

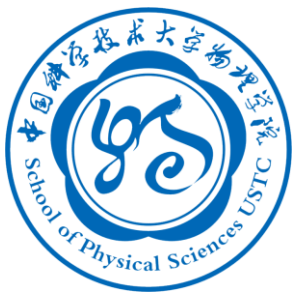


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

中国科学技术大学 物理专业实验建设

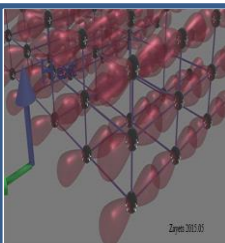
中国科学技术大学
物理实验教学中心
张增明





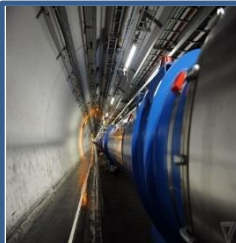
物理学院

The School of Physical Sciences
University of Science and Technology of China



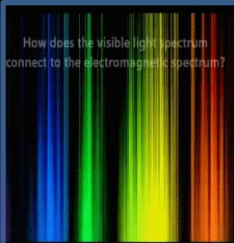
物理系

Department of
Physics



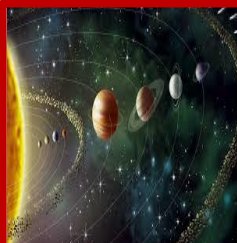
近代
物理系

Department of
Modern Physics



光学与
光学工
程系

Department of
Optics and
Optical
Engineering



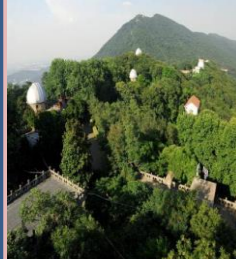
天文学
系

Department of
Astronomy



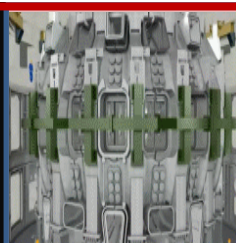
中国科学
院
紫金山天
文台

天文学院



工程与
应用物
理系

Department of
Engineering
and Applied
Physics



中国科学
院
等离子体
物理研究
所

核科学与
技术学院



物理实
验教学
中心

The Physical
Experiment
Teaching
Center



物理学院

天文
学系

物理
系

光学与光
学工程系

近代物
理系

工程与应
用物理系

物理实验
教学中心

天文 学 A+

物理学 A+

核科学技术 A+

天体物理

光学

凝聚态物理

理论物理

原子分子物理

粒子与核物理

等离子体物理

核科学与核技术

光学工程

微电子学

物理电子学

生物物理

医学物理

量子物理

知识与能力并重的六级实验课程教学体系

物理实验课程

六级物理实验(专业实验: 80学时)
8门课, 300多人+研究生选修

五级物理实验(物理学专业基础实验: 80学时)
400多人+研究生选修

四级物理实验(研究性实验: 60学时)
500多人

三级物理实验(现代物理实验技术: 60学时)
700多人

二级物理实验(综合性、设计性实验: 60学时)
1900多人

一级物理实验(基础物理实验: 60学时)
1900多人

三
四
年
级

一
二
年
级

院
级
平
台

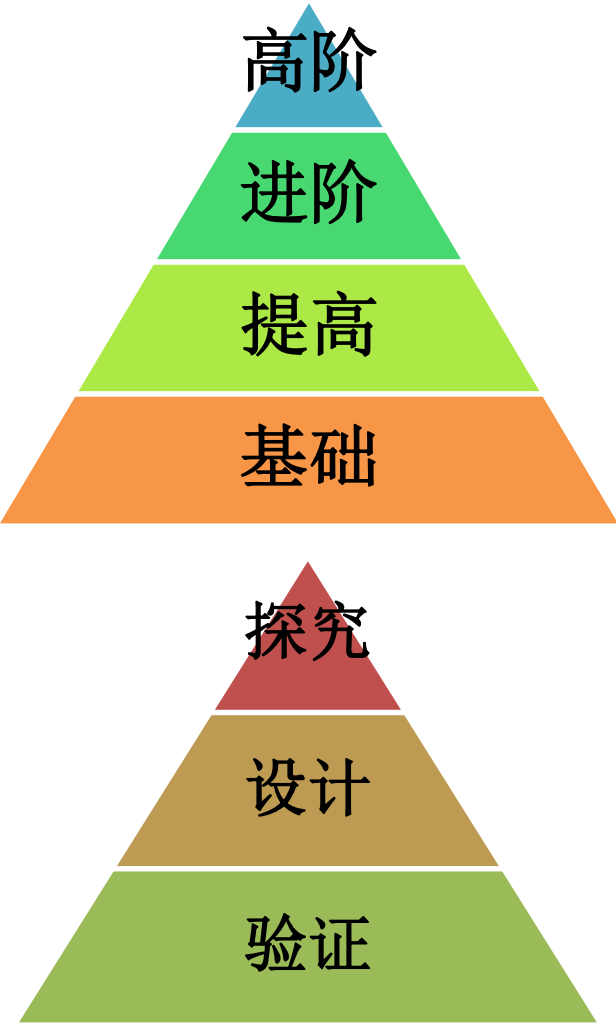
校
级
平
台

大学物理—基础性实验（通识课）

- 通过典型的实验案例教学，让学生掌握基本物理量的测量、基本实验仪器的使用、基本实验技能的训练、基本测量方法、数据处理及不确定度分析等。**通过量子物理系列实验的设计，可以让学生较系统地了解量子概念及其应用。**本课程以基础实验为主，涉及力、热、电、光、近代物理等多个知识点。
- 基本要求：课前预习，掌握、了解实验原理及仪器的操作要领；实验过程中认真操作、观察、记录；实验后仔细分析、处理数据，完成实验报告。
- 课时安排：讲授2学时+数据处理关联实验2学时，需完成不少于8个实验项目（学院指定与学生自选结合），鼓励学生自选自主探究性实验，总结与讨论（考核）4学时。

序号	实验项目内容	学 时	实验内容类型
1	绪论（实验安全、基本物理实验方法、数据处理方法等）	2	讲授
2	随机误差的分布规律	2	验证
3	杨氏模量的测量	4	验证
4	用气垫导轨研究直线运动和碰撞	4	验证
5	液体表面张力系数测定	4	验证
6	固体比热容的测量	4	验证
7	用示波器测量时间	4	验证
8	整流滤波电路及应用	4	验证
9	液体粘度的测定	4	验证
10	声速的测量	4	验证
11	量子物理系列：电荷量子化实验	4	验证
12	量子物理系列：光的量子化实验	4	验证
13	量子物理系列：光的量子化应用实验	4	验证
14	不规则物体密度的测量	4	设计、验证
15	几何光学：配色实验	4	设计、验证
16	几何光学：透镜参数的测量	4	设计、验证
17	几何光学：分光计的调节和使用	4	设计、验证
18	几何光学：显微镜	4	设计、验证
19	物理光学：干涉法测微小量	4	设计、验证
20	物理光学：光的衍射	4	设计、验证
21	量子物理系列：能级量子化	4	设计、验证
22	磁力摆	4	设计
23	数字体温计的设计	4	设计
24	直流电源特性的研究	4	设计
25	半导体温度计的设计与制作	4	设计
26	从一维到三维的单摆的设计与研究	8	设计、探究
27	自主探究性实验	8	设计、探究
28	量子物理系列：量子计算	2	虚拟仿真
29	量子物理系列：量子纠缠	2	虚拟仿真
30	量子物理系列：量子通信	2	虚拟仿真
31	总结和讨论	4	

面向人文学科 （60学时）： 量子系列实验



专业基础实验(80学时)

物理、光学（8）+近物（2）

物理、光学（2）+近物（8）

天文：1-3、专业实验

物理系专业基础实验（18）

- 红外光谱测量
- 激光拉谱曼光谱
- 光源的空间相干性测量
- 轴对称偏振光束产生与检测
- 低温热电势
- 超导临界温度
- 椭偏仪
- 单晶激光定向
- 磁滞回线
- **c-v**特性测试
- 激光力学效应测量
- 微电子平面工艺半导体
- **Nd: YG**激光器自由振荡特性及调Q技术特性
- 超高压物理
- 粉末发光材料的制备
- 变温霍耳效应
- 低温交流磁化率的测量
- 材料的低温物性与测量

光学与光学工程专业基础实验（9）

- 用m线测量有机聚合物平面光波导的厚度和折射率
- 光纤DFB激光器的光学特性测试
- 光纤杨氏实验
- 半导体激光器的光学特性测试
- 光纤光栅温度传感实验
- 自由振荡固体激光器特性及其应用
- 非线性晶体的激光倍频实验
- 利用DOE对光场进行整形变换
- 单光子计数实验

近代物理系专业基础实验（12）

- 多丝正比室—粒子空间分辨和粒子探测效率测量
- 半导体 α 谱仪和 α 粒子能量损失
- X射线的吸收和特征谱仪测量
- 闪烁体荧光时间特性的观测与分析
- μ 子寿命测量实验
- β - γ 符合法测量放射源的绝对强度
- 长塑料闪烁计数器
- 电流电离室
- Ge(Li) γ 谱仪性能测试
- BF₃正比计数管
- 放射性核素半衰期测量
- 等离子体物理基础实验（等离子体密度、温度等特性的测量）

新工科---量子信息专业基础实验（5）

（1）量子纠缠源的产生与应用实验

（2）单光子干涉实验

（3）**HOM**型双光子干涉实验

（4）量子保密通信实验

（5）量子自旋调控计算实验

物理学院专业实验（80学时）

- 凝聚态物理专业实验（生物）
- 微电子专业实验
- 光信息科学与技术专业实验
- 核物理专业实验（原分、量子、医学）
- 核电子学专业实验
- 天文学专业实验

管理模式

- 中心托管
 - 提供“有限”建设、维持经费
 - 提供学时
- 依托学科
 - 出人、设备、内容
 - 科研暂停、平台让渡，指导实验
- 中心、学科共建

凝聚态物理实验（生物物理）

项目：

1. 变温霍尔效应测量（20学时）
2. 材料的低温物性与测量（20学时）
3. 粉末发光材料的制备、稳态和瞬态光谱测量技术（20学时）
4. 超高压物理实验（20学时）
5. 高温超导体的交流磁化率测量（20学时）
6. 电子与物质相互作用虚拟仿真实验（10学时）

选择与预约

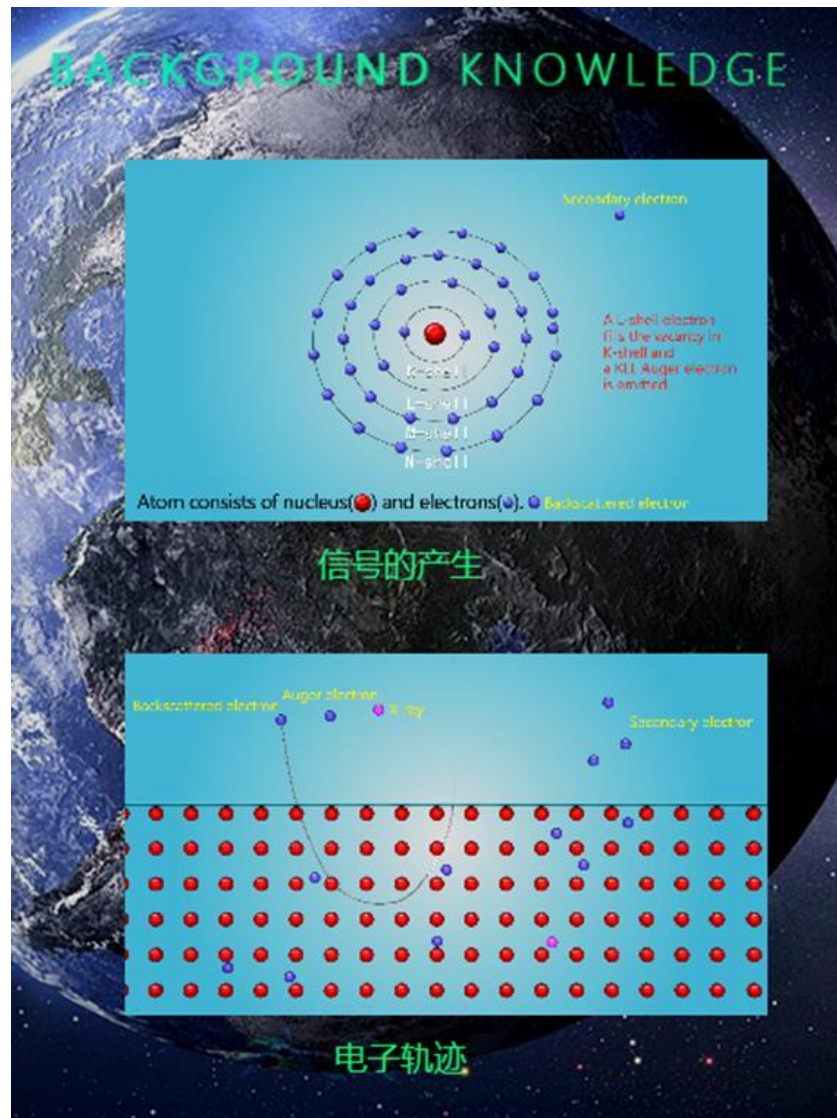
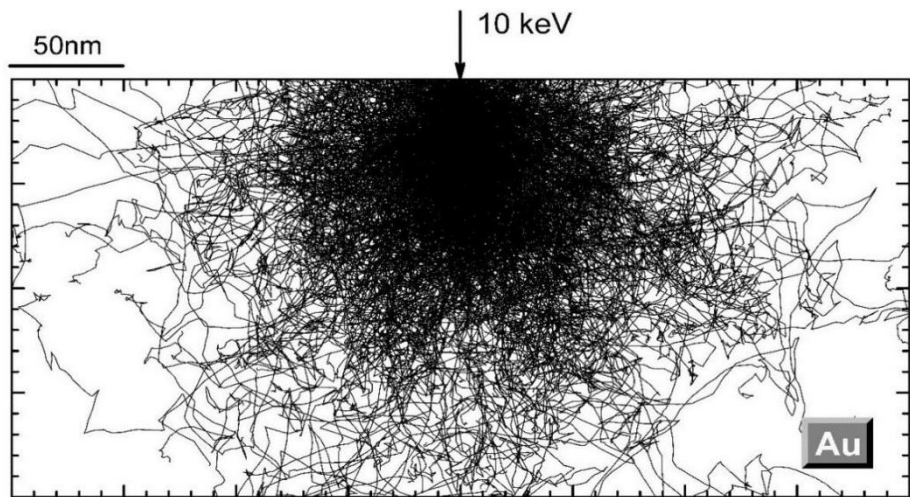
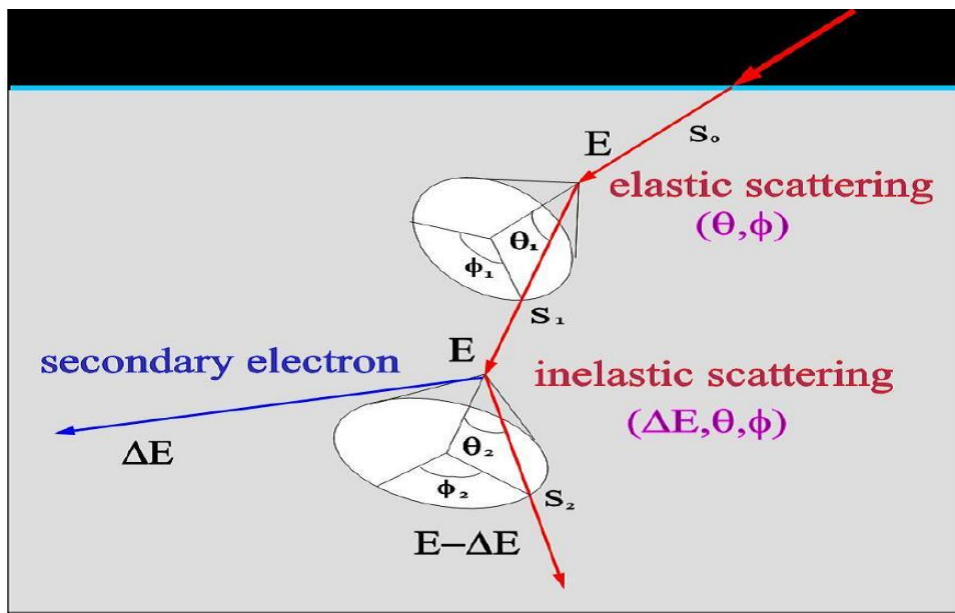
- 两人一组
- 每人网上完成虚拟仿真实验
- 每组五选三、预约完成实验
- 实验过程：
 - 各实验集中介绍（背景、相关前沿、方法等）、预习
 - 完成相关实验内容
 - 思考题、相关实验的读书报告
- 95同学，每个实验上限30组

电子与材料相互作用虚拟仿真 实验

网址:

<http://xnfz.cmet.ustc.edu.cn/project/006/>

实验原理



实验内容

- 弹性背散射电子的出射角度分布
- 二次电子和非弹性散射电子出射能量分布

实验1：弹性背散射电子的出射角度分布

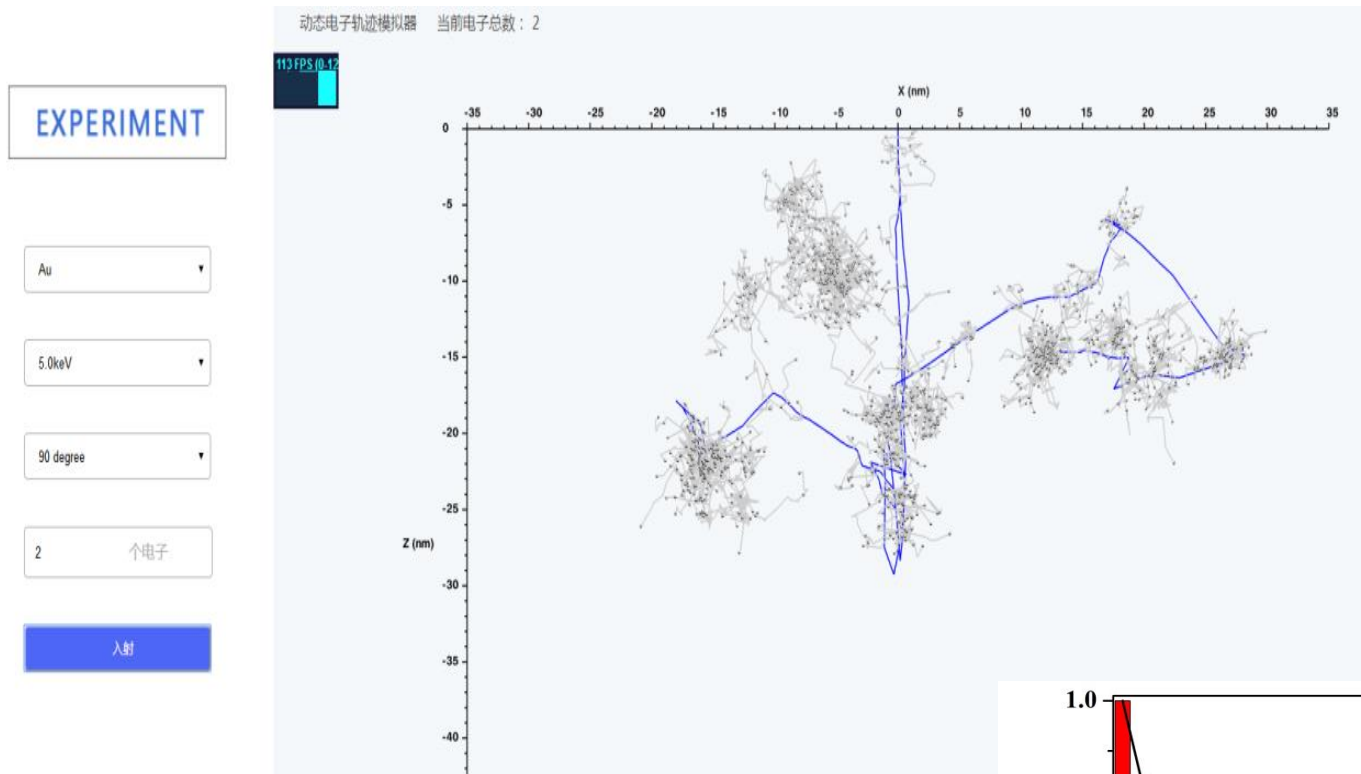
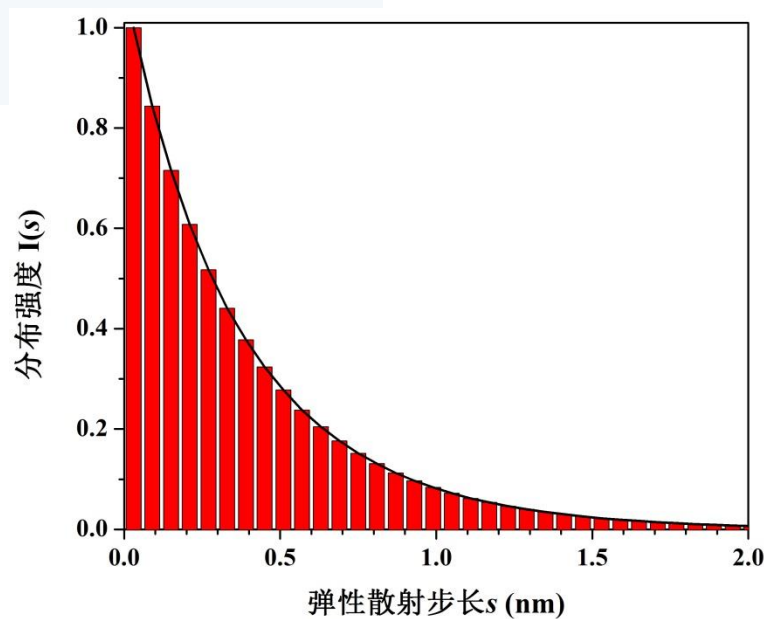
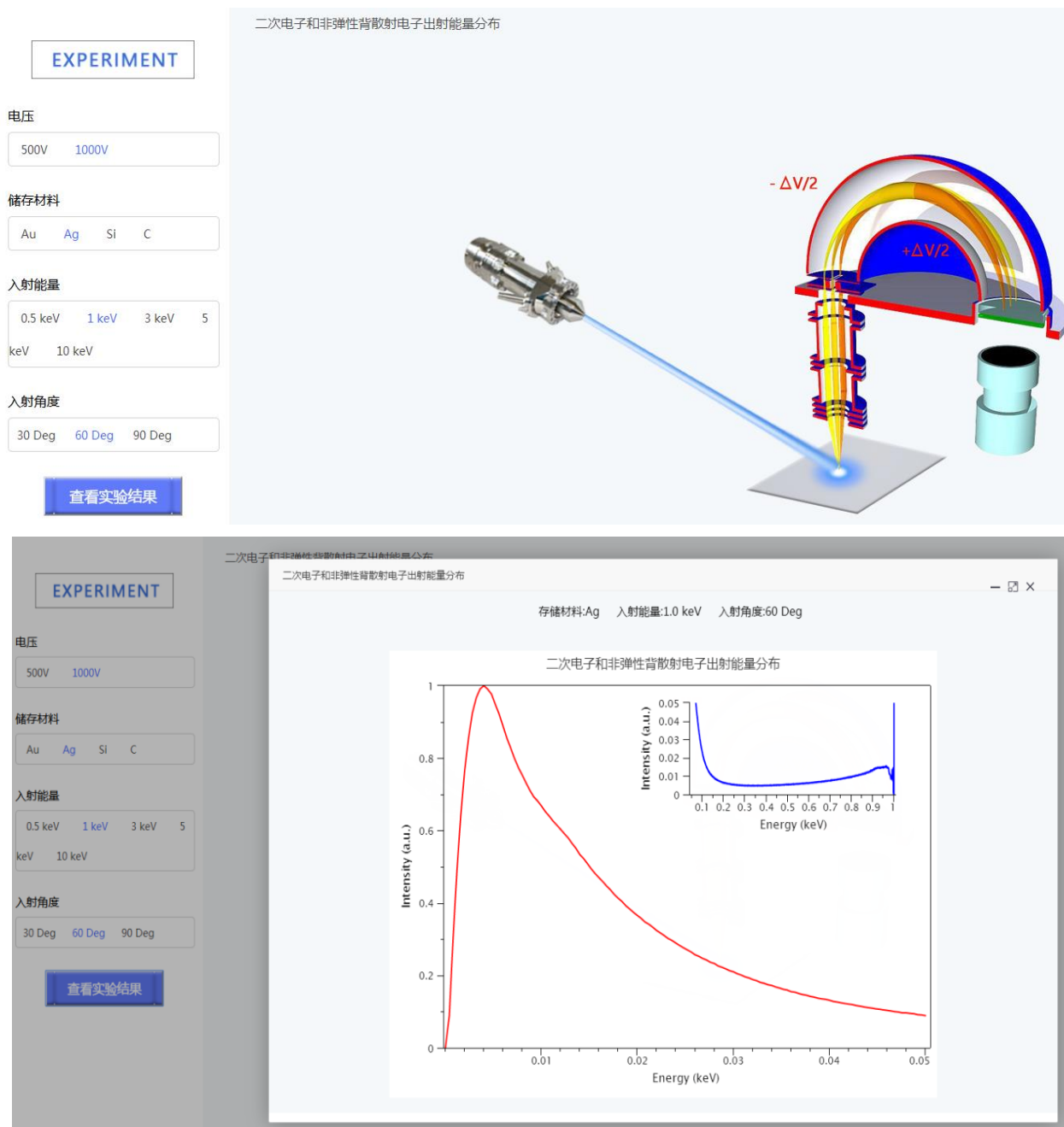


图1 Au材料，90度入射，1 keV条件下电子弹性散射步长统计分布



实验2: 二次电子和非弹性散射电子出射能量分布



变温霍尔效应测量

测量系统的构成及运用

一. 实验目的

1. 利用低温液体降温方法，测量半导体材料在不同温度下的 霍尔系数、霍尔迁移率和电导率。
2. 判断样品导电类型、计算禁带宽度的方法。
3. 掌握范德堡方法的测量基础。
4. 掌握不同半导体材料霍尔测量对电极和测量仪器的要求。

二.实验内容

1.实验文献调研

- 稳态气泡原理(SVB)控温的77-340K霍耳测量系统构成
- PID工作原理
- 霍耳电极材料的选择和制作
- 薄膜和宽禁带半导体霍耳方法测量的难点
- 霍尔测量中等掺杂锗和铋化铟样品本征激发影响开始温度
-

2.实验文献调研讨论

实验开始前对调研结果进行讨论

3.变温霍尔电压和电导测量

4.实验数据处理

- (1) 由霍尔电压的正负判断样品的导电类型
- (2) 计算室温下样品的 σ , R_H , n 和 μ_H
- (3) 对仪器显示温度进行线性变换定标
- (4) 利用 Arrhenius-Plot 方法拟合计算能级位置、禁带宽度。

材料的低温物性与测量

温度降低导致物质的物理性质发生变化，金属的电阻随温度的降低而减小，半导体的电阻却随温度的下降而指数上升；

温度降低:一些材料的热导率减小，而另一些材料却可能大大增加；低温下一些材料变得发脆无法使用，另一些的机械性能却得到改善。

温度降低，物质中原子、分子和电子的热运动减弱，使得在常温下被热运动掩盖了的与某些相互作用有关联的本征性质显现出来，如比热中的电子比热，光谱的精细结构等。

温度向下推移带来新的重大发现:如极低温下的量子霍尔效应

➤ 实验内容

(1) 样品电极制备

i. 样品清洗：将半导体硅片放入丙酮溶液的玻璃容器内进行超声清洗，然后将样品放入HF溶液中浸泡10分钟，取出后用去离子水清洗，烘干后待用。

ii. 电极制备：取四根铜丝，去掉漆包漆；用牙签蘸少许导电银胶将铜丝固定在样品表面，电极按四引线法布置，烘干后样品电极制备完成。用万用表测量电极连接情况。

(2) 材料的电学性质和直流测量

i. 样品安装与测试线路建立：将不同样品通过低温胶与绝热层固定在恒温器的恒温块上。连接和检查所有接线，在室温下进行测量，确认整个恒温器系统和测试线路能够正常运行。将恒温室密封，抽真空，再进行一次测量。

ii. 材料的直流测量：启动制冷机，测量在降温过程中不同样品的电阻随温度降低的变化。关掉制冷机开关，温度升高至室温，记录此过程中样品电阻的变化。做出不同样品的R-T曲线，对实验结果进行讨论。

粉末发光材料的制备、稳态和瞬态光谱测量技术

实验内容和目的

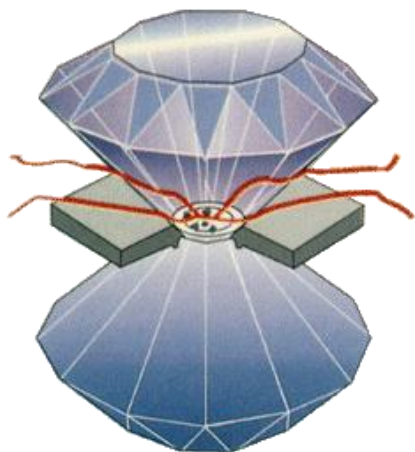
- 1、掌握燃烧法制备荧光粉的方法；
- 2、学会利用燃烧法制备红色荧光粉 $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 和三基色蓝色荧光粉 $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$ ；
- 3、了解发射光谱和激发光谱的基本原理，掌握光谱分析的测试方法。

高温超导体的交流磁化率测量

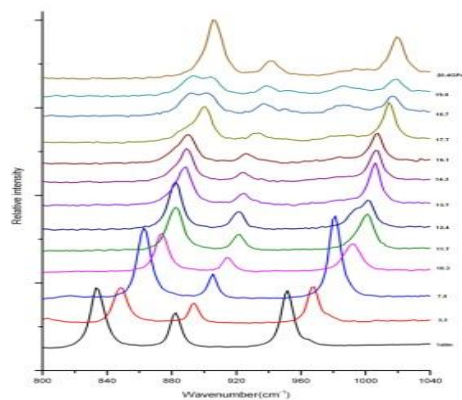
超导体的两个最基本的性质是：零电阻特性，完全抗磁性。

交流磁化率的测量，是了解高温超导体抗磁性、超导转变温度的的重要手段。交流的磁性测量，对样品的大小、形状等没有特殊的要求，而且不需要在样品上做电极等有损样品性质的操作等优点。

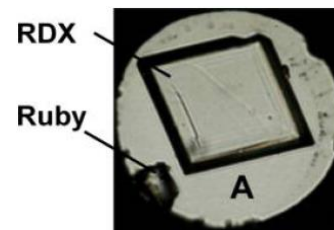
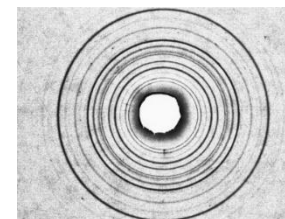
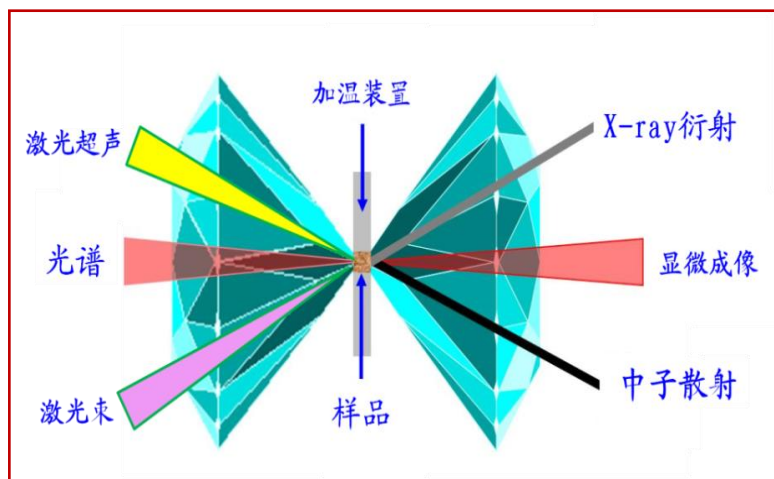
实验目的：通过本实验可基本了解交流磁化率的测量原理、高温超导体的抗磁性、超导转变、交流损耗等低温物理实验的基本方法等。



高压物理实验

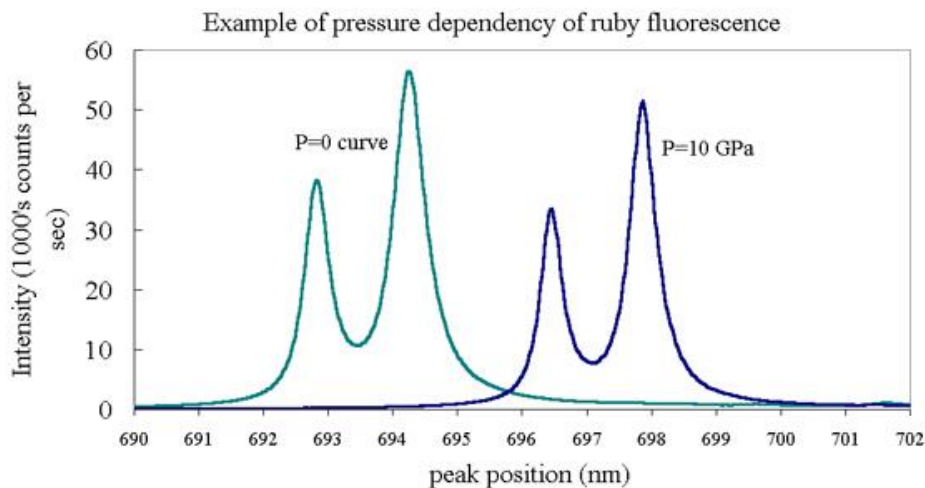


拉曼光谱

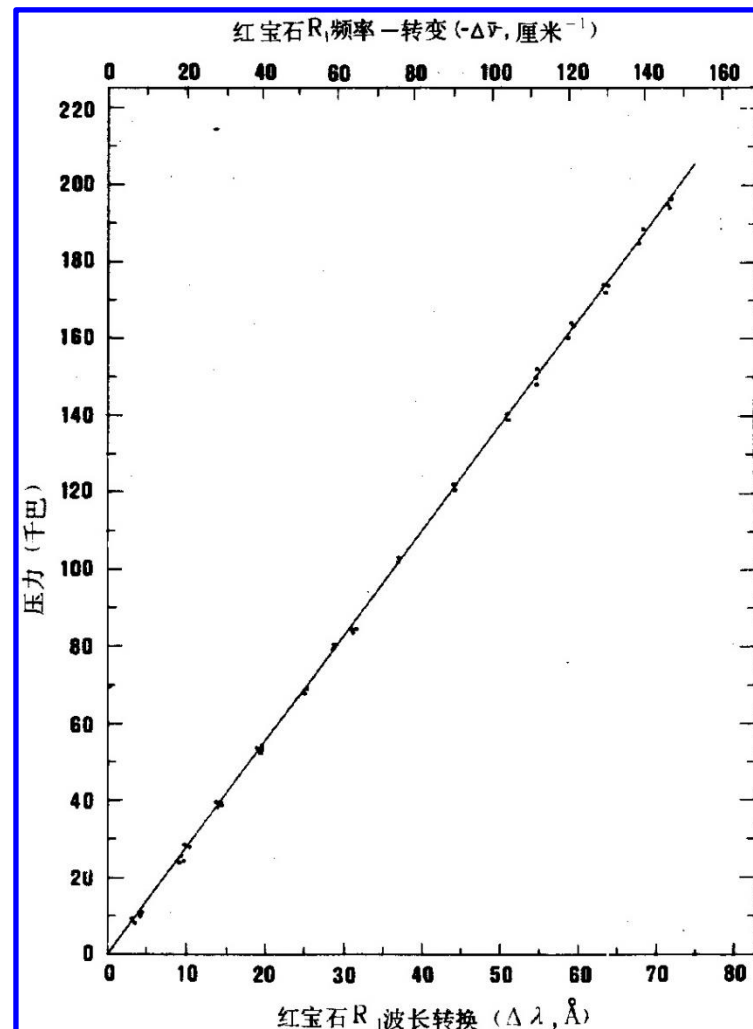


红宝石荧光压力定标方法

用Decker的NaCl状态方程
进行压力校正 (<29.5GPa)

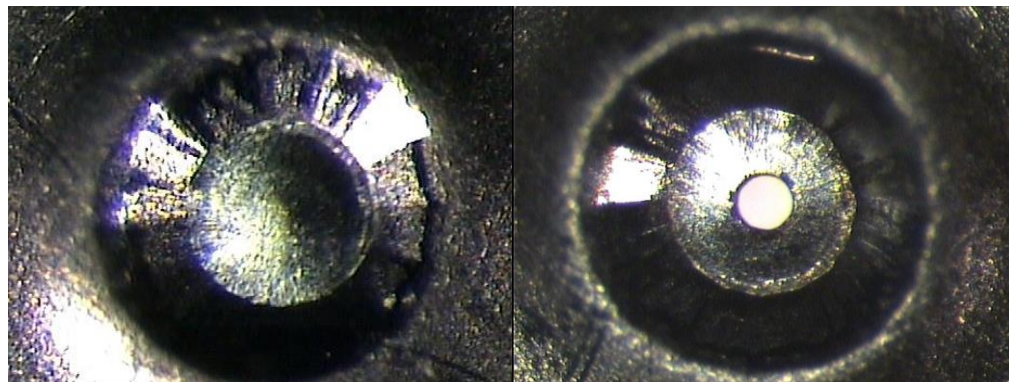


$$P \text{ (GPa)} = 2.74 \Delta\lambda \text{ (nm)}$$

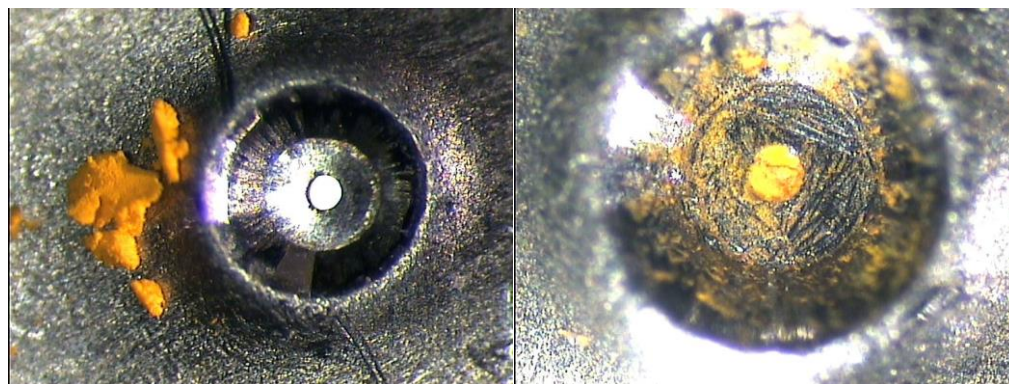


实验内容

- 密封垫的预压打孔



- 装填样品



实验内容

- 观察高压下水的相变，测试相变压力
- 观察高压下EuF₃的荧光变化，测试相变压力

微电子专业实验

微电子专业系列实验介绍

微电子专业系列实验主要包括半导体器件参数特性测试分析、集成运放电路设计和应用、以及模拟集成锁相环的测试与应用等三部分内容，具体包括PN结二极管、双极型晶体管BJT、MOS器件、发光二极管LED等器件的特性测试实验、模拟集成电路应用实验方波三角波发生器设计以及模拟集成PLL的原理应用实验。

实验一 半导体器件特性测试实验

本实验的目的是了解半导体特性测试仪的原理，掌握其使用方法，并用这种测试仪进行晶体管、多种二极管、晶体管、MOS管各种参数测试，通过实验了解和掌握半导体器件特性及其各种参数，加深学生对器件物理理论知识的了解，为后面的电路设计打好坚实基础。

实验二 方波三角波发生器实验

应用集成运放正反馈原理，可以构成各种振荡电路，产生正弦波、方波、三角波等各种波形。本实验利用集成运放UA741搭建方波三角波的波形产生电路，通过直观的波形变换与课本中的比较器、积分器设计相结合，使学生学会用集成运放组成方波与三角波发生器，掌握方波与三角波发生器电路调试与测量方法。

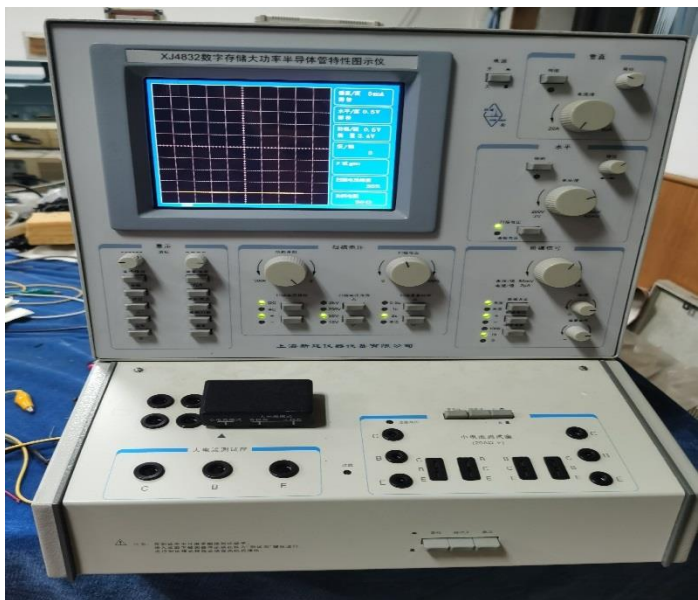
实验三 模拟集成PLL的原理应用实验

通过介绍模拟集成锁相环电路的原理和应用等相关内容，使学生掌握自研的模拟锁相环PLL KD8041的组成及工作原理，掌握锁相环同步带、捕捉带的测试方法，增加对锁相环捕捉、跟着和锁定等概念的理解。让学生了解如果通过不同功能电路的组合来实现具有特定应用的复杂集成电路。

微电子专业系列实验项目与学时分配

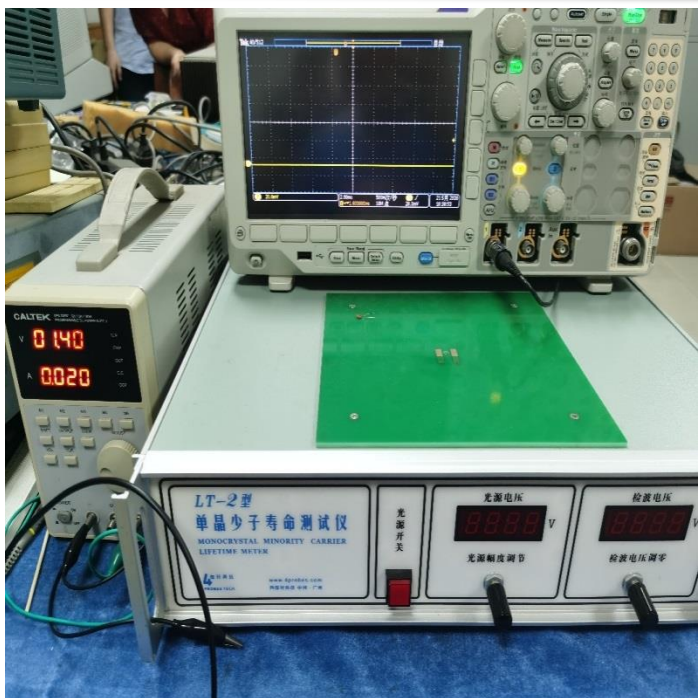
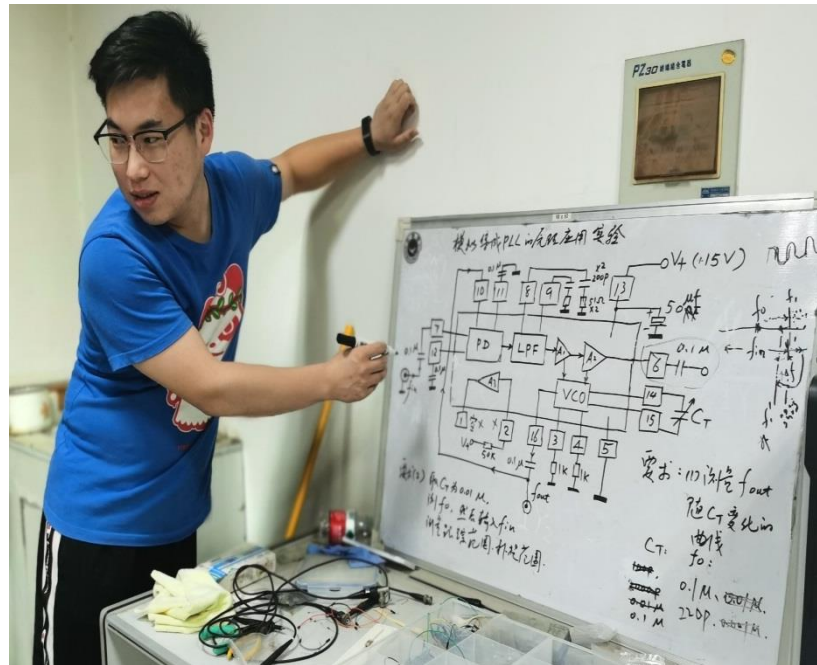
序号	实验项目内容	学 时	实验内容类型
1	绪论	2	讲授
2	PN结二极管IV特性测试	6	验证型
3	PN结二极管CV特性测试	6	验证型
4	BJT器件IV特性测试	6	验证型
5	BJT器件开关特性测试	6	验证型
6	MOS器件IV特性测试	6	验证型
7	MOS器件开关特性测试	6	验证型
8	LED发光二极管特性测试实验	6	验证型
9	模拟集成电路反馈电路设计与测试	6	验证型
10	运算放大器的应用实验方波发生器	6	验证型
11	运算放大器的应用实验三角波发生器	6	验证型
12	模拟集成锁相环PLL应用设计与参数测量	6	验证型
13	模拟集成锁相环PLL具体应用电路实验	6	验证型
14	总结和讨论	6	验证型
总学时		80	

教材：自编 《半导体器件物理实验讲义》 《模拟集成电路实验讲义》



半导体器件特性测试仪

助教老师讲解电路原理



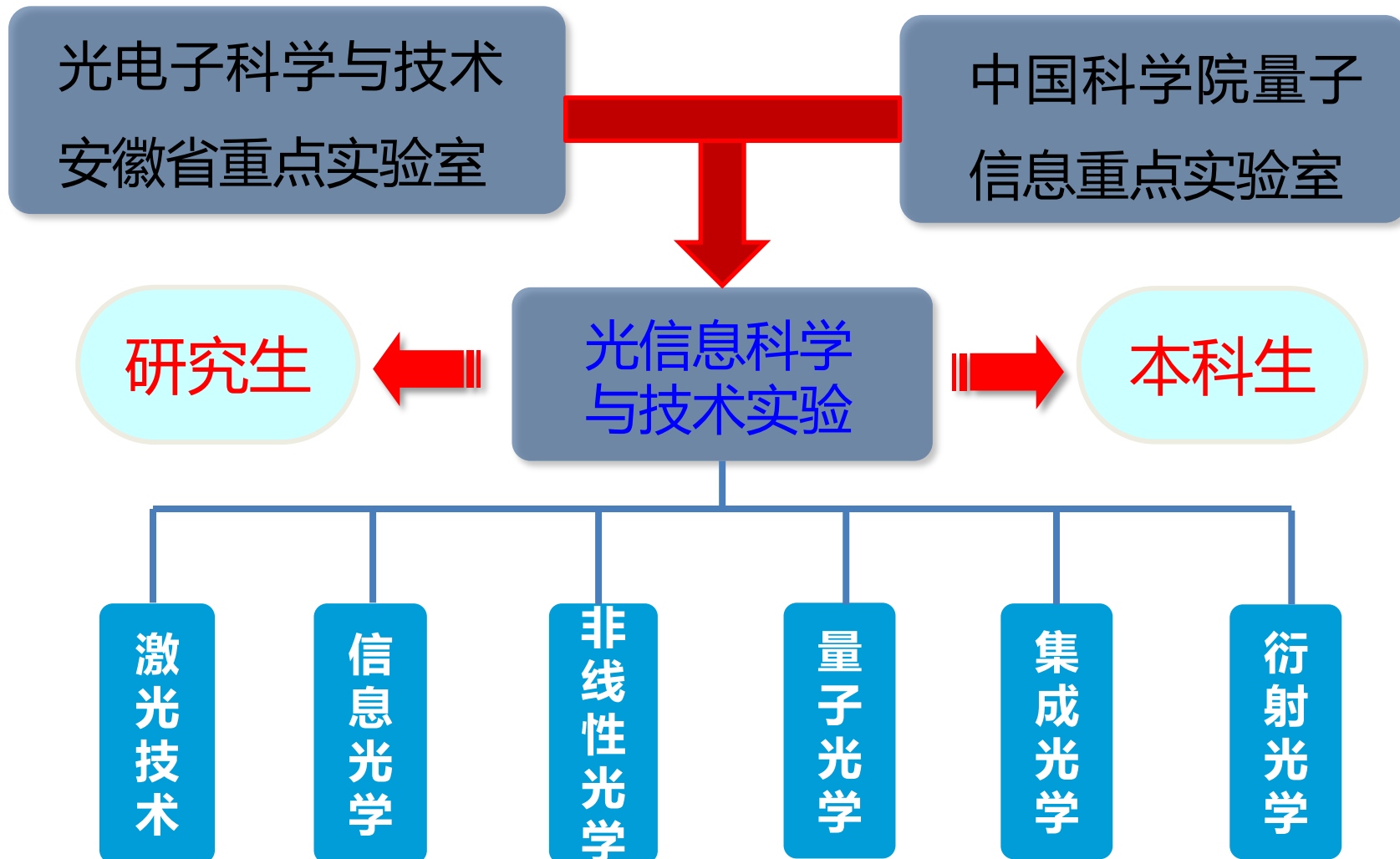
示波器及直流电源

正在进行实验的同学



光信息科学与技术实验

光信息科学与技术实验：依托两个省部级实验室，面向两类学生



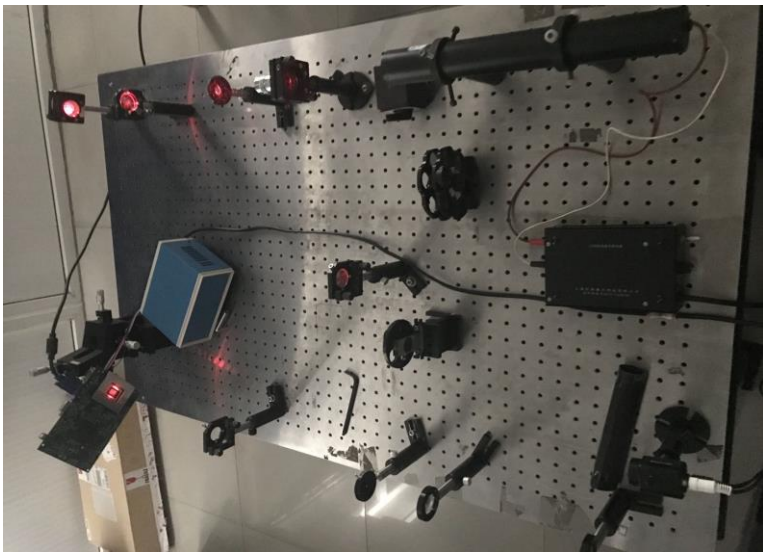


1. Nd:YAG激光综合实验系统

2. 光电子科学与技术实验系统

3. 量子光学和量子信息基础实验系统

4. 光束整形实验系统



一、Nd:YAG激光综合实验系统 (21学时)

- 1、Nd:YAG激光器自由振荡和调Q特性实验; (7学时)
- 2、Nd:YAG激光行波放大特性实验; (7学时)
- 3、Nd:YAG激光非线性变频特性实验。 (7学时)

二、光电子科学与技术实验系统 (30学时)

- 1、半导体激光器特性测试; (6学时)
- 2、光纤光栅温度应变传感; (6学时)
- 3、M线法测量有机聚合物波导厚度与折射率; (6学时)
- 4、光纤杨氏双缝干涉实验; (6学时)
- 5、光纤激光器声学传感实验。 (6学时)

三、光束整形实验系统 (21学时)

- 1、基于GS算、Y-G算法等的DMD光束整形实验; (7学时)
- 2、LG光束和Bessel 光束的产生与调控实验; (7学时)
- 3、采用迭代法对光场进行调制实现聚焦实验。 (7学时)

四、量子光学和量子信息基础实验系统 (8学时)

- 1、基于雪崩光电二极管的单光子探测器参数测量实验。 (8学时)

核物理专业实验

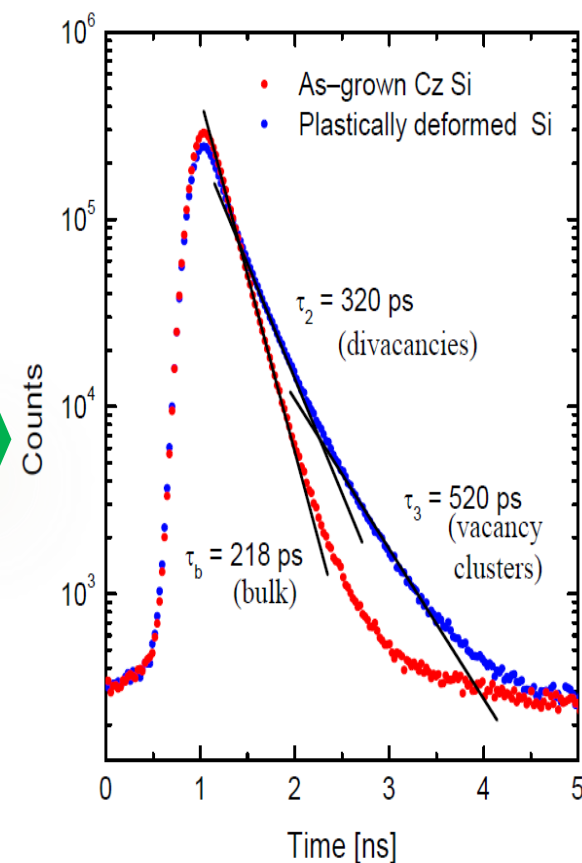
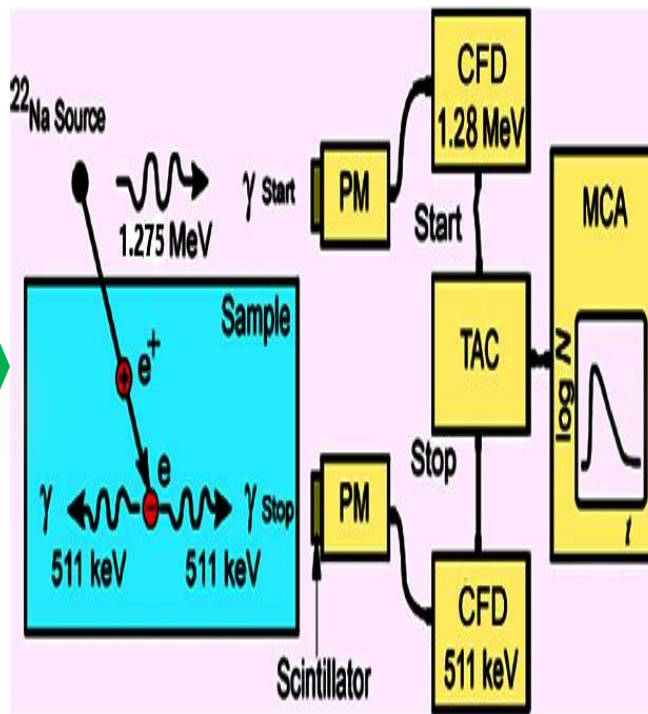
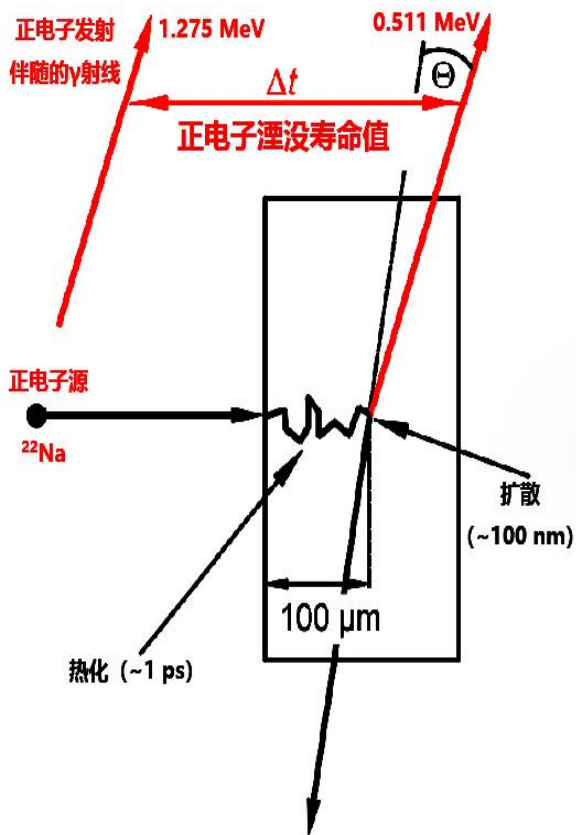
课程编号	课程名称	学分	课时
004022	核物理专业实验	2	80

序号	实验名称	学时
1	正电子湮没寿命谱的测量	10
2	用小立体角法测量 β 射线绝对活度	8
3	康普顿散射	8
4	GEM探测器增益测量与X射线成像实验	10
5	MRPC(多气隙电阻板室) 实验	10
6	Ge (Li) γ 射线谱仪	8
7	扫描隧道显微镜STM) 实验	8
8	电子能量损失实验	10
9	闪烁体耦合SiPM系统增益和光强响应特性	10

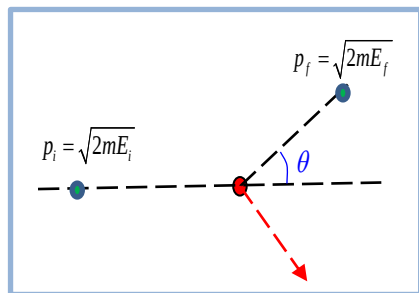
实验内容

➤ 以《正电子湮没寿命谱的测量》测量为例：

实验原理 → 实验设计 → 结果分析



电子能量损失谱实验



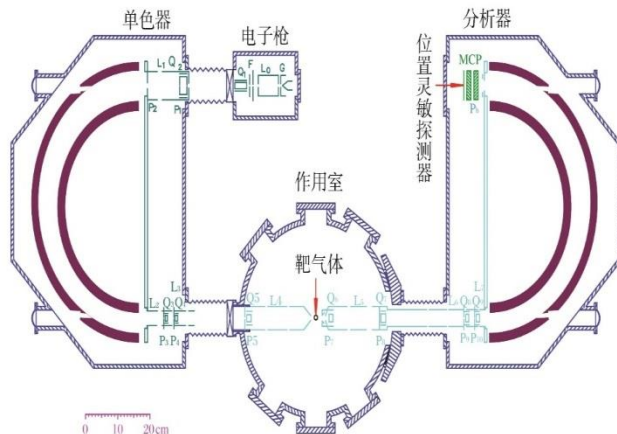
电子-原子分子散射过程

碰撞过程中的能量损失:

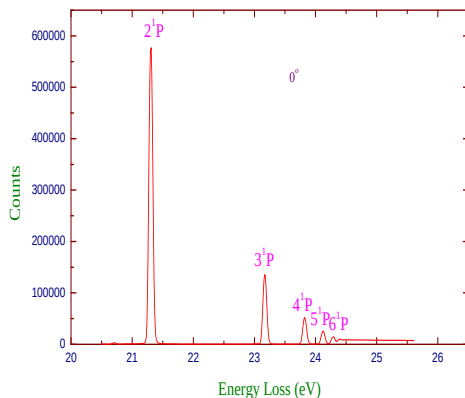
$$E_n = E_i - E_f$$

动量转移平方:

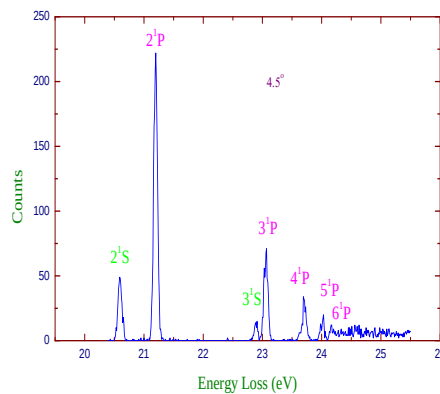
$$K^2 = p_i^2 + p_f^2 - 2p_i p_f \cos \theta$$



电子能量损失谱仪结构图



氮原子的1500eV电子碰撞0°的电子能量损失谱



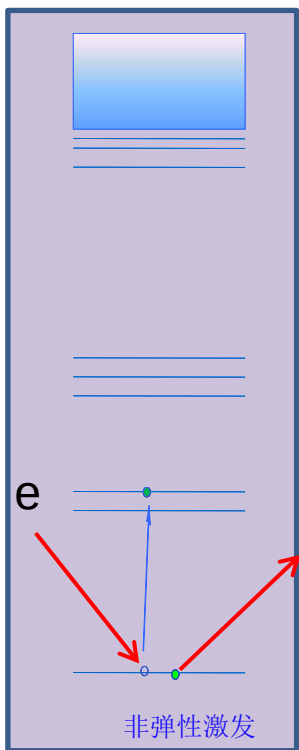
氮原子的1500eV电子碰撞4.5°的电子能量损失谱

计数与截面的关系:

$$N(E_0, E_j, \theta) = I_0 n_0 \frac{d\sigma(E_0, E_j, \theta)}{d\Omega}$$

实验特色:

- ✓ 充分发挥学生的主动性
- 自己设计实验
- 自己做实验
- ✓ 与《原子物理》紧密结合
- ✓ 自己动手实际操作较大型的科研装置



氮原子的电子碰撞激发过程

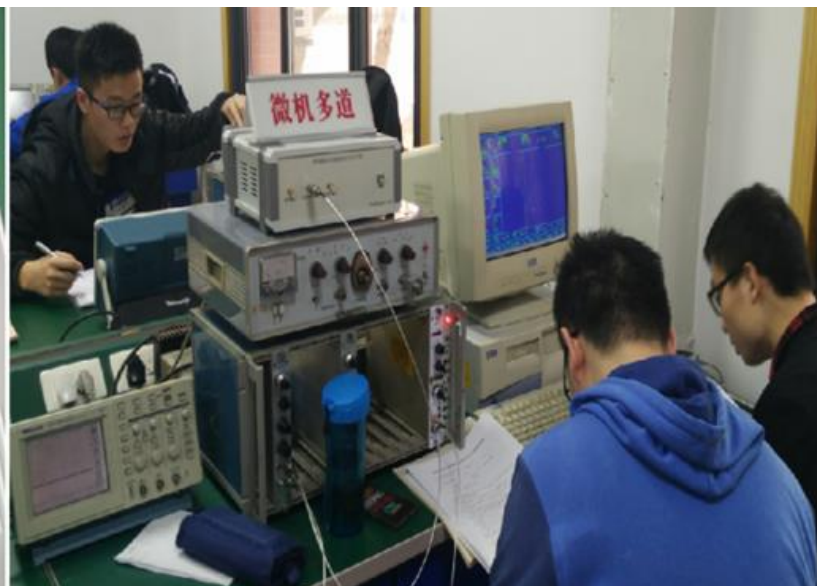
核电子学专业实验

课程简介

- 核电子学实验是与核电子学方法理论课程紧密配合的一门专业实验课程，目前包含5项基本实验项目
 1. 基本NIM插件的使用
 2. 传输线实验
 3. 快放大器性能测试
 4. 时间幅度变换器
 5. 微机多道分析器实验

微机多道分析器实验

- 微机多道分析器实验
 - 该实验通过微机多道分析器采集并分析信号发生器产生的虚拟放射源信号能谱，使学生了解放射源能谱的物理含义及常用测量方法，并能掌握测量设备非线性性能的修正方法；



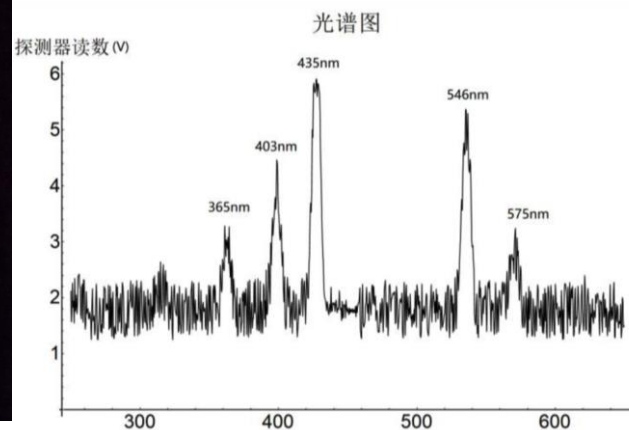
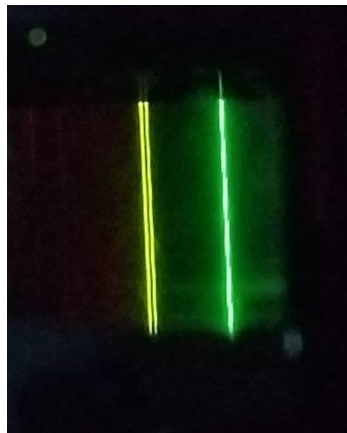
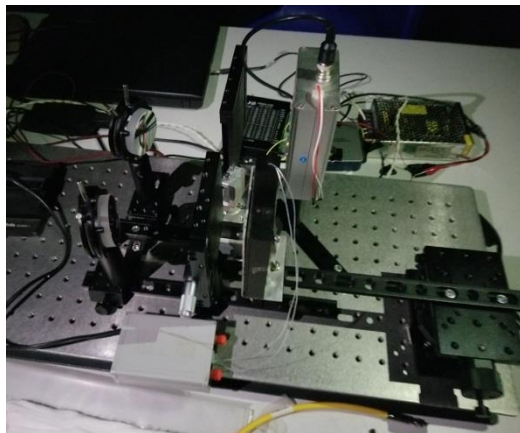
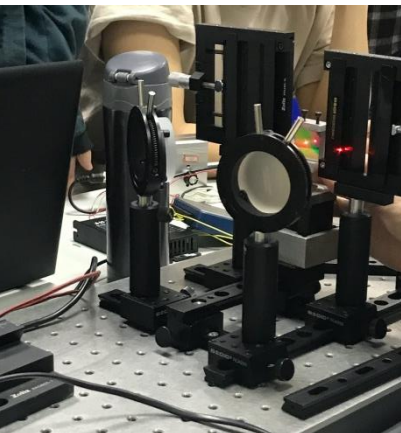
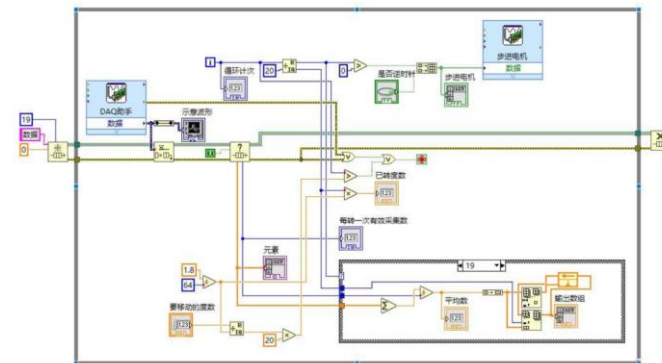
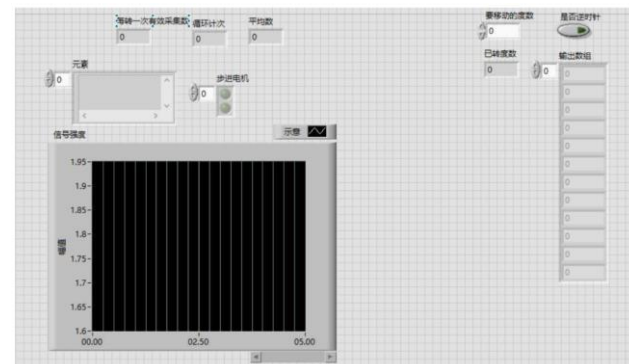
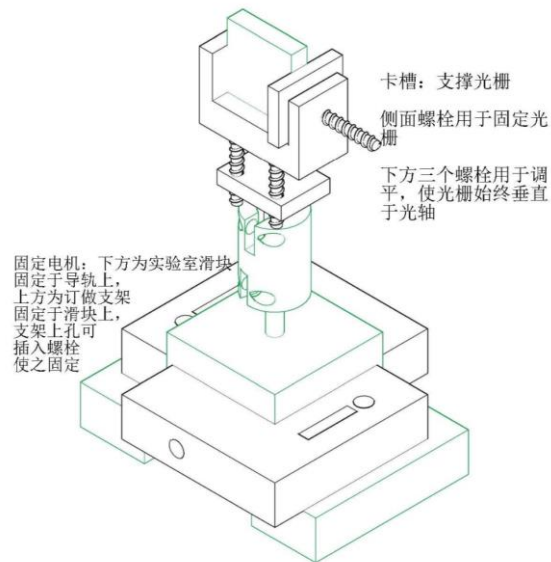
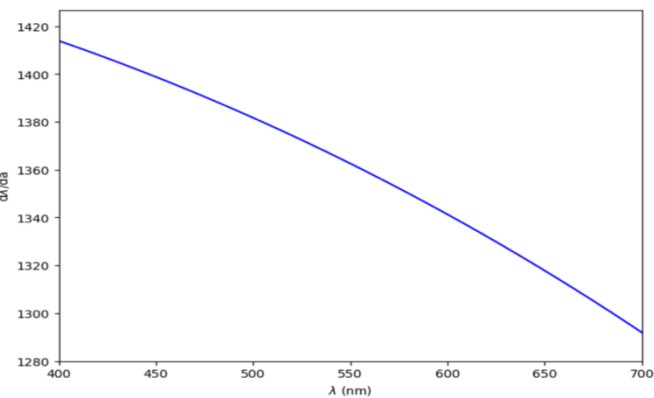
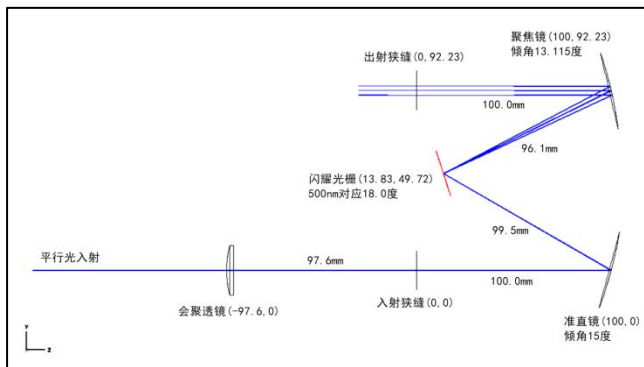
天文学专业实验

天文学专业实验

种类	实验名称	学时	实验内容
天文仪器技术	光学设计	8	复习光学概念和原理；学习光学设计软件Zemax
	数据采集与自动控制	8	学习LabView编程、数据数模转换、电机控制
	机械设计	8	学习机械CAD设计软件使用和机械零件的设计
	扫描式光谱仪设计	16	设计搭建光栅光谱仪；测量谱线光源光谱
天文数据处理	天文台址和望远镜	4	调研熟悉国内外著名天文台、望远镜、终端设备性能，写调研报告
	天文数据库和软件	8	了解国内外通用天文数据库；学习linux操作系统、天文软件IRAF和编程语言Python
	图像获取和测光分析	12	根据科学目标，学习天文图像数据获取；利用IRAF、SExtractor等软件处理图像，测量星系图像参数，研究星系形态、大小。
	光谱获取和谱线测量	12	利用SDSS数据库，学习光谱数据下载和获取；利用IRAF、MPFIT等软件，测量星系光谱发射线吸收线等特征，分析星系物理特性。
	天文大数据处理分析方法	4	了解深度学习算法，了解天文大数据及深度学习算法在现代天文中的应用

受实验条件限制，“天文仪器技术”部分学生分组实验；“天文数据处理”部分每个同学独立完成实验内容，每次课提交实验报告。课内总学时为80学时。

天文仪器技术



谢谢！