研的重要环节
- 实验教学与科研的关系
- 场地、经费；设备使用效率
- 培养人：持续性；宏观+微观
- 教学有“惯性”，不能急弯、急停
- **教学工作量的问题**





谢谢！

感谢郭东辉教授、董建文教授、
王为教授、马杰教授、沈冰副教
授、沈韩副教授、陈晓东副教授
等老师提供资料！