

南開大學

物理科学学院

2018 英才计划

指导教师 宋峰教授 李磊副教授 任杨阳 等

学员 董欣田 耿浩然 耿逸然 孟越 孙勣举 牛厚朴

南开大学物理科学学院

二〇一九年一月

项目简介

为贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010-2020)》有关要求，切实促进高校优质科技教育资源开发开放，建立高校与中学联合发现和培养青少年科技创新人才的有效方式，中国科协和教育部自 2013 年开始共同组织实施中学生科技创新后备人才培养计划(简称“英才计划”)。

“英才计划”旨在选拔一批品学兼优、学有余力的中学生走进大学，在自然科学基础学科领域的著名科学家指导下参加科学研究、学术研讨和科研实践，使中学生感受名师魅力，体验科研过程，激发科学兴趣，提高创新能力，树立科学志向，进而发现一批具有学科特长、创新潜质的优秀中学生，为“基础学科拔尖学生培养计划”输送后备力量，并以此促进中学教育与大学教育相衔接，建立高校与中学联合发现和培养青少年科技创新人才的有效模式，为青少年科技创新人才不断涌现和成长营造良好的社会氛围。

2018 年度，“英才计划”试点工作在全国 15 个城市的 20 所重点高校实施，培养 700 名左右优秀中学生。南开大学物理学院积极响应国家号召，宋峰教授、李磊副教授摒弃一切功利因素，完全从中学生的兴趣爱好出发，遵循因材施教原则，制定切实可行的培养方案和培养目标，使学生实质参与了解科学的研究，帮助学生在兴趣中自主发现问题、自主解决问题。导师在探索中学生科技创新人才培养的方式方法中，采取指定阅读书目、参观实验室、参加学术讨论、听取学术报告、指导课题研究等方式培养学生，对于兴趣爱好或科研项目属于交叉学科或边缘学科的学生推荐高校内部不同学科导师、不同实验室或校际间的合作共同培养。

导师及培养团队保证了必要的时间和精力投入，每月至少与学生面谈两次，对学生进行当面指导。导师及培养团队也加强与中学教师的联系，协助导师督

项目简介

促学生积极参与培养。

活动形式有：同导师讨论历年特色 IYPT 竞赛题目；进入大学与本科生一起做基础实验，包括示波器的使用，调节迈克尔逊干涉仪，做碰撞及弦振动实验，测定冰的溶解热和钢丝的杨氏模量，研究电桥的搭建等；深入高校实验室与研究生学习科研方法及部分内容，如：制备荧光粉，学习 MATLAB 编程，了解激光器等；

学员还自行提出实验想法，或者完成导师制定的研究工作，其中，孙勣举同学的“无线路由器的摆放对信号的影响”，孟越同学的“含不同金属离子的荧光粉的制备及性能探究实验设计”是典型代表。在这个过程中，团队协作查阅相关文献，拟定实验材料和实验步骤，得出结论之后编写实验报告。学员们通过一系列英才活动丰富了知识储备，提高了“提出问题-分析问题-解决问题”的综合能力，也为未来的学习和成长指明了方向，可以说这是一次十分有意义的“英才之旅”。

目录

项目简介.....	1
目录.....	1
第一章 前言.....	1
1.1 2017 年英才计划总结.....	1
1.2 2018 年“中学生英才计划” 学员拜师仪式.....	4
第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔.....	7
2.1 观摩 CYPT 竞赛选拔总结.....	7
2.2 IYPT 问题讨论总结.....	30
第三章 大学基础实验.....	47
3.1 示波器的使用.....	47
3.2 迈克尔逊干涉仪.....	58
3.3 碰撞实验.....	61
3.4 弦振动.....	83
3.5 测定冰的溶解热.....	98
3.6 测定钢丝的杨氏模量.....	错误！未定义书签。 9
3.7 长度的测量.....	错误！未定义书签。
3.8 直流单臂电桥（惠斯登电桥）与直流双臂电桥(凯尔文电桥).....	错误！未定义书签。
1	
第四章 深入高校实验室.....	错误！未定义书签。 5

目录

4.1 NaYF ₄ :RE 荧光粉的制备.....	错误！未定义书签。 5
4.2 MATLAB 编程学习.....	错误！未定义书签。 3
4.3 探究掺杂 Ag 粉末对 ZnO 粉末发光性能的影响.....	171
4.4 激光原理.....	192
4.5 量子力学.....	218
4.6 光纤激光器.....	228
4.7 可饱和吸收体.....	245
4.8 光纤中信号传输.....	错误！未定义书签。
第五章 自主设计实验.....	错误！未定义书签。 58
5.1 含不同金属离子的荧光粉的制备及性能探究实验设计.....	错误！未定义书签。 8
5.2 无线路由器的摆放对信号的影响.....	261
第六章 冬令营与素拓.....	错误！未定义书签。 68
6.1 冬令营活动总结.....	268
6.2 综合素质拓展训练活动.....	285
第七章 2018 年“英才计划”总结评估.....	错误！未定义书签。 90
致谢.....	294

第一章 前言

1.1 2017 年英才计划总结

- 时间：2017.3.17
- 地点：南开大学生命科学学院
- 与会人员：

中学生英才计划数学学科导师顾沛教授

中学生英才计划物理学科导师宋峰教授

中学生英才计划化学学科导师王佰全教授、程鹏教授

中学生英才计划生物学科导师卜文俊教授

中学生英才计划计算机学科导师程明明教授

南开大学科学技术处副处长欧来良

天津市青少年科技中心副主任张恺



● 活动内容：

2018年3月17日上午，2017年度中学生英才计划总结会在南开大学生命科学学院召开。总结会上，各学科导师为2017届学员颁发“英才计划培养证书”；南开大学科学技术处副处长欧来良为2017年度优秀学员颁发证书；欧来良副处长和张恺副主任共同为获得2018年中国科协青少年国际交流项目遴选资格的同学颁发证书。



随后，2017届各学科学员代表介绍他们的培养成果和个人体会。并与2018届新学员进行了深入交流。





2017 年天津市各重点中学积极推荐优秀高中生参加中学生英才计划选拔，最后有 26 名高中生通过初选、笔试和面试从 223 名申报者中脱颖而出，成为 2017 届中学生英才计划学员。南开大学科学技术处，积极准备、精心筹划，推选出 8 位大师级专家教授担任 2017 届中学生英才计划导师。

各位导师精心制定培养计划，使学员通过与专家交流、参与科学探究、参加科技社团活动、参与学术研讨等形式，提升了自身的科学素质和科学品质。生物学学员张航鹤洋说：一年的英才计划带给我了数不清的收获，数不清的回忆，有老师们的言传身教，有学长们的严谨认真，还有与同学之间的共同进步，这将成为人生中最美好的一段学习经历！

在 18 年 1 月举行的第二届英才论坛中，各方的努力得到了回报，其中物理学科英才学员贾璐源被评为年度优秀学员，在 2 月份举行的“中国科协青少年国际科技交流项目遴选培训暨 Intel ISEF 冬令营”中，贾璐源同学也脱颖而出，代表中国分别参加第 60 届伦敦国际青年科学论坛和第 69 届英特尔国际科学与工程大奖赛，为国争光。展现了津门学子的风采，也展示了一年来南开大学各位

导师培养的累累硕果。

天津“英才计划”由市科协、市教委主办，依托南开大学进行英才学员培养，五年来，共有我市 113 名优秀学员进入南开大学，接受国内顶尖学科专家亲自指导。2018 年将有 32 名新学员进入南开大学接受培养，祝愿天津“英才”尽展风采。

1.2 2018 “中学生英才计划” 学员拜师仪式

- 时间：2018. 1. 20 上午 8:30

- 地点：南开大学生命科学学院

- 与会人员：

天津市科协副主席卢双盈

2015 级“英才计划”学员，2016 年考入南开大学计控学院的穆桐

南开大学计算机与控制学院程明明教授

南开大学党委宣传部副部长、校史研究室主任张健教授

南开大学科技处副处长欧来良

- 活动内容：

1月20日上午，2018年“中学生英才计划”天津学员拜师仪式在南开大学生命科学学院举行。2015 级“英才计划”学员，2016 年考入南开大学计控学院的穆桐同学作为老学长，与在座的师弟师妹分享了她参加“英才计划”的收获与体会。

第一章 前言



导师代表南开大学计算机与控制学院程明明教授，对新一届学员给予厚望，希望他们在这里感受大学的科学和文化氛围，培养创新意识和实践动手能力，提高自身的科学素养。



卢主席指出：“英才计划”（中学生科技创新后备人才培养计划）是一个

第一章 前言

非常宏大的计划，它的出台代表了国家的意志，它让全国范围内学有余力的优秀高中学子得以提前进入大学，使我们的中学、大学阶段教育无缝链接，让我们这些优秀的学子在未来成为科学家提高了可能性。提前进入到大学的环境中，探寻大学的状态，感受大学的氛围。让后备人才更早知道大学是做什么的，大学要学什么，大学要怎么学？

拜师仪式结束后，南开大学党委宣传部副部长、校史研究室主任张健教授做了一场《南开大学校史》的主题讲座，并带领南开大学“新生”，参观了南开大学校园。



南开大学今年推荐了 7 名获得国家级教学名师、国家杰出青年基金、教育部新世纪优秀人才支持计划、天津市青年千人计划等荣誉的，涵盖数学、物理、化学、生物、计算机五个学科的国内顶尖专家学者作为第五期导师。

第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔

2.1 观摩 CYPT 竞赛选拔总结

中国高中生物理创新竞赛 CYPT (ChinaYoung Physicists' Tournament) 旨在提高学生综合运用所学知识分析解决实际物理问题的能力，培养学生的开放性思维能力。参赛学生就一些实际物理问题进行团队合作研究，然后就其物理知识、理论分析、实验方案、结果讨论等进行辩论性比赛。不仅可以锻炼学生的科研素质，还能培养学生的合作精神和交流表达能力，使学生的知识、能力和素质全面协调发展。CYPT 参考国际青年物理学家锦标赛 IYPT (International Young Physicists' Tournament) 的模式进行。

南开大学物理科学学院前身为物理系，1922 年由饶毓泰先生创立，至今已经有九十余年的历史，为我国培养了大批物理人才，已经成为了我国高水平物理学人才培养的重要基地。南开大学物理科学学院在连续九年成功组织 IYPT 中国队的选拔、培训和参赛工作的基础上，经与全国部分重点中学协商，决定 2018 年在南开大学举办 CYPT2018，进行 IYPT 国家队队员选拔。

六名英才计划学员在辩论赛现场观摩学习，期间同学们认真思辨，用手中的纸笔记录下辩论环节的精彩瞬间，学姐学长们展示出的对科学研究分析问题和解决问题的方法为英才计划的学员开阔了眼界，坚定了他们继续在科学海洋里探索的决心。比赛结束后，几名学员还就其中感兴趣的几点进行了深入讨论，俨然形成了一个小辩论会。

晚间，南开大学宋峰、李磊两位教授和学员进行了日常科学经验交流。向每位同学发放活动记录本，希望学员们每个礼拜记录自己的工作，并向同学们推荐几本高中生适用的物理科普读物。

1. 赵凯华的新概念物理 中学版，基础好一点有意向做高中竞赛的同学推荐

读大学版。

2. 费曼讲义，这本书是介于教材和科普读物之间的书，公式偏少，英语基础好的同学建议阅读英文原版。

3. 科普类 时间简史简写本 量子力学史话。

老师们强调，同学们现在虽然不一定能看懂，但多看就是给自己多开阔眼界。多听百家之言但不盲从，多思多辨，大胆看，有问题大家一起讨论。在此基础上，如果还学有余力，可以在感兴趣的专业的方向看一两本。如果有时间可以下实验室，体验其中的原理和步骤。比如 led 荧光粉是怎样生成的； 全反射镀膜的原理；光纤光栅写入等等。

两位老师希望同学们给自己定一个读书计划，如果有问题要有针对性的阅读。李老师表示，物理的方向会随着科学的进步越研究越窄，而物理理论是会分层的。每升一级物理的含义和概念都会不同，但不同层次的理论都是相通的，没有矛盾，就好像狭义相对论和牛顿力学；经典物理和量子力学。

CYPT 观摩总结

第一场辩论

孟越

时间：2018. 3. 3 上午 8:30

地点：汉语言文学学院 201 室

参辩队伍：正方：原子团队；反方：CCIEE-PGA

评论方：修远队

题目：12. Curie Point Engine(居里引擎)

Make a nickel disc that can rotate freely around its axis. Place a magnet near the edge of the disc and heat this side of it. The disc starts to rotate. Investigate the parameters affecting the rotation and optimize the design for a steady motion.

制作一个可绕轴自由转动的镍盘，在盘一端附件放置一磁铁并加热这一端。盘开始转动，研究影响转动的参量并使其达到稳定转动。

正方报告

1、预实验

器材：酒精灯、不同磁铁、镍丝、铁架台等

实验现象：镍盘转动缓慢而不连续

2、理论分析

(1) 旋转原理：镍是铁磁性材料，高于一临界温度（居里点）后，失去磁性，变为顺磁性。用酒精灯加热的部分达到居里温度失去磁性，而未被加热的部分在磁力产生的力矩作用下驱动圆环。

(2) 计算推导：（公式略）

由计算得出，影响因素有：摩擦系数，镍盘内外径、厚度，磁场强度，加热温度面积

3、实验探究

给出装置模型及实验装置示意图

摩擦系数：换用加与不加润滑剂的不同轴承，摩擦系数越低，角速度越大且转动越稳定

镍盘内外径、厚度：换用不同镍盘

磁场强度：改变磁铁距镍盘远近。磁场越强，角速度越大且转动越稳定

加热温度面积：改变镍盘距酒精灯高度

记录实验数据，并给出最终使镍盘稳定转动的参数

4、实验分析与改进

误差分析

(1) 空间中磁场强度并不处处均等

(2) 酒精灯火焰温度不定，易引起误差

改进

(1) 应设法测量机械效率

(2) 应计算角速度方差

(3) 应对吸放热进行定量分析

反方提问

(1) 磁铁形状的影响？ 用传感器测量磁场强度与形状无关

(2) 酒精灯加热面积温度未控制变量

(3) 环境温度的影响？ 如改变值小无大影响

反方报告

1、 题目回顾

2、 正方优点

(1) 图片多

(2) 有详细的公式推导和受力分析

(3) 有误差分析及实验改进

3、 建议

第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔

- (1) 同时改变受热面积和温度影响不够科学
- (2) 磁铁消磁问题
- (3) 温度与距离关系
- (4) 对流冷却
- (5) 无实验视频

讨论

正方观点

- (1) 未找到太好的解决办法
- (2) 有疏漏，但在实验中无明显影响
- (3) 有实际测量温度
- (4) 对流变量影响镍盘整体温度，对加热影响不大
- (5) 视频无法打开

反方观点

- (1) 红外线测温参数调整问题

评论方提问

正方：

- (1) 如何确认加热处是否是居里点温度
- (2) 对稳定旋转的定义

反方：

- (1) 红外测温具体系数如何得出

评论方报告

1、 题目回顾

正方优点：

- (1) 流畅清晰
- (2) PPT 美观
- (3) 理论完整
- (4) 态度有礼

正方缺点：

- (1) PPT 制作有问题
- (2) 实验不够完善
- (3) 无视频
- (4) 语速过快

反方优点: 反方缺点:

- | | |
|---------------|-----------------|
| (1) 语言流畅清晰 | (1) 考虑不全 |
| (2) PPT 美观 | (2) 问题与正方自身分析重复 |
| (3) 提出切中要点的问题 | |
| (4) 态度有礼 | |

正方总结:

讨论回顾

对反方、评论方提出问题的回顾

裁判评论

正方: 语速过快; 理论应总结, 大段理论不易理解; 无视频; 无明确参数; 理论实验结合不够好。

反方: 未抓住关键问题。

评论方: 报告中 PPT 语言自相矛盾

个人理解:

此题涉及电学、力学知识, 应先根据理论做定量分析而确定影响因素, 实验每个变量对转动的影响, 最终得出合适参数。我认为如果用某种方式将被加热的镍盘冷却至室温, 调整加热点位置, 换用酒精喷灯或其他加热工具, 用电磁铁也可使转动更稳定。

对双方的评价:

正方: 讲解清晰, 实验中给出了具体数据和最终参数, 较有礼貌。语速过快, 理论过多且一闪而过, 难以理解, 实验中有些部分不够合理。

反方: 表达清晰, 谦逊有礼。提出了一些问题, 但没有针对理论提更深入的问题。

第二场辩论

孟越

时间：2018.3.4 上午 9:30

地点：汉语言文学学院 201 室

参辩队伍：正方：F.O.A； 反方：第三像性； 评论方：Team Entropy

题目：2. Colour of Powders (粉末的颜色)

If a coloured material is ground to a powder, in some cases the resulting powder may have a different colour to that of the original material. Investigate how the degree of grinding affects the apparent colour of powder.

如果一有色材料被研成粉末，有些情况下得到的粉末可能与材料颜色不同。
探究研磨程度如何影响粉末颜色。

正方报告

- 1、 题目解读：关键词：（1）材料，（2）如何影响
- 2、 预实验
 - (1) 研磨程度不一的玉米面
 - (2) 由粗到细颜色逐渐变浅
- 3、 实验
 - (1) 原材料：研磨程度不同的矿物原石：石膏 1、2、3、4、5，强光手电，分光镜
 - (2) 过程：
 - ① 摆放手电和分光镜，使其关于法线对称
 - ② 将粉末在托盘上铺平
 - ③ 关灯制造暗室，得到光谱
 - (3) 结果：
1——5 颗粒逐渐减小

第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔

1.<0.120mm 2.<0.074mm 3.<0.058mm 4.<0.048mm 5.<0.0925mm

绿光由弱——强

红光由弱——强

蓝光由较强——最强——较强

4、 结论分析

- (1) 来自物体的可见光主要由漫反射引起
- (2) 石青属多晶体
- (3) 颗粒越小表面积越大单色光越多，更偏向于白光
- (4) 颗粒越小颜色越浅；颗粒越大接近原色

所有材料都有吗？

单晶，粗糙时也可漫反射

透明材料，透光且多数无色，未实验

5、 误差分析

- (1) 暗室不够暗，强光手电本身的光谱有影响
- (2) 相机拍出的照片与光谱真实颜色有误差
- (3) 粉末的缝隙产生阴影
- (4) 分光镜会接收其他地方的光
- (5) 颗粒大小的误差

反方提问

- (1) 粉末的定义？
- (2) 科学定义直径 $<1\text{mm}$ ，而玉米粉不是？仅是预实验。
- (3) 利用暗箱？
- (4) 光强是否有影响？

正方

颗粒较小，

暗室内几乎无光

对粉末间差异和变化关系无影响

反方报告

1、 题目回顾

2、 正方优点 缺点：

(1) 语言表达流畅

(1) 未查询粉末定义

- | | |
|----------------|---------------------|
| (2) PPT 美观便于观看 | (2) 玉米粉内外颜色不一 |
| (3) 控制变量和定性分析 | (3) 暗箱有缺陷 |
| (4) 较严谨 | (4) 石青是混合物 |
| | (5) 未探讨非晶体，物质材料较少 |
| | (6) 图片中取色问题 |
| | (7) 理论无法应用在晶体组合的粉末上 |
| | (8) 粉笔是水合物有影响 |

讨论

正方回答：未在 PPT 中给出粉末的定义，但已查过；暗室环境可以改进；混合物由于粉末平均分布可能不会有影响；未研究非晶体是因为这不是课题主要研究方向；石青结果较准确。

反方反问：矿物原料很不纯；理论应用范围？物质过少？金属也可发生漫反射？误差分析过于简单。

评论方提问

正方：

反方：

- | | |
|------------|----------------|
| (1) 语言不够精确 | (1) 把时间浪费在预实验上 |
| (2) 对浅的定义 | |
| (3) 使用的软件 | |

评论方报告

1、 题目回顾

2、 正方优点：表达流畅，PPT 制作美观

反方缺点：未能彻底完善地对实验分析

3、 反方

4、 对双方建议：改进实验，不要纠结预实验

正方总结

实验装置可改进；误差分析应更明确；应更好诠释关键词

裁判点评

正方：实验过程可改进；软件等问题应弄清；三方未涉及核心问题，找错方向，应利用舌形图。

个人理解

辩论中提到的铁粉，个人认为铁块有平面，可进行镜面反射而研磨后只有漫反射。

关于裁判老师提到的舌形图，与色度有关，个人没有理解得太好。

对双方的评价： 正方讲解清晰，有理论辅助，实验过程清晰。所选材料过少，未重复实验理论，无说服力。反方能切中一部分问题，在概念方面较严谨。过于纠结预实验。

CYPT 观摩报告

耿逸然

<一>地震波的放大

- ★ 问题一：如何放大震动？

1 问题分析

2 资料

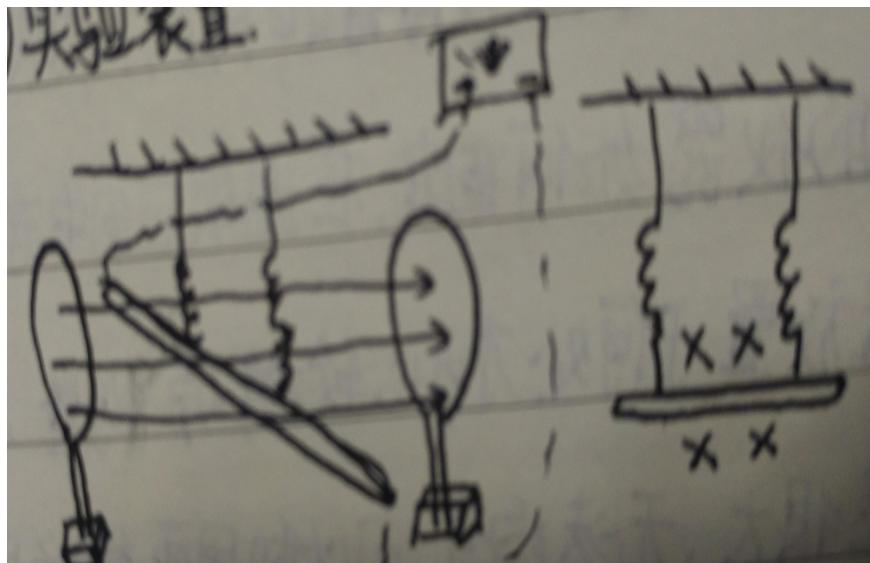
3 构想：测+放大

正方：进行实验陈述

- ★ 原理：(1) 利用地磁场、磁生电的原理和 DIS 的微电流传感器对震动进行测量。

(2) 利用震动传递，使磁场与杆产生相对位移，利用磁铁去放大震动产生电流的大小，从而以图像的放大来显示震动的放大。

- ★ 实验装置



- ★ 公式 $I=B\cdot L\cdot V/R$

- ★ 实验过程：用手敲击桌面模拟震动，进行测量。

- ★ 装置的阻尼

(1) 磁铁与地面连接为硬性，震动几乎无损失。

(2) 减阻器与铜丝减震。

(3) 阻尼系数 ≈ 0.8

★ 实验误差

(1) 装置灵敏度，大多地震频率 $< 20\text{Hz}$ ，设备每秒记录 20 次。

(2) 微电流传感器最小精度 $0.0008\mu\text{A}$

(3) 周围电器对磁场影响

(4) 从相同高度施放时有轻微抖动

★ 感受与收获

本场 CYPT 的比赛激烈而充实，正方的实验十分巧妙，但也有瑕疵，在正方陈述过程中，我认为有以下几个问题：

(1) 测量地震波的仪器如何固定，在现实应用中存在使用限制，将装置放置于何处才可以较精确测量。

(2) 用手敲击误差很大，无法均匀，可以利用更精确的机械

(3) 使用波峰进行数据分析是否准确

另外，收获很大，比如：

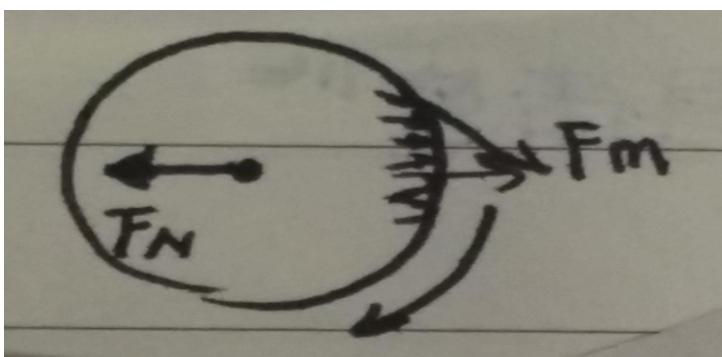
(1) 实验探究的影响因素要充分考虑并评估

(2) 人为干涉的误差可能会大，应尽量避免

(3) 表达方式如 PPT 与清晰的思路、流畅的表达很重要

<二>居里点发动机

★ 实验模型



★ 原理:

注意到 F_m 等量的计算，减少外界影响，用空心轻薄的镍盘进行实验，另外酒精灯及温度测量也有所注意，达到实验目的。

★ 原料注意:

- (1) 空心镍环，使用镍材料，轻薄，具有普适性
- (2) 酒精喷灯，相对稳定

★ 实验误差:

- (1) 酒精喷灯，不稳定
- (2) 镍环空间分布
- (3) 加热点问题

★ 实验收获与总结:

- (1) 本实验中正方未列明全部仪器，这是不足点
- (2) PPT 无页码，不便于分析，我们也应注意表达的清晰度
- (3) 对误差的理论及定量分析不足，难以澄清
- (4) 表达自然大方些，更好
- (5) 实验原理描述得明白清晰，值得借鉴
- (6) 视频辅助手段很明了
- (7) 注意实验中定量分析，理论分析，把握主要矛盾，忽略次要矛盾
- (8) 要对实验机理充分熟悉，实验误差要分析，实验效果不好要查找原因，以期达到最佳效果
- (9) 表达力求简练大方，条理清晰

另外，一个好的实验需要的是完美的实验过程及分析，需要把装置尺寸甚至仪器的型号标明，介绍的同学更要完全了解实验，这才能做出最好的效果。

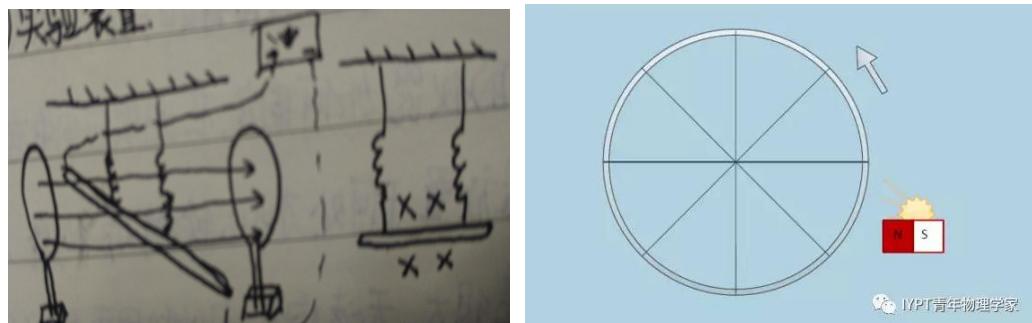
CYPT 观摩总结

耿浩然

<一>地震波的放大

1 原理：(1) 利用地磁场、磁生电的原理和 DIS 的微电流传感器对震动进行测量。

(2) 利用震动传递，使磁场与杆产生相对位移，利用磁铁去放大震动产物电流的大小，从而以图像的放大来显示震动的放大。



2 实验装置

3 公式 $I=B\cdot L\cdot V/R$

4 实验过程：用手敲击桌面模拟震动，进行测量。

5 装置的阻尼

(1) 磁铁与地面连接为硬性，震动几乎无损失。

(2) 减阻器与铜丝减震。

(3) 阻尼系数 ≈ 0.8

6 实验误差

第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔

-
- (1) 装置灵敏度，大多地震频率 $<20\text{Hz}$ ，设备每秒记录 20 次。
 - (2) 微电流传感器最小精度 $0.0008 \mu\text{A}$
 - (3) 周围电器对磁场影响
 - (4) 从相同高度施放时有轻微抖动

7 感受与收获

本场 CYPT 的比赛激烈而充实，正方的实验十分巧妙，但也有瑕疵，在正方陈述过程中，我认为有以下几个问题：

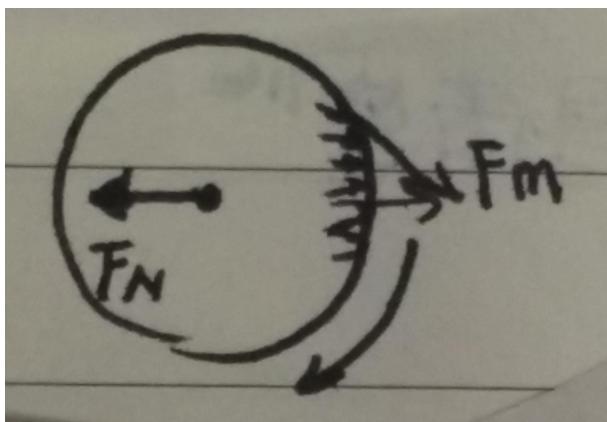
- (1) 测量地震波的仪器如何固定，在现实应用中存在使用限制，将装置放置于何处才可以较精确测量。
- (2) 用手敲击误差很大，无法均匀，可以利用更精确的机械
- (3) 使用波峰进行数据分析是否准确

另外，收获很大，比如：

- (1) 实验探究的影响因素要充分考虑并评估
- (2) 人为干涉的误差可能会大，应尽量避免
- (3) 表达方式如 PPT 与清晰的思路、流畅的表达很重要

<二>居里机发动机

1 实验模型



2 原理

镍铬合金就是可以用作居里发动机的材料，因为加热到居里温度后会失去磁

第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔

性，但冷却一段时间又能恢复磁性。注意到 F_m 等量的计算，减少外界影响，用空心轻薄的镍盘进行实验，另外酒精灯及温度测量也有所注意，达到实验目的。

3 原料注意

- (1) 空心镍环，使用镍材料，轻薄，具有普适性
- (2) 酒精喷灯，相对稳定

4 实验误差

- (1) 酒精喷灯，不稳定
- (2) 镍环空间分布
- (3) 加热点问题

5 实验收获与总结

- (1) 本实验中正方未列明全部仪器，这是不足点
- (2) PPT 无页码，不便于分析，我们也应注意表达的清晰度
- (3) 对误差的理论及定量分析不足，难以澄清
- (4) 表达自然大方些，更好
- (5) 实验原理描述得明白清晰，值得借鉴
- (6) 视频辅助手段很明了

我们应

- (1) 注意实验中定量分析，理论分析，把握主要矛盾，忽略次要矛盾。
- (2) 要对实验机理充分熟悉，实验误差要分析，实验效果不好要查找原因，以期达到最佳效果。
- (3) 表达力求简练大方，条理清晰。

CYPT 观摩总结

牛厚朴

这次旁听 CYPT，主要有如下几点思考与收获：

一、理论与实验

在观看水中蜡烛辩题时，正方理论依据详实，分类讨论完备，然而实验却没有跟上脚步，只在开头做了一个探究性实验，结尾做了一个验证性实验，即使理论的说服力不十分强了。而抛掷瓶子辩题时，正方实验设计精巧，变量分析仔细，然而在为何采用三分之一水量上，无法较好地给出理论依据，只说是实验证明最稳当的水量，同时又没有实验数据，也令人存疑。

我之见解是，理论是用来分析现象、解决问题的合理近似，因此，在进行探究的过程中，务必要以实验得出的数据为基准，进行分析，同时用数据进行比对、验证，因此只理论分析，却缺少实验与数据这一环，我认为是不合理的。毕竟理论的提出是为了能够解决更普适的问题，因此，对于它的正确性，应不吝加以反复验证，在不同情况下对比，解决时间、空间、尺度的变化是否会对现象造成影响，找出它的适用范围。

对于象“三分之一”这样以目前或自身理论水平难以解决的问题，我认为是可以在控制变量的情况下反复实验，直到得出最佳方案的。毕竟我们的第一目的，是解决当前技术上的问题，而并非一蹴而就，不连着发明新技术和发现配套新理论就不带翻篇的。理论固然要不断发展，现象背后的机理问题决不能让他悬着，这点我是十分同意的，但在时间紧迫的情况下，这样遍历、试错得出符合实验的用法、操作也无可厚非。毕竟其背后的机理可能会相当复杂，一时间无法解决，好比著名的“两朵乌云”。

二、定性与定量

还是抛瓶实验，这个实验正方最后没有给出定量的、解析的结果，只是大概给出了一个抛掷角度、初速度等参量的最佳区间，以及对于瓶子形状带来的影响的这个大坑，只简单分析了一下总体的抛掷难易程度。类似的还有弹性杆实验的“波包”，吸管实验对变量的控制（无法单一控制变量，牵一发而动全身）。

归根结底，我觉得要归结于现实条件的不理想，水不是“干水”，弹性杆的材料也并非理想连续体。即使条件理想，也不乏混沌现象的存在，何况现实生活中各种奇奇怪怪的因素跳进来努力地把水搅浑乎！现象自然地更加扑朔迷离，难以控制、解析。

这个时候，我并非说不能定量，更不能否认实际生产生活中对定量计算的需求，而是定量确实太难。想要定量，我们必须学会抓住主要因素，忽视次要因素，但有时候在某些极端或并非甚极端的条件下，某些次要因素常常又不可忽略，就导致了定量理论适用范围狭小，需要更完备的理论来解释，可这时难度又会几何级数增长。我并不是说我们不该追求更完善的理论，追求范围更广的理论，毕竟科学就是由这样的不满足不止步发展起来的，而是评判筹备时间短暂的中学生时，不该过多苛求。

三、 假说与定律

在弹性杆实验中，对实验现象的解释引起了教授的质疑：“你说这是波包，你怎么证明这是个波包？”正方同学答：“看起来像波包。”“那你凭什么说这就是波包？”“数据就摆在那里，看起来像波包，我们的理论也能做出解释，我说它是波包不是很自然吗？这凭什么就不是波包了呢？”

由此我就想，凭什么开普勒就说行星绕椭圆轨道绕太阳运行呢？牛顿凭什么就说万有引力遵循平方反比律而不是二点零零零零零一次方反比律呢？道尔顿没看见气体分子凭什么就分了压呢？

高中生的一己之见，我觉得我们是生活在做实验的世界，而不是生活在理论推导中、数字运算中的世界，当然，更不是生活在哲学家“本质争论”中的世界，真正决定我们生活的，是现象，是实际发生的事情。球星没学过动量冲

量伯努利原理，照样可以踢出漂亮的香蕉球，我只翻开过量子力学前 three 页，也不妨碍我使用手机。

因此，我觉得我们要尊重实验，尊重实验数据，尊重实验提出的假说和定律。正如那位同学所说：“数据就摆在那里，看起来像波包，我们的理论也能做出解释，我说它是波包不是很自然吗？这凭什么就不是波包了呢？”对于实验数据的分析，提出自洽的假说，并用假说来套其它现象看是否符合，符合的多了，全部都符合无一例外，就成了定律。好比热质说，在它被摩擦生热现象否定前，有谁能说它不能用吗？它不也很好地解释了许多现象吗？我们用热质说作为理论依据，从能用它完美解释的现象所衍生的，已经广泛普及且没有出现问题的许多应用成果，难道应当弃之不用吗？

私以为，理论只有好用与不好用之分，符合不符合现实之分。能完美解释目前人类所发现的一切现象或某领域一切现象的假说，我们就管它叫定律，不能，我们就否定这个假说，科学又有了新的发展。我们对于实验定律，确实要永远存疑，对于现有的科学，确实要永远存疑，并不断地使用更精密的实验来反复验证，但是，火箭不是假的，手机也不是假的。能够一定程度上预言事物的发展，对事件的结果有预测，能够自洽，指导人类认识世界和改造世界，这就是科学。有无法解释的现象咱们再推翻，发明出更好用更符合现实的理论，不就得了？这就是我对假说的看法。

我只是个中学生，这次的体会都是不成熟的一己之见，有什么不对的地方请诸位不吝赐教，尽管斧正，谢谢。

CYPT 观摩总结

董欣田

本次 CTPT 我观摩的是第四场（控江队，守恒队，国际部）。我觉得最大的收获是对于物理现象分析与实验的流程：

- 1.发现现象，根据现象推测原理，查阅文献资料
- 2.分析可能的影响因素，设计实验，建立模型
- 3.控制变量法进行实验，绘制图表，分析影响因素
- 4.分析实验过程，找可能出现的误差，改进实验
- 5.对不可避免的误差分析

下面我对观摩的三个辩题简要总结：

一.原题： 环形加油机

一个上油的水平圆柱轴绕其轴线以不变的速度旋转。制作一个从纸板盘的环，内径大致两倍于轴的直径把环放在轴上，倾斜的环可以沿着轴在任一方向行驶。调查这一现象。

本场辩论中，正方认为此现象原理是由于纸环偏离了平衡位置，然后就初始角度等影响因素进行实验分析。我觉得正反对辩题理解不透，反方和评委也指出，本题的条件是一个旋转的轴，而正方着重研究的是初始用手拨动纸环，明显条件错了。要是我做这个实验我可能会从摩擦力角度下手，结束时评委指出，应对实验得出的数据描绘趋势图，会使结论更加明了。本场我的收获：1. 审清题目的条件 2.实验绘图和有关实验的操作图在 ppt 中展示很重要

二. 饮用吸管

当一个饮水的吸管放在一杯碳酸饮料，它可以上升，有时倾倒在玻璃杯边缘。吸管运动的调查与解释并确定吸管将被推翻的条件。

正方对实验分析的很透彻，条件控制很细致。从吸管的选材到溶液的浓度饱和度，温度等都进行逐个分析。令我印象最深的是对于气泡给的浮力的计算方式，巧妙将气泡无法数转化为体积公式的计算。还将吸管运动过程分解为上升与倾倒。理论分析也很全面，ppt 叙述完备。这都是我应该学习的。但评委指出，最大的问题就是没有扣题，研究分析那么多，目光只纠结在浮力上，没有得出具体结论。反方在与正方讨论时还提出气压的控制，我认为有点儿过于细节了，分析时应该全面，但没必要过分纠结没条件控制的东西。但反方提出的内壁气泡，我认为是有必要的。

三. 居里点引擎

制作一个可以在其轴线上自由旋转的镍圆盘。

将磁铁放在圆盘边缘附近，加热它的一侧。光盘开始旋转。研究影响旋转的参数，并优化稳定运动的设计。

这个实验我的收获是有关材料的选取。实验的同学对于镍盘进行了三次更换，才得出误差较小的四号模型。所有模型都是手工制作，四号模型采用的是螺线管，解决了受热慢，转动卡等问题。这是我需要学习的地方。

本次观摩我收获很多，见识到了不仅仅停留在书本上的物理，也明白了理论分析与实践结合的重要性。

CYPT 观摩总结

孙勣举

在这次 CYPT 中，我观摩了 Drinking straw（吸管）、Conical piles（锥形堆）、Candle in water（水中蜡烛）、Azimuthal-radial pendulum（方位 径向摆）、Curie point engine（居里点引擎）和 Water bottle（翻水瓶）共六个题目，下面我就翻水瓶实验谈下我的收获：

题目：The current craze of water bottle flipping involves launching a partially filled plastic bottle into the air so that it performs a somersault before landing on a horizontal surface in a stable, upright position. Investigate the phenomenon and determine the parameters that will result in a successful flip.

正方的在进行了对题目的分析后，认为题目中的将题目中问题简化为将一个放置于杠杆一端的水瓶，通过敲打杠杆的另一端，来完成实验，这里就是我的第一个收获，就是模型简化要合理和符合题设，像是该场辩论题目的模型简化是比较好的，由于手抛出的不能定性，这样简化只需测得瓶的初始即可，还能定量的控制这两个量，但像是我观摩的另一场锥形堆的一组辩论将题设简化为了一个长方形的沙漏的模型，侧壁玻璃对沙子的支持和摩擦显然和沙子是不一样的，这显然就是不符合题设的。

接着正方对于现象进行了理论分析，但有一个很大的缺点，对于水瓶落地的情况分析的笔墨过于浓重，这里我得到了我的第二个收获，就是对于变量之间的关系要认识清楚，在这道题目中，落地的情况除了地面的摩擦系数和地面的刚度之外都是和初始条件有关的变量，此时正方的理论分析都集中在落地时

的变量分析，没有抓住关键的因素。接着正方对其他的变量，像是抛出时角速度和速度水瓶的形状，水占瓶子的体积，瓶中液体的性质，水平运动对结果的影响都是简单带过，缺少定量实验，缺少实验数据，之后，正方在总结时也没有给出详细的定量结果。这显然与题设中“*determine the parameters that will result in a successful flip*”不符。这里就涉及了我的第二个收获，就是关于主要次要变量的定性定量研究：像是抛出时角速度、瓶中水所占体积这种变量就要进行控制变量做实验，而像此时反方提出的瓶中水的运动这种变量就只需要控制。我仍在思考的是对于像是吸管实验的那道题，改变其中一个变量无法使其他变量保持不变，该如何控制变量得出结论。

最后一个收获就是关于辩论的礼仪问题，辩论礼仪是辩论赛的出，而在我观摩的锥形堆的辩论中，反方言语刻薄，对正方漏洞甚至有嘲讽之意，双方几乎要吵起来，这也对双方的评分有一定影响。

2.2 IYPT 问题题讨论总结

英才计划物理学科活动记录

——IYPT 讨论总结

孟越

活动时间：2018 年 4 月 1 日 活动地点：南开大学物理学院

指导教师：宋峰教授、李磊老师、任杨阳博士

第一部分：先谈一谈我通过参加 IYPT 题目讨论的收获

- 1、大学阶段物理的学习方式与很大不同；
- 2、动手能力是十分重要的；
- 3、物理直觉即在问题中找出主要因素，是重要的素质，需要长期锻炼和培养；
- 4、深入研究物理规律时不能被日常经验左右；
- 5、IYPT 自由提意见、自由辩论，因此不要过于在意面子，不要盲目崇拜别人；
- 6、应该自己探究规律，而不是迷信权威。
- 7、物理是在意料之外中发展的；
- 8、有些东西的基本原理或存在方式仍然未被理解（应该为之努力）

-
- 9、知识的广度和深度都很重要，每一个领域都有许多知识，要广泛学习；
 - 10、兴趣是十分重要的，有了兴趣自然会投入时间。同时，兴趣是可以培养的；
 - 11、学习成绩不能完全反映以后的工作的情况；
 - 12、理论必须符合实验？

13、数学与物理思路不同，数学多可能影响物理直觉；

第二部分就我所感兴趣的 IYPT 题目 2010 (6) 冰所进行的探究

一、所要探究的题目

1、一段金属线两端系一重物摆放在冰块上，金属线能穿过冰块而不切断它。
请用物理知识分析这一现象。

(一) 实验材料及器具

纯净水制作的冰块（长*宽*厚度=4cm*2cm*2.2cm）6 块，长度 40cm，截面直径 0.2mm 的细铁丝三根，长度 40cm，截面直径 0.2mm 的细水晶线（近似鱼线）三根，支架六个，同等规格、同等形状的重物 160g 的 4 个、200g 的 4 个、300g 的 4 个，计时器 1 个，冰柜（制冷温度调到-5℃）

(二) 实验目的

1、研究不同材质细线两端同时系上同等质量的重物，是否能同时穿冰而过？
2、研究同一材质、同一规格的细线所系重物的质量不同时，穿过冰块的时间是否相同？

(三) 实验步骤与方法

第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔

-
- 1、将制作好的 6 个冰块分别在准备好的六个支架上放稳；
 - 2、将带有冰块的支架分别放入制冷温度为-5℃的冰柜中；
 - 3、再将事先准备好两端挂有重物的六根细线分别放在冰块上，将冰块两端的细线长度调整一致后开始观察并计时。

（四）实验原理分析

通过实验研究影响冰熔点和凝固点的因素。冰熔点的高低取决于分子间的距离和能量的高低，如果是纯净水结成的冰，其熔点只与所受压强有关，因为压强能改变分子间的距离，从而改变冰的熔点。

（五）实验结果

表 1 不同材质细线切割冰块的效果

细线材质 效果	能否穿过冰	穿过冰用时 (min)
0.2mm 的细铁丝	能	119min
0.2mm 的细尼龙线	能	120min

表 2 同一材质细线悬挂不同质量重物情况下切割冰块用时

量 重物质 细线材质	160 克	200 克	300 克

第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔

0.2mm 的细铁丝	119min	108min	97min
0.2mm 的尼龙线	120min	108min	98min

(六) 实验结果分析

1、由表1、表2可见，两端悬挂重物的不同材质的细线均可穿过冰块而不切断冰块；不同材质对穿过冰块的时间影响不大。

2、细线悬挂重物质量不同时，细线穿过冰块的时间不同，细线所挂重物质量越大，细线穿过冰块时间越短。

根据压强公式 $P=F/S$ ，细线和冰面接触面积 S 很小，所以细线接触的冰面受到的压强很大，当压强增大时，冰的熔点降低；而当细线穿过之后，水受到的压强又会降到原有水平，水在-5℃时，很快又会结成冰，所以挂有重物的细线在压强作用下可穿过冰但冰不会不断裂。

2、(2018年 第 11 题) 方位角—径向摆

将一弹性棒一段水平固定在硬支架上，用一绷紧的绳吊起棒的另一端，避免竖直方向的偏差，并用另一根绳在上面悬挂一个提铃。得到的摆的径向振动（与棒平行）能自发地转变成有方位角的振动（与棒垂直），反之亦然，研究这个现象。

产生这种现象可能的原因分析：

弹性棒受力形变方向与原方向不同；

斜应力（影响较小且不易实验，不考虑）

3、（2017 年第一题）

构造一被动设备使生鸡蛋从固定的 2.5 米高度上落到坚硬的表面上时能安全着陆，该设备必须同鸡蛋一起下降，可实现该任务的设备的最小尺寸是多少？

装置构造设想：

装置 1、取两块 $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的正方体泡沫，分别将两个泡沫中间做成鸡蛋形状，深度为多半个鸡蛋的厚度（约 5cm ），然后将鸡蛋嵌入其中一个做好的泡沫装具，然后再将另一个盖上后用泡沫胶带将上下两个泡沫盒接缝粘严即可。

装置构造的原理：根据日常生活经验，在易碎物品周围用减震物填充，防止破碎。

4、平静的水面（2010 年第 10 题）当风吹过水面时会产生明显的波纹，如果水面被一层油膜覆盖住，水面的波纹就会减少。探究这一现象。

产生这一现象的原因探究：

1) 水波纹的形成是因为风对水体表面造成牵引力，风力加速水分子作圆周运动，大量的水分子运动形成波浪；

2) 若水面被油膜覆盖，由于油与水互不相容，油的密度比水小，会浮在水上面，此时油分子之间由于表面张力形成一薄层油膜，就像给水面盖一层薄毯，风转动时油膜整体受力，而不是单个分子受力，所以就不容易形成波纹。

5、指印（2011 年第 11 题）

在杯中装满水并用手拿住杯子，如果从上方看玻璃内壁，会发现能透过玻璃看到非常清晰的指纹，研究并解释此现象

1) 实验材料及器具

玻璃杯、无色透明塑料杯、纯净水、手电筒

2) 实验目的

A: 通过实验观察分别用玻璃杯和塑料杯作实验器皿，产生的实验现象是否相同？

B: 拿杯子的手的干与湿两种情况下产生的实验现象是否相同？

C: 遮掉自然光和其他灯光，仅用手电筒照射手指，观察产生的实验现象是否与前述相同

3) 实验步骤

A: 用湿手分别拿住装满水的玻璃杯和塑料杯，分别从上方观察两个杯子内壁，透过杯壁观察手的指纹清晰程度；

B: 用干手分别拿住装满水的玻璃杯和塑料杯，分别从上方观察两个杯子内壁，透过杯壁观察手的指纹清晰程度；

C: 遮掉自然光和其他灯光，仅用手电筒照射手指，透过玻璃杯壁观察手的指纹清晰程度；

4) 实验结果



图 1 湿手拿玻璃杯从上方看到的指纹
到的指纹



图 2 湿手拿塑料杯从上方看



图 3 干手拿玻璃杯从上方看到的指纹图像
到的指纹图像



图 4 干手拿塑料杯从上方看

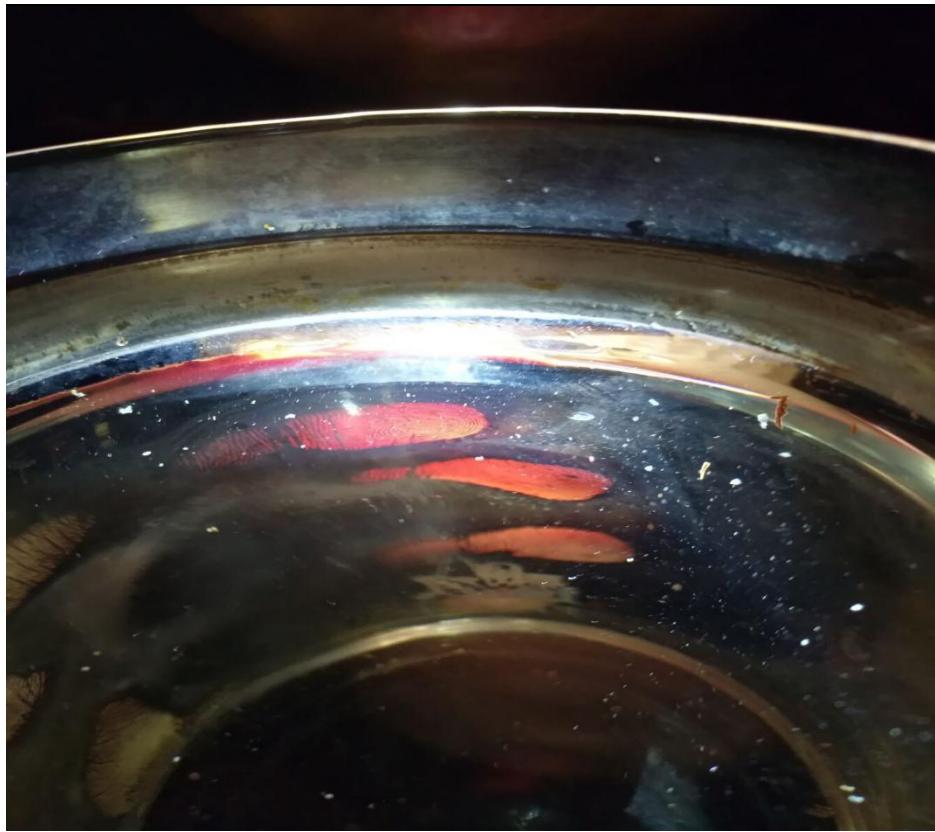


图 5 关掉其他光源用手电筒照射拿玻璃杯的手指从上方看到的指纹图像

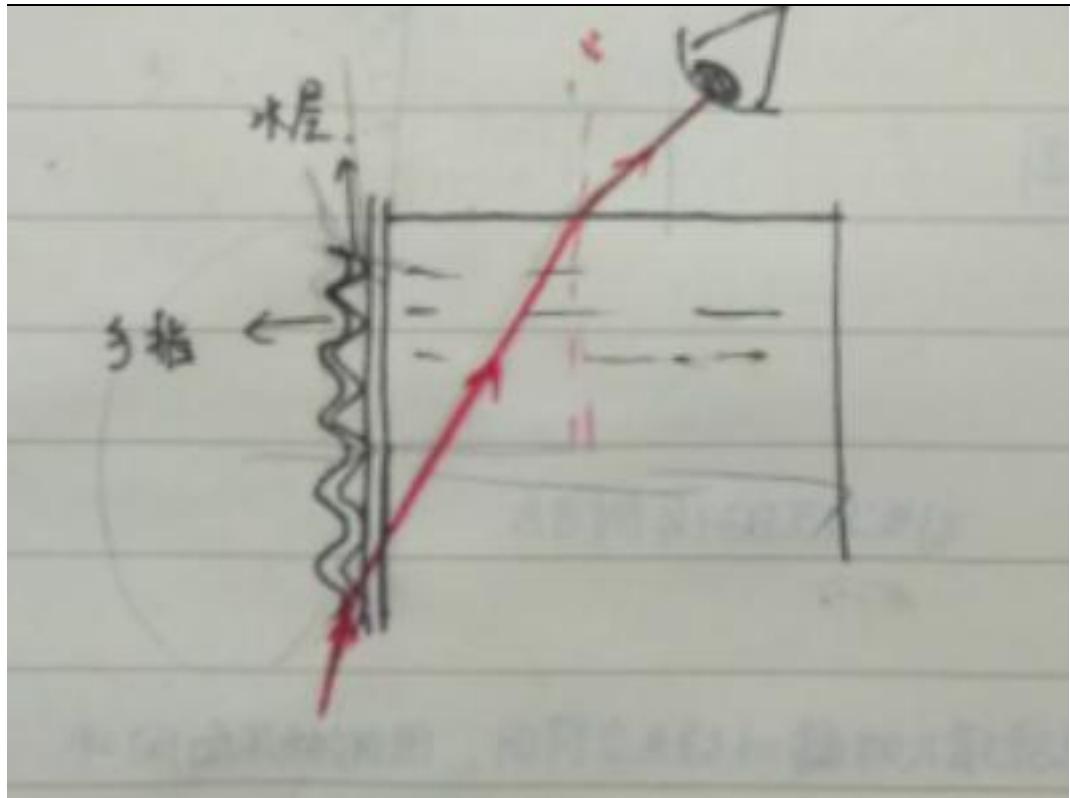
5) 实验结果分析

由以上几个实验观察图可以看出

A: 无论是玻璃杯还是塑料杯在杯中装满水并用手拿住杯子，如果从上方看玻璃内壁，均能透过杯壁看到非常清晰的指纹；

B: 用湿手拿住装满水的玻璃杯和塑料杯，比干手拿住装满水的玻璃杯和塑料杯，从上方观察杯子内壁，透过杯壁观察到手的指纹湿手比干手的指纹更清晰，继续观察时，随着当干手拿杯时间的延长（此时手有点出汗），指纹又会渐渐清晰起来。由此我推测此现象很可能与水有关。

并就我的推测建立如下的模型：



实验现象分析：外界光线进入水层，在其中发生折射，射出的光线进入水杯被眼睛接收

6) 实验存在的不足

A: 所选的透明材质杯子不够多，未能充分说明材质对实验现象的影响；

B: 未分析其他影响因素；

C: 理论分析不够深入

2017 年 IYPT 竞赛题目第一题的相关探究报告

指导教师：宋峰教授；授课教师：李磊教授

耿浩然

一、题目

建造一个被动装置——能为从 2.5 米固定高度坠向坚硬地面的生鸡蛋提供安全着陆，装置必须与鸡蛋一起坠落，你能实现的装置的最小尺寸是多少？

二、题目关键词分析

1、被动：不可有外加动力等

2、2.5米：约为人举起手的总高度

3、坚硬地面：碰撞时间极短，碰撞近似弹性

4、安全着陆：鸡蛋不碎

5、最小尺寸：没有最好只有更好，在保证鸡蛋不碎前提下，尽可能的减小装置尺寸

三、理论依据：

1、动量定理表达式： $Ft = \Delta p$ 其中 Δp 指的是动量的变化，F 指的是冲力的大小，t 指的是力的作用时间。由于鸡蛋在下落的过程中，动量的变化 Δp 一定，鸡蛋所受的力 F 与力的作用时间 t 成反比，即 t 越大，F 就越小，作用在鸡蛋上的力就越小。这样，鸡蛋就不容易碎了。

2、一般情况下：由空中垂直下落的物体所受空气阻力 f 与空气的密度 ρ 、物体的有效横截面积 S、下落的速率 v 的平方成正比，阻力的大小可表示为 $f = C \rho S v^2$ ，其中 C 为阻力系数，一般在 0.2~0.5 之间， $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$ ，物体下落经过一段时间将达匀速，这称为终极速率。

3、一切物体都具有惯性。在“高空坠蛋”整个装置落地的一瞬间，装置静止，然而鸡蛋由于惯性，还会继续运动，造成与装置挤压、碰撞，容易损坏。如何将鸡蛋由于具有惯性而造成的影响降到最低，还需要我们进一步分析解决。

四、研究思路：

充分考虑各方面的影响和应当解决的问题，以制定切实可行的方案。由于题目一个大前提就是鸡蛋不破，鸡蛋一旦破了，就是失败，一切努力也就白费了。

因此，最重要的就是要保证鸡蛋不破，然后再考虑如何使装置尺寸尽可能小，使装置稳定性尽可能高。保证鸡蛋不破就要加强保护措施；重量尽可能小就要选用密度小的材料，能省就省；稳定性尽可能好。

1、装置外形：可以是规则的多面体，而弧度越大，缓冲效果应该会越好，避免尖端触地，减震效果不好；也可以是其他形状，比如降落伞形等等，后面具体分析。

2、内部材料：紧紧扣住减小冲击和减小尺寸的原则，选用弹性系数适中，效果好的材料达到缓冲作用。

3、鸡蛋周围压强分析：若由细绳等等缠绕会产生较大压强，若接触面大，相对压强会小，有利于保护鸡蛋。

五、设计方案

1、降落伞型：利用降落伞，增大空气阻力，以使鸡蛋连同整个装置平稳落地。这种方案安全性极高，使整个装置达到较小的速度即可匀速下落。缺点有：受大气扰动影响太厉害，会使实验装置飘忽不定，准确性较差，往往不能落到指定位置，且尺寸可能稍大

2、外包装型：外包装型，就是用较多的减震材料将鸡蛋严严实实地包裹起来。比如泡沫、棉花、海绵等。通过这些材料的缓冲作用，达到保护鸡蛋的目的。这种方案由于受空气阻力影响很小，所以准确性较高。由于所使用的材料都是密度极小的，所以可将整个装置的重量降到最低。但美中不足的是：整个装置是自由下落状态，到达地面时的速度较大，因而对装置的坚固度和缓冲效果要求较高，安全性稍差一点。

3、不倒翁型：不倒翁型，就是使整个装置像不倒翁一样，把重心尽可能降低，使得装置下落时能保持稳定状态，确保始终让一个面着地。那么保护工

作只需要在这一个面做好就行了，从而节省了材料。这种方案充分考虑到了上一种方案可能出现在空中翻滚现象，经过改进形成的。其可靠性远远高于第一种方案，材料更节省，准确性更好。

4、多面体型： 多面体型，就是把整个装置制作成一个多面体，将鸡蛋用结实的绳子固定在多面体的中央，使整个鸡蛋悬空。装置落地后，不论哪个面着地，鸡蛋都不会着地，鸡蛋就完好无损了。这种方案无需额外的材料，只需要制作多面体的骨架和几根线即可，用料极其节省，因而重量会大大降低。因受空气阻力较小，所以稳定性较好。但这种方案也有一个大的缺点就是多面体不易扎制，结实程度不高，落地后可能会散架，鸡蛋也就岌岌可危了。况且上面提到用绳子压强可能大。

5、双气球型： 双气球型，就是将鸡蛋放在一个气球中，充入一定量空气，在外面再套一个气球，充入适量空气。这样两层气球之间就会形成一个气垫，会使鸡蛋免受地面的冲击。这种方案所用材料应该是所有方案中最省的，重量只是两个气球的重量，几乎可以忽略不计。但这种方案有一个致命的缺点就是两层气球之间有一块是紧密接触的，没有气垫的保护，如果此面着地，一切都完了。另外，由于重量太轻，受空气扰动影响，其稳定性也不是很好。

6、螺旋桨型： 螺旋桨型，就是在整个装置上方安置一个螺旋桨，靠流动的空气推动或遥控，使螺旋桨旋转起来，以提高安全性和准确度。这极像直升飞机的飞行原理。这种方案因螺旋桨的转动而减小了装置下落的速度，安全性更高。如果是遥控，准确性也会很高。问题是如何保证螺旋桨始终朝上，螺旋桨一旦不朝上，准确性将无从谈起。如何保证螺旋桨平稳旋转也是一个问题。这个想法脑洞可能比较大，况且题目中的被动装置可能不允许遥控！

7、滑翔机型： 滑翔机型，顾名思义，就是将鸡蛋悬挂在滑翔机下方，整个装置就会在空气中滑翔，最后会平稳地降落。这种方案准确性极差，降落地

点不确定。如果不限制落地点的话，这无疑是一个好方案，安全性较高。

8、盐水型： 盐水型，就是配一个密度很大的氯化钠溶液，让鸡蛋漂浮在上面，落地后盐水就充当了缓冲材料，保证鸡蛋不破。用盐水作缓冲，安全性较高，受到空气阻力影响很小，准确性较高。但装置不易控制，如果装置在空中翻滚，盐水洒出，就起不到保护作用了，因此，一定要保证装置重心要稳，并且尽可能降低。再经考虑，可以取密度大的盐水和密度小的油，中间放鸡蛋并密封，不用担心液体洒，但由于液体不易压缩，碰撞会产生较大压强，可能较不安全，可在其中加入空气解决问题。

9、吸管组型： 吸管组型，用几根吸管绑在一起做成吸管组，将几组吸管组搭成金字塔形，将鸡蛋夹在中间，用胶条固定。吸管由于是中空的，可以起到缓冲作用。 这种方案材料来源广泛，重量轻，体积小，因而准确性较好。至于安全性嘛，可能要差一点，吸管的缓冲作用毕竟有限，压强也可能比较大。

六、与实际结合下的筛选

1、天气状况的影响：风的流速对 6、7 方案影响大

2、装置制作情况的影响：不当制作对 4、5、6、7、9 制作难度大

3、鸡蛋不碎的稳定性影响：稳定性不好的有 2、4、5、6、9

4、尺寸可能稍大的：1、4、6、7、9

综上所述，较为可行的方案有 1、2、3、8 仍需在实际实验中进行验证与改进。

2010 IYPT 竞赛题目的研究

耿逸然

指导老师：李磊教授，宋峰教授

题目：一段金属两端系着重物横放在一块冰上。金属线能够穿过冰块儿，而不切断它。研究这个现象。

分析：

①引例在滑冰运动中，冰刀切割冰面，使局部熔化，大大减少了阻力。

第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔

②分析引例:为何冰刀可使冰在环境温度、在熔点以下的情况下熔化。

原因可能为:a 摩擦升温而熔化

b 压力大, 压强大改变熔点。

为探究是否有压力影响, 可设计出初始实验

[实验一]材料:冰, 菜刀, -5°C 的冰箱环境, 使菜刀压于冰上, 不摩擦, 保持该状态, 看其是否可熔化(冰可用自来水冻结好, 呈长方体状, 厚度 3-5cm, 给予菜刀压力大约为 100N)。

观察现象, 若可熔即与压力有关

③根据实验一, 可大致推出, 为何可将冰熔化, 那么为什么不会切断冰呢? 经猜测, 可能由于熔化的水又重新冻结成冰, 从而将切割印记消除。

④研究一:切割时间与冰块厚度成正比吗?

[实验二]

材料:支架, 两个各为 5kg 的重物, 钢丝线, 不同厚度但其他参数近似的冰块, 刻度尺, 停表, 制冷冰箱。

过程:取用不同厚度冰块, 将钢丝线连接重物后放于冰块正中央, 记录其穿过冰块花费的时长。

表格

	1	2	3	4	5
--	---	---	---	---	---

第二章 观摩讨论 CYPT 竞赛选拔

厚度 h_i/cm	5	10	15	20	25
时间 t_i/cm					

结论

⑤研究二:冰宽度对时间影响

同实验二, 实验三应将变量改为冰宽度。

⑥研究三:重物重量对时间影响。

同实验二, 实验四应将变量改为重物质量。

⑦研究四:金属线材料和粗细对时间影响

同实验二, 实验五应将变量改为金属线材料。同实验二, 实验六应将变量改为钢丝线粗细。

补充原理:由水的三相图可知, 在压强变大时可使水由固态变为液态。

结果:通过以上六个实验可基本对复冰现象有所了解, 但所花时间会较长, 可通过减小冰块厚度、提高环境温度(仍小于 0°C)等方法缩短时间, 多个实验可同时进行。

第三章 大学基础实验

3.1 示波器的使用

孙勣举 孟越 “示波器的使用” 实验报告

实验题目:示波器的使用

时间: 2018 年 3 月 13 日下午 6: 30

实验参与人: 孙勣举 孟越

- 1、实验目的: ①了解示波器的基本结构及工作原理
- ②观察正弦电压信号波形
- ③用李萨如图形测量频率
- ④使用李萨如图法和双踪显示法测量相位差

2、实验仪器和用具

示波器: GOS-630FC 通用型模拟示波器 (频带宽度: 0—30MHz)

信号发生器: SP-F05 数字合成函数信号发生器

电容: $C=0.1 \mu F$ 降压变压器 电阻: $R=1k \Omega$ 导线若干

3、实验内容及步骤:

3.1 观察正弦电压信号波形

- ①不接入正弦信号, 调出扫描线
- ②接入正弦信号, 调出 2—3 个周期的稳定波形
- ③利用光标测量屏上的正弦波形的峰—峰电压 (ΔU) 及周期 Δt

3.2 观察市电小电压信号波形

将通过变压器降压后的 50Hz 的电压信号接入示波器, 观察

3.3 用李萨如图形测频率

- ①将频率为 f_x 和 f_y 的正弦信号分别接入示波器 CH1\CH 接口
- ②调至” X—Y “模式, 当 f_y 和 f_x 成简单整数比时屏幕上显示李萨如图形
- ③若某一瞬间李萨如图和其相交的水平线及竖直线的最多点交点数分别为 n_x 和

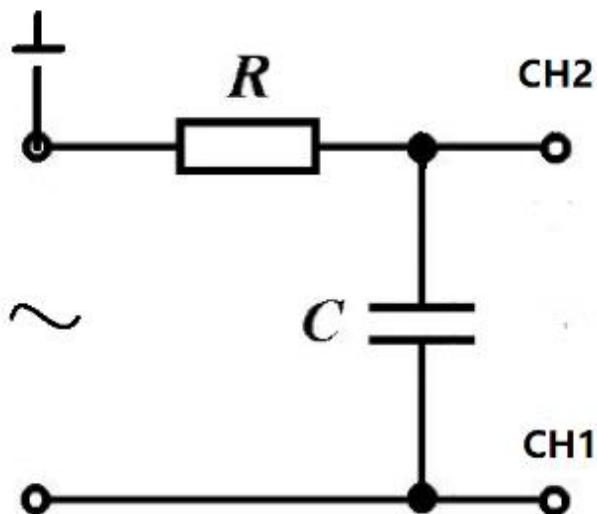
ny，则有

$$\frac{f_n}{f_y} = \frac{n_y}{n_x}$$

3.4 测量相位差

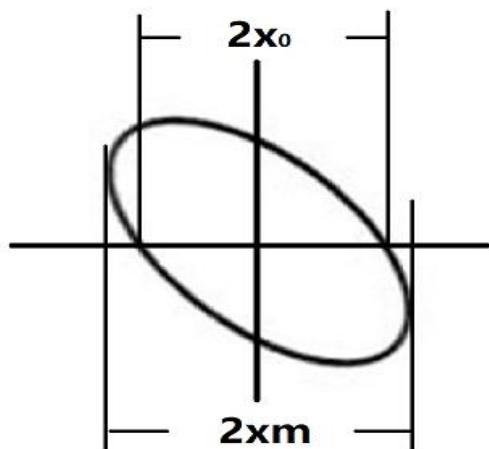
3.4. (1) 李萨如法

①连接如图 RC 电路（所用频率：1.59kHz 电容：C=0.1 μ 电阻 R=1k Ω）



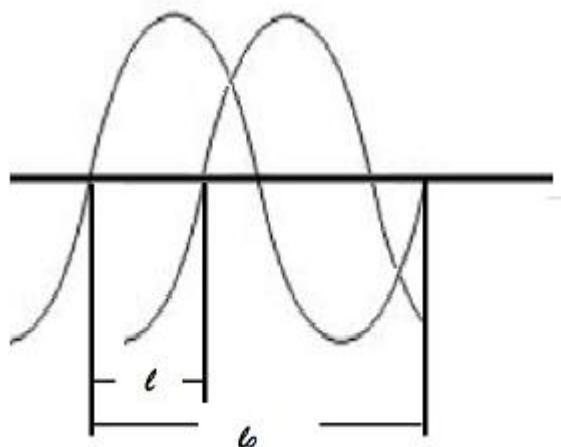
②将示波器调至“X—Y”状态，将屏幕上显示的椭圆调整至 X 和 Y 通道的位移
调节旋钮使椭圆中心与荧光屏坐标原点重合，测出 x_0 和 x_m 的长度

利用公式 $|\theta| = \sin^{-1} \frac{2x_0}{2x_m}$ 求相位差



3.4 (2)

①连接如图 RC 电路 (所用频率: 1.59kHz 电容: C=0.1 μ 电阻 R=1k Ω)

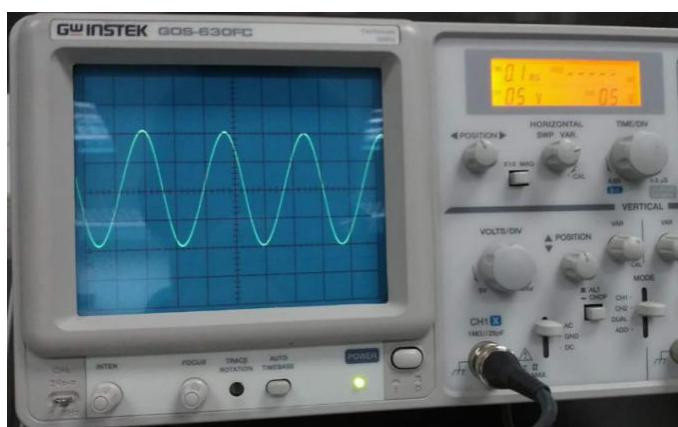


$$\theta = \frac{l}{l_0} 2\pi$$

②读出 1 和 10 长度, 利用 求出相位差。

4、实验数据

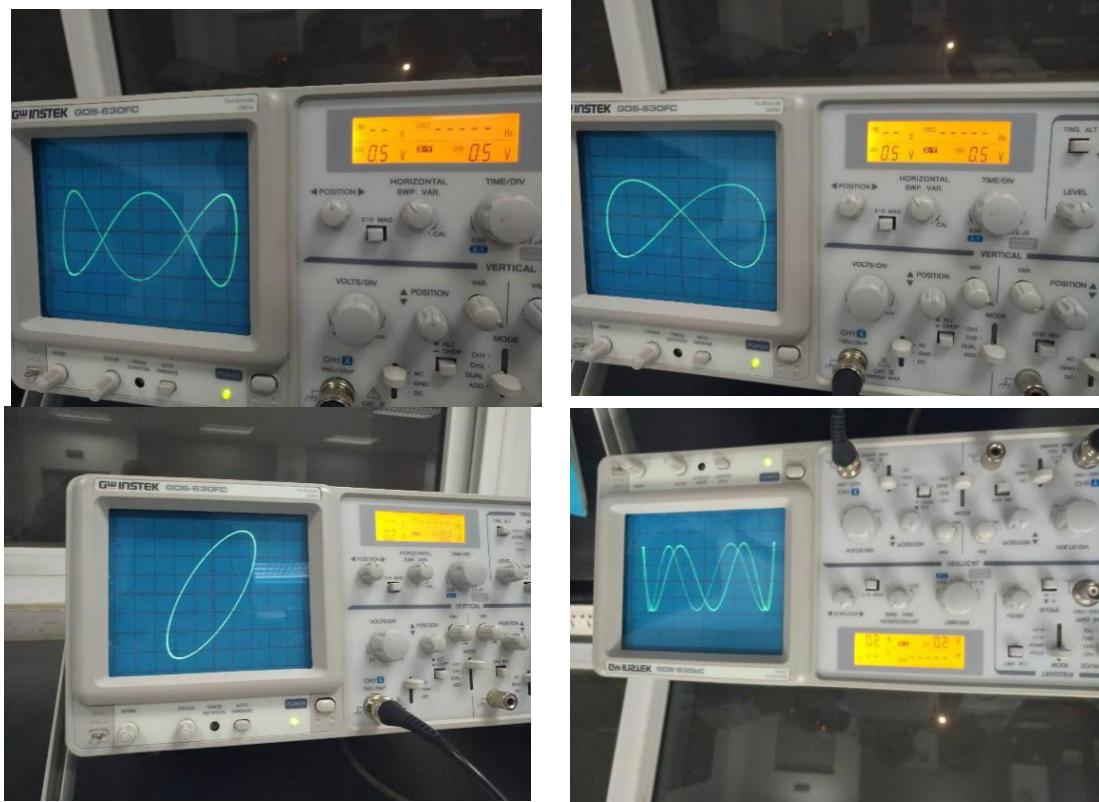
4. (3. 1)



读图可知: U=2V , Δ t=0.28ms

4. (3. 3)

第三章 大学基础实验



输入 f_x 频率为 50Hz

左上输入 f_y 频率为 50Hz

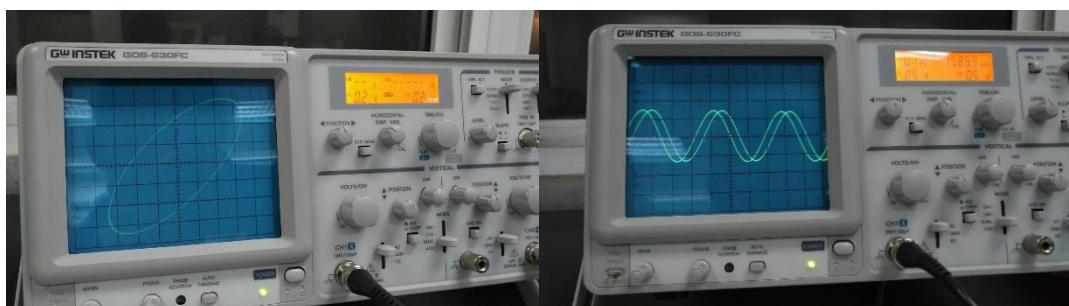
右上输入 f_y 频率为 100Hz

左下输入 f_y 频率为 150Hz

右下输入 f_y 频率为 300Hz

简单计算可得 $f_x=50\text{Hz}$ 与输入端读取的 f_x 相同

4. (3.4)



$$2x_0 = 24$$

$$2x_m = 35$$

算得相位差为 0.756

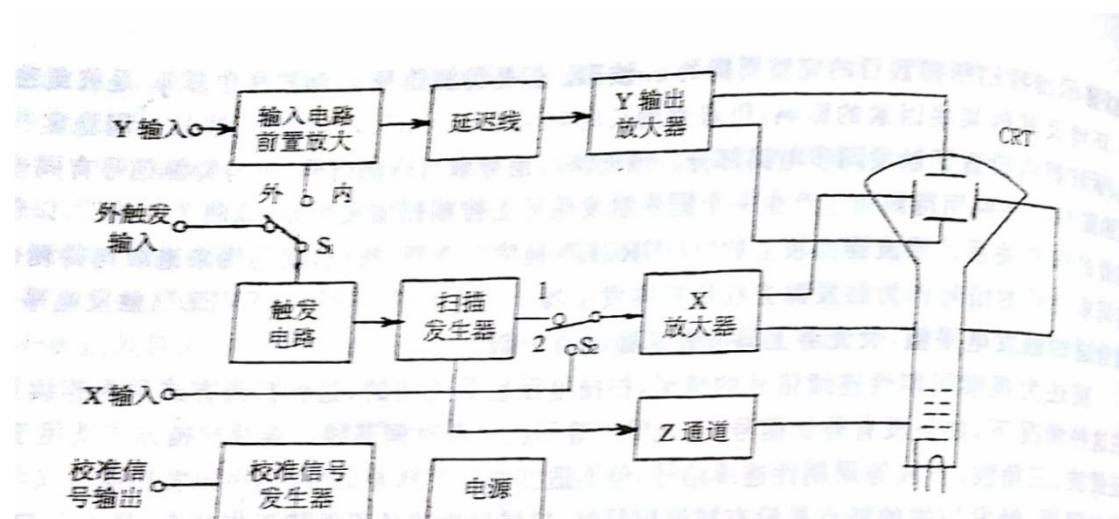
$1 = 2.3$

$10=18$

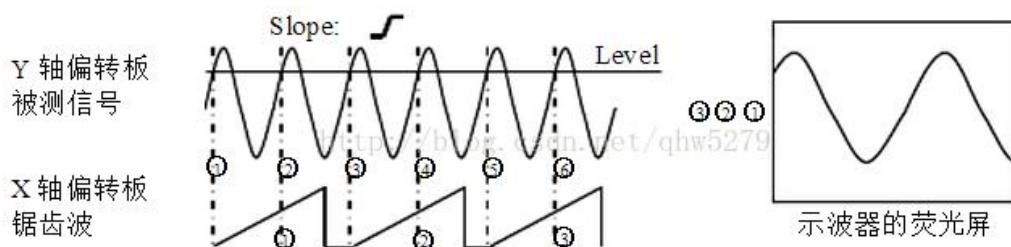
算得相位差为 0.256π

5、示波器的基本结构和原理

- (1) 当把待测试信号施加到 Y 偏转板，而 X 轴偏转板不加电压时，在荧光屏的最左侧纵坐标上就会打出一个亮点，且电压越大亮点位置越高。
- (2) 当把锯齿波信号施加到 X 偏转板，而在 Y 偏转板不加电压时，随着锯齿波电压的升高，光点从屏幕最左边均匀移动到屏幕最右边。当锯齿波从零开始后，又迅速从最左边重复移动。



- (3) Y 偏转板上应施加待测信号，X 偏转板上应施加锯齿波信号(扫描信号)。示波器会调整锯齿波的参数使得信号能在屏幕上显示出稳定的单条波形。



耿浩然“示波器的使用”实验报告

Memo No. _____
Date / /

南開大學

实验示波器的使用.

一. 示波器基本结构及工作原理.

基本原理:

- ① 电压信号波形的显示
- ② 李萨如图形的显示

二. 实验内容:

1. 观测正弦电压信号波形.
 - (1) 不接信号 调整出扫描线
 - (2) 接入信号 找到2-3个稳定周期波形.
 - (3) 用光标测量波形的峰-峰值电压及周期
2. 观察市电电压信号波形
3. 用李萨如图形测频率

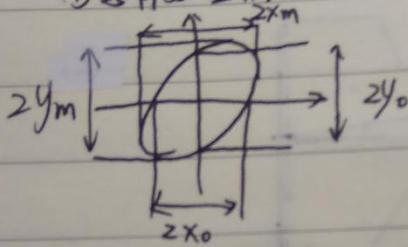
$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_y}{n_x}$$

Nankai University

Memo No. _____
 Date / /

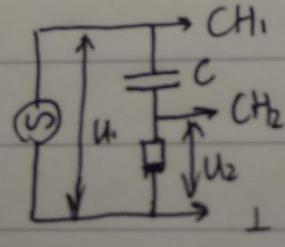
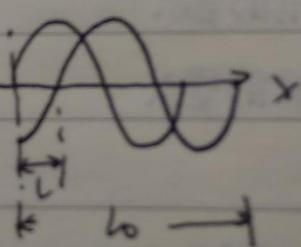
4. 测量相位差

① 李萨如图形法



$|\theta| = \sin^{-1} \frac{2x_0}{2x_m}$ / $|\theta| = \sin^{-1} \frac{2y_0}{2y_m}$

② 双踪显示法

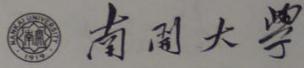
$$\theta = \frac{l}{l_0} \times 2\pi$$

第三章 大学基础实验



耿逸然“示波器的使用”实验报告

Memo No. _____
 Date 2018/3/17



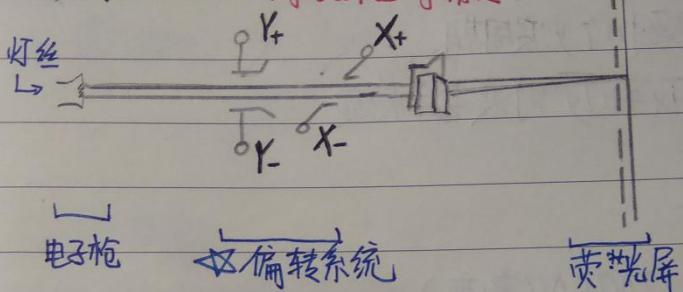
日期：2018年3月13日

实验：示波器的使用 [SS-7802A型双踪示波器，电阻挡×10Ω，电容(0.1μF, 0.2μF)]

一、示波管

对电子束进行偏转

电容 (0.1 μF, 0.2 μF)



二、过程：

① 灯丝加热放射电子束

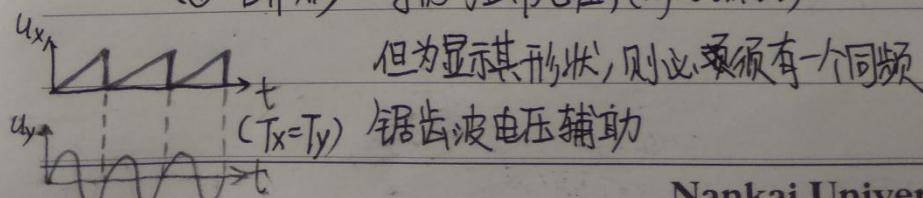
② 经偏转板偏转（偏转板为主要构造，是外来信号的重要显示装置。）

③ ① 不加电压 光点

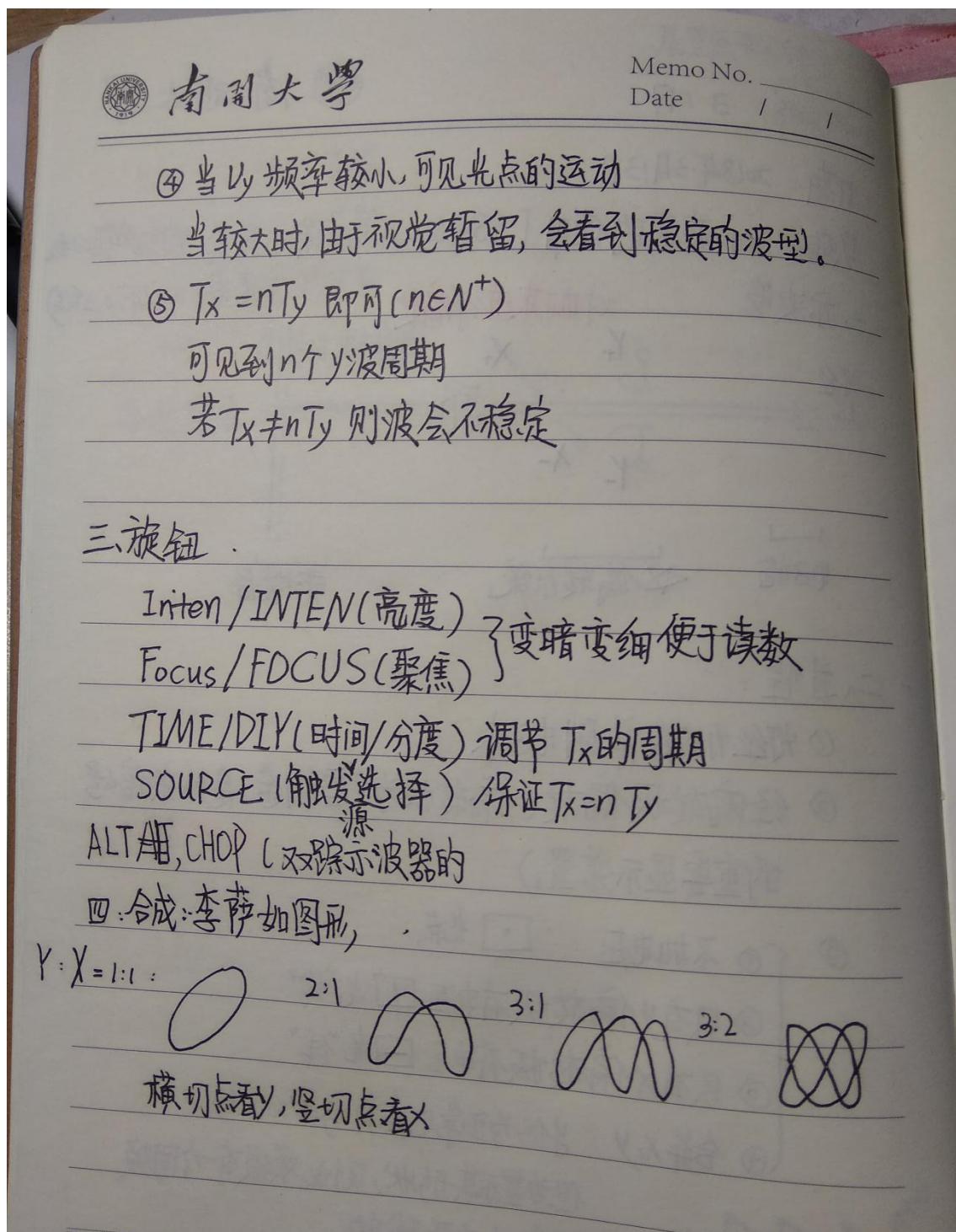
② 只有Y偏转板有电压 光线

③ 只有X偏转板有电压 光线

④ 合并X, Y：若仍为正常电压，($U_y = U \sin \omega t$)



Nankai University



Memo No. _____
 Date / /

南开大学

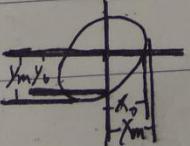
五：双踪示波器旋钮

- 1) GND(接地) 排除外界干扰 (CH_1/CH_2 连通时
本身已与地间有连接)
- 2) 测 ΔV_{PP} : " $\Delta V - \Delta t - \text{OFF}$ " \Rightarrow "TCK/C₂"
 \Rightarrow "FUNCTION"

六：几个操作

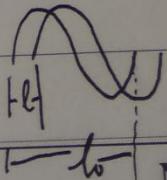
- ① 测幅 测周期
- ② 用李萨如测电压频率

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_y}{n_x}$$
 f_x 为待测信号频率
 f_y 为信号源频率
- ③ 测相位差:
 少李萨如: (1) 调节信号发生器, 使两处频率一定 (桥圆固定)



$$\Delta|\theta| = \sin^{-1} \frac{x_o}{x_m} = \sin^{-1} \frac{y_o}{y_m}$$

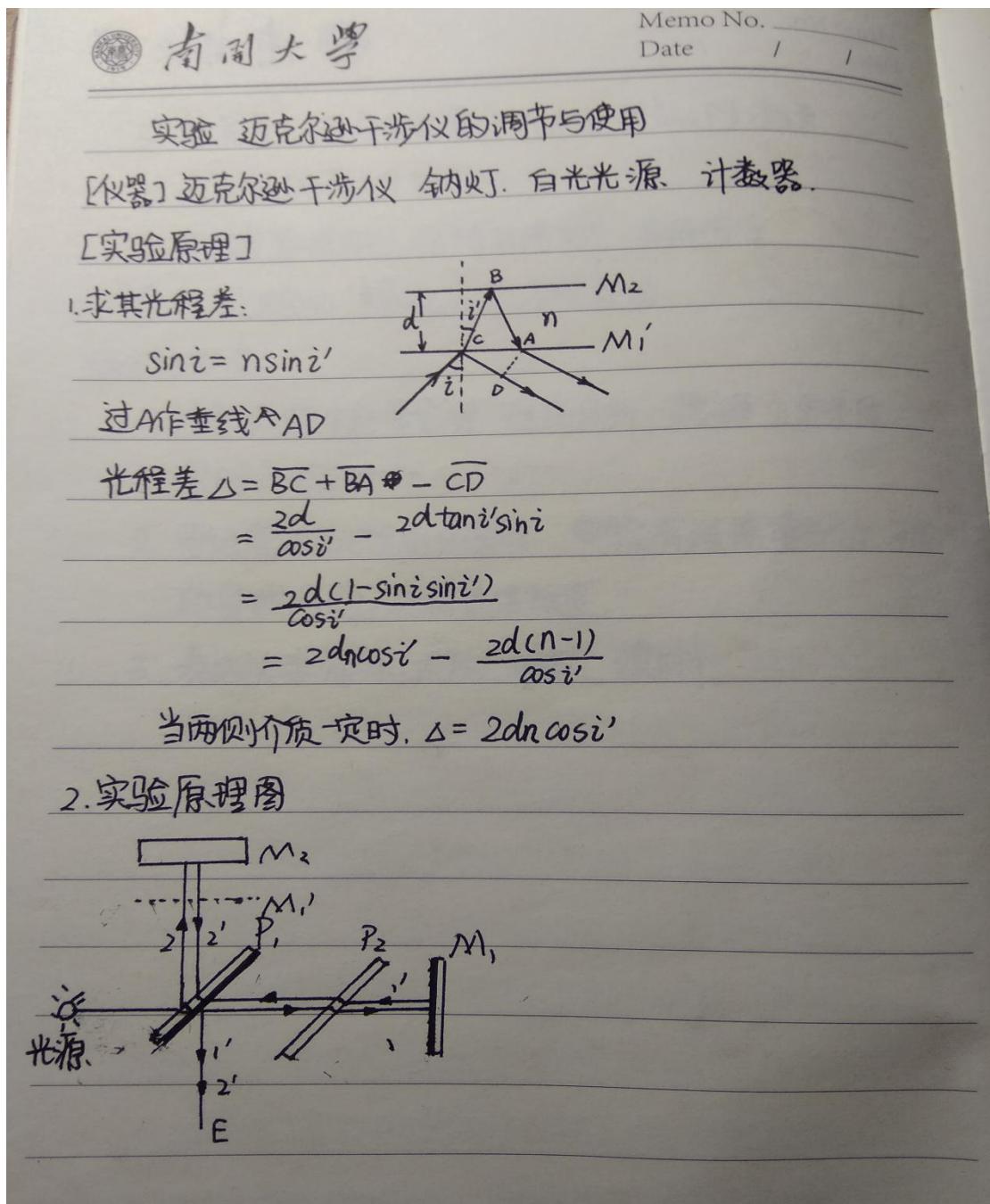
④ 双踪示波法:

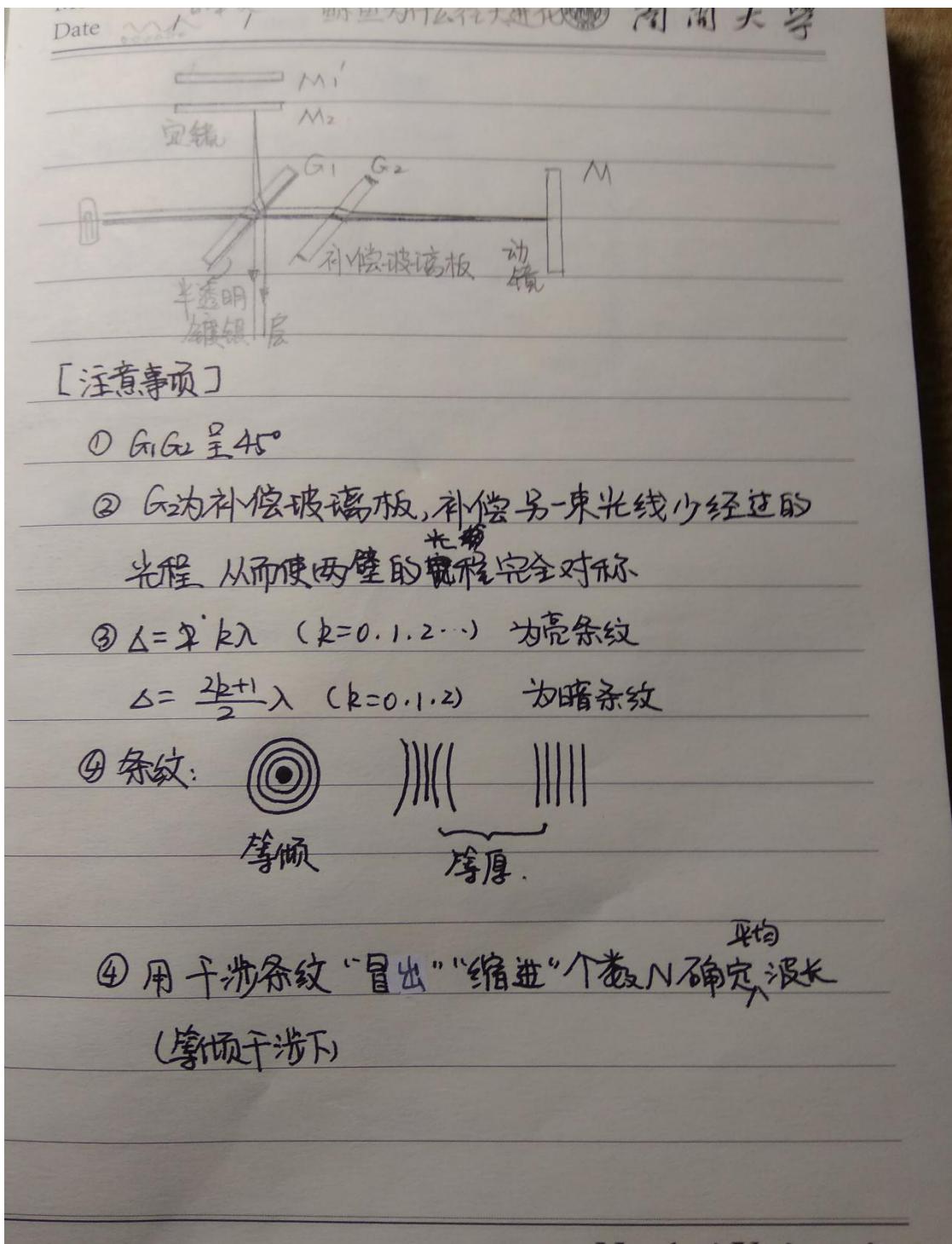
$$\theta = \frac{C}{f_0} \times 2\pi$$


Nankai University

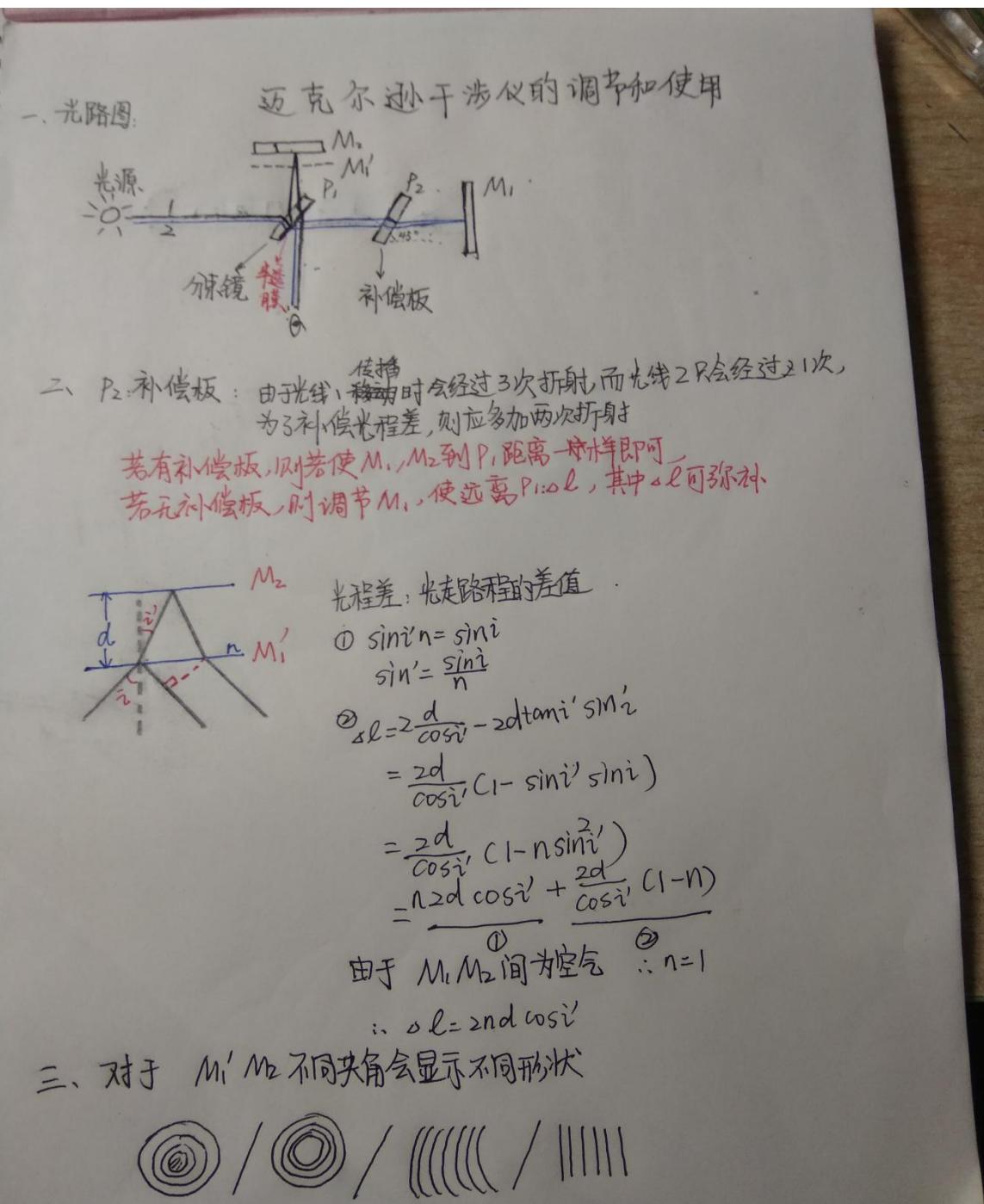
3.2 迈克尔干涉仪

耿浩然“迈克尔逊干涉仪的调节与使用”实验报告





耿逸然“迈克尔逊干涉仪的调节和使用”实验报告



3.3 碰撞实验

耿浩然碰撞实验报告

指导教师：宋峰教授

一、气垫导轨简介

1 原理：利用导轨表面的小孔喷出压缩机气体将滑块托起，在滑块和导轨之间形成一层薄空气膜。以气膜做润滑剂，就使滑块沿导轨运动消除了干摩擦。

2 部件：

- ①导轨 1.2 和 1.5 米，中空角铝制成，两侧面互成 90° 角
- ②滑块
- ③光电门
- ④滑轮
- ⑤地脚螺钉

二、实验目的

- 1 用对心碰撞特例检验动量守恒定律。
- 2 了解动量守恒和动能守恒条件。
- 3 熟练使用气垫导轨及数字毫秒计。

三、实验原理

1 动量守恒原理 2 能量守恒定律

★由于喷气，可极大地减小干摩擦的影响，水平受力近似为 0。

★理论下，满足 $m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$ ， u_1 、 u_2 、 v_1 、 v_2 分别为两块在碰撞前后的速度

★恢复系数 e

$e=1$ 完全弹性碰撞

$0 < e < 1$ 非弹性碰撞

$e=0$ 完全非弹性碰撞

2.验证动量守恒原理

平直导轨上，两滑块对心碰撞，若忽略空气阻力，则前后总动量不变。

$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$ ， u_1 、 u_2 、 v_1 、 v_2 分别为两块在碰撞前后的速度。若测出该式中各量两边相等，则动量守恒成立。

3. 碰撞后的动能损失

碰撞性质用恢复系数 e 表达

- ①若相对碰撞为弹性材料，形变后得以完全恢复，则总动能不变
- ②当材料不够理想则动能损失较大，用以上公式求解恢复系数。

4. $m_1 = m_2 \equiv m$, 且 $u_2 = 0$ 的特定条件下，两滑块的对心碰撞。

(1) 对完全弹性碰撞, $e = 1$, 上面所述的两个式子的解为

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 0 \\ v_2 = u_1 \end{array} \right\}$$

由该式可知，当两滑块质量相等，且第二滑块处于静止时，发生完全弹性碰撞的结果，使第一滑块静止下来，而第二滑块完全具有第一滑块碰撞前的速度，“接力式”地向前运动。若式③得到验证，则说明完全弹性碰撞过程中动量守恒，且

$e = 1$, $\Delta E_k = 0$, 即动能亦守恒。

以上讨论是理想化的模型。若两滑块质量不严格相等、两挡光物的有效遮光宽度 Δs_1 及 Δs_2 也不严格相等，则碰撞前后的动量百分差 E_1 为：

$$E_1 = \frac{|P_2 - P_1|}{P_1} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right|$$

动能百分差 E_2 为：

$$E_2 = \frac{|E_{k2} - E_{k1}|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right|$$

若 E_1 及 E_2 在其实验误差范围之内，则说明上述结论成立。

(2) 对于完全非弹性碰撞，上式的解为：

$$v_1 = v_2 \equiv v = \frac{u_1}{2}$$

若式⑥得证，则说明完全非弹性碰撞动量守恒，且 $e = 0$ ，其动能损失最大，约为 50%。

考虑到完全非弹性碰撞时可采用同一挡光物遮光，即有： $\Delta s'_2 \equiv \Delta s'_1$ 。同样可求得其动量和动能百分差 E'_1 及 E'_2 分别为：

$$E'_1 = \frac{|P'_2 - P'_1|}{P'_1} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{t'_1}{t'_2} - 1 \right|$$

$$E'_2 = \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right|$$

显然，其动能损失的百分误差则为：

$$E_\Delta = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right|$$

若 E'_1 及 E_Δ 在其实验误差范围内，则说明上述结论成立。

四、实验材料

1 气垫导轨 2 数字毫秒计 3 气源 4 游标卡尺 5 物理电子天平

五、实验过程

1 测质量：为了方便，尽量使 $m_1=m_2$ ，所以先测得一个质量 $m_1=188.63g$ ，再测得 $m_2=188.30g$ ，与 m_1 偏离的值通过加减卫生纸团来调整，使 m_2 尽可能接近 m_1 ，测得 $m_2=188.64g$

2 调平：动态法。由于湿摩擦在不同速度时不同 ($f=v \cdot c/f=v^2 \cdot c$) 所以要在动态条件下调平。

方法：使一个物体从左向右以一定初速滑动，每次进行调节导轨倾角，使经过两次光电门的速度相同。

3 测铁片宽

①光电门原理：第一次被遮光到第二次被遮光时间间隔被测量。

②测量：需测 L_3 最好测 L_1 , L_2 , 用 L_2-L_1

$$L_1=1.34 \text{ cm} \quad L_2=0.32 \text{ cm} \quad L_3=L_2-L_1=1.02 \text{ cm}$$

4 完全弹性碰撞

为简化，使一小车静止于两光电门之间，给另一小车放出，测出该车经第一个光电门时的 $\Delta t_1=20.65 \text{ s}$ ，该车撞击另一小车后停止，测出另一小车经另一光电门的时间 $\Delta t_2=20.65 \text{ s}$ 。

5 完全非弹性碰撞

与上述类似， $\Delta t1'=20.45\text{ s}$, $\Delta t2'=50.11\text{s}$

六、数据处理

	完全弹性				完全非弹性			
	碰前		碰后		碰前		碰后	
	$\Delta t1$	u	$\Delta t2$	v	$\Delta t1'$	u'	$\Delta t2'$	v'
1	20.21	0.4939	20.65	0.5047	23.02	0.4431	50.11	0.2036
2	22.94	0.4446	22.61	0.4511	22.72	0.4490	46.95	0.2173
3	32.40	0.3110	32.81	0.3109	23.10	0.4416	47.24	0.2159

经测量： $E1=0.0665127021$ $E2=0.2660508$ $E1'=0.081221313$ $E2'=0.324885252$

七、注意事项

- ①误差范围正负百分五
- ②旋转铁片后需重新测量
- ③喷气后放物块，以防对导轨有磨损
- ④快速读数

八、误差分析：

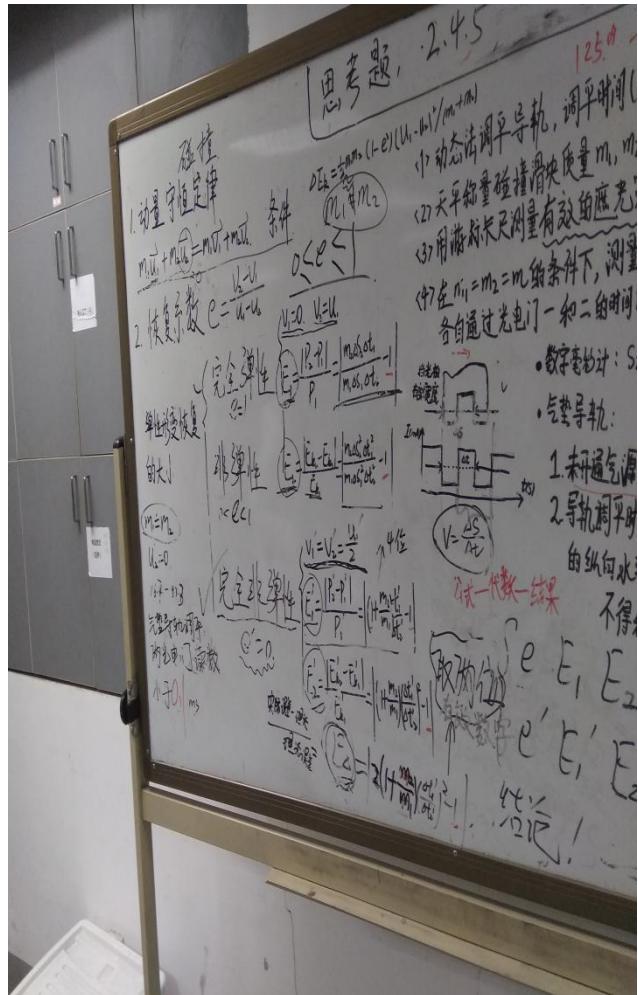
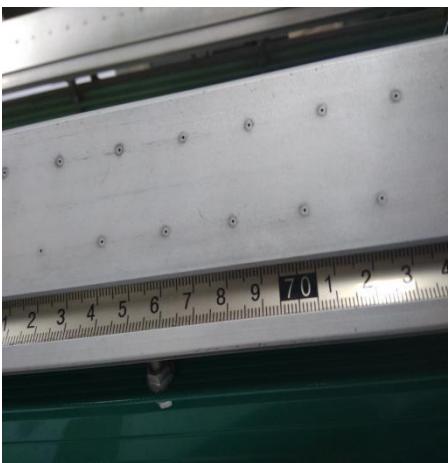
1 测量误差：长度、质量、时间等等测量都存在误差，但由于仪器精密，分度值较小，误差相对小

2 空气阻力等湿摩擦无法避免，对速度有影响

3 无法保证第二个小车完全静止

4 仪器调平过程存在误差

九、实验照片



耿逸然碰撞实验报告

一、气垫导轨简介

1 原理:利用导轨表面的小孔喷出压缩机气体将滑块托起,在滑块和导轨之间形成一层薄空气膜。以气膜做润滑剂,就使滑块沿导轨运动消除了干摩擦。

2 部件:

- ①导轨 1.2 和 1.5 米, 中空角铝制成, 两侧面互成 90° 角
- ②滑块
- ③光电门
- ④滑轮
- ⑤地脚螺钉

二、实验目的

- 1 用对心碰撞特例检验动量守恒定律。
- 2 了解动量守恒和动能守恒条件。
- 3 熟练使用气垫导轨及数字毫秒计。

三、实验原理

1 动量守恒原理 2 能量守恒定律

★由于喷气, 可极大地减小干摩擦的影响, 水平受力近似为 0。

★理论下, 满足 $m_1u_1+m_2u_2=m_1V_1+m_2v_2$, u_1 、 u_2 、 v_1 、 v_2 分别为两块在碰撞前后的速度

★恢复系数 $e=$

$e=1$ 完全弹性碰撞

$0 < e < 1$ 非弹性碰撞

$e=0$ 完全非弹性碰撞

2.验证动量守恒原理

平直导轨上, 两滑块对心碰撞, 若忽略空气阻力, 则前后总动量不变。

$m_1u_1+m_2u_2=m_1V_1+m_2v_2$, u_1 、 u_2 、 v_1 、 v_2 分别为两块在碰撞前后的速度。若测出该式中各量两边相等, 则动量守恒成立。

3.碰撞后的动能损失

碰撞性质用恢复系数 e 表达

①若相对碰撞为弹性材料，形变后得以完全恢复，则总动能不变

②当材料不够理想则动能损失较大，用以上公式求解恢复系数。

4. $m_1 = m_2 \equiv m$ ，且 $u_2 = 0$ 的特定条件下，两滑块的对心碰撞。

(1) 对完全弹性碰撞， $e = 1$ ，上面所述的两个式子的解为

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 0 \\ v_2 = u_1 \end{array} \right\}$$

由该式可知，当两滑块质量相等，且第二滑块处于静止时，发生完全弹性碰撞的结果，使第一滑块静止下来，而第二滑块完全具有第一滑块碰撞前的速度，“接力式”地向前运动。若式③得到验证，则说明完全弹性碰撞过程中动量守恒，且

$$e = 1, \Delta E_k = 0, \quad \text{即动能亦守恒。}$$

以上讨论是理想化的模型。若两滑块质量不严格相等、两挡光物的有效遮光宽度 Δs_1 及 Δs_2 也不严格相等，则碰撞前后的动量百分差 E_1 为：

$$E_1 = \frac{|P_2 - P_1|}{P_1} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right|$$

动能百分差 E_2 为：

$$E_2 = \frac{|E_{k2} - E_{k1}|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right|$$

若 E_1 及 E_2 在其实验误差范围之内，则说明上述结论成立。

(2) 对于完全非弹性碰撞，上式的解为：

$$v_1 = v_2 \equiv v = \frac{u_1}{2}$$

若式⑥得证，则说明完全非弹性碰撞动量守恒，且 $e = 0$ ，其动能损失最大，约为 50%。

考虑到完全非弹性碰撞时可采用同一挡光物遮光，即有： $\Delta s'_2 \equiv \Delta s'_1$ 。同样可

求得其动量和动能百分差 E'_1 及 E'_2 分别为：

$$E'_1 = \frac{|P'_2 - P'_1|}{P'_1} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{t'_1}{t'_2} - 1 \right|$$

$$E'_2 = \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right|$$

显然，其动能损失的百分误差则为：

$$E_\Delta = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right|$$

若 E'_1 及 E_Δ 在其实验误差范围内，则说明上述结论成立。

四、实验材料

1 气垫导轨 2 数字毫秒计 3 气源 4 游标卡尺 5 物理电子天平

五、实验过程

1 测质量：为了方便，尽量使 $m_1=m_2$ ，所以先测得一个质量 $m_1=188.63g$ ，再测得 $m_2=188.30g$ ，与 m_1 偏离的值通过加减卫生纸团来调整，使 m_2 尽可能接近 m_1 ，测得 $m_2=188.64g$

2 调平：动态法。由于湿摩擦在不同速度时不同 ($f=v \cdot c/f=v^2 \cdot c$) 所以要在动态条件下调平。

方法：使一个物体从左向右以一定初速滑动，每次进行调节导轨倾角，使经过两次光电门的速度相同。

3 测铁片宽

①光电门原理：第一次被遮光到第二次被遮光时间间隔被测量。

②测量：需测 L_3 最好测 L_1, L_2 ，用 $L_2 - L_1$

$$L_1=1.34 \text{ cm} \quad L_2=0.32 \text{ cm} \quad L_3=L_2-L_1=1.02 \text{ cm}$$

4 完全弹性碰撞

为简化，使一小车静止于两光电门之间，给另一小车放出，测出该车经第一个光电门时的 $\Delta t_1=20.65 \text{ s}$ ，该车撞击另一小车后停止，测出另一小车经另一光电门的时间 $\Delta t_2=20.65 \text{ s}$ 。

5 完全非弹性碰撞

与上述类似， $\Delta t_1' = 20.45 \text{ s}$, $\Delta t_2' = 50.11 \text{ s}$

六、数据处理

	完全弹性				完全非弹性			
	碰前		碰后		碰前		碰后	
	Δt_1	u	Δt_2	v	$\Delta t_1'$	u'	$\Delta t_2'$	v'
1	20.21	0.4939	20.65	0.5047	23.02	0.4431	50.11	0.2036
2	22.94	0.4446	22.61	0.4511	22.72	0.4490	46.95	0.2173
3	32.40	0.3110	32.81	0.3109	23.10	0.4416	47.24	0.2159

$$E1 = 0.0665127021 \quad E2 = 0.2660508 \quad E1' = 0.081221313 \quad E2' =$$

0.324885252 小于 5% 因此满足实验条件。

七、注意事项

- ①误差范围正负百分五
- ②旋转铁片后需重新测量
- ③喷气后放物块，以防对导轨有磨损
- ④快速读数

八、误差分析:

1 测量误差：长度、质量、时间等等测量都存在误差，但由于仪器精密，分度值较小，误差相对小

2 空气阻力等湿摩擦无法避免，对速度有影响

3 无法保证第二个小车完全静止

孙勣举碰撞实验实验报告

一、 实验目的:

- 1、用对心碰撞特例检验动量守恒定律;
- 2、了解动量守恒和动能守恒的条件;
- 3、熟练地使用气垫导轨及数字毫秒计。

二、 实验原理

1. 验证动量守恒定律

动量守恒定律指出：若一个物体系所受合外力为零，则物体的总动量保持不变；若物体系所受合外力在某个方向的分量为零，则此物体系的总动量在该方向的分量守恒。

设在平直导轨上，两个滑块作对心碰撞，若忽略空气阻力，则在水平方向上就满足动量守恒定律成立的条件，即碰撞前后的总动量保持不变。

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad \textcircled{1}$$

其中， u_1 、 u_2 和 v_1 、 v_2 分别为滑块 m_1 、 m_2 在碰撞前后的速度。若分别测出式①中各量，且等式左右两边相等，则动量守恒定律得以验证。

2. 碰撞后的动能损失

只要满足动量守恒定律成立的条件，不论弹性碰撞还是非弹性碰撞，总动量都将守恒。但对动能在碰撞过程中是否守恒，还将与碰撞的性质有关。碰撞的性质通常用恢复系数 e 表达：

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} \quad \textcircled{2}$$

式②中， $v_2 - v_1$ 为两物体碰撞后相互分离的相对速度， $u_1 - u_2$ 则为碰撞前彼此接近的相对速度。

(1)若相互碰撞的物体为弹性材料，碰撞后物体的形变得以完全恢复，则物体系的总动能不变，碰撞后两物体的相对速度等于碰撞前两物体的相对速度，即 $v_2 - v_1 = u_1 - u_2$ ，于是 $e = 1$ ，这类碰撞称为完全弹性碰撞。

(2)若碰撞物体具有一定的塑性，碰撞后尚有部分形变残留，则物体系的总动

能有所损耗，转变为其他形式的能量，碰撞后两物体的相对速度小于碰撞前的相对速度，即 $0 < v_2 - v_1 < u_1 - u_2$ 于是， $0 < e < 1$ ，这类碰撞称为非弹性碰撞。

(3) 碰撞后两物体的相对速度为零，即 $v_2 - v_1 = 0$ 或 $v_2 = v_1 \equiv v$ ，两物体粘在一起以后以相同速度继续运动，此时 $e = 0$ ，物体系的总动能损失最大，这类碰撞称为完全非弹性碰撞，它是非弹性碰撞的一种特殊情况。

三类碰撞过程中总动量均守恒，但总动能却有不同情况。由式①和②可求碰撞后的动能损失 $\Delta E_k = (1/2)m_1 m_2 (1 - e^2)(u_1 - u_2)^2 / (m_1 + m_2)$ 。

①对于完全弹性碰撞，因 $e = 1$ ，故 $\Delta E_k = 0$ ，即无动能损失，或曰动能守恒。

②对于完全非弹性碰撞，因 $e = 0$ ，故： $\Delta E_k \equiv \Delta E_{kM}$ ，即，动能损失最大。

③对于非完全弹性碰撞，因 $0 < e < 1$ ，故动能损失介于二者之间，即：

$$0 < \Delta E_k < \Delta E_{kM}.$$

3. $m_1 = m_2 \equiv m$ ，且 $u_2 = 0$ 的特定条件下，两滑块的对心碰撞。

(1) 对完全弹性碰撞， $e = 1$ ，式①和②的解为

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 0 \\ v_2 = u_1 \end{array} \right\} \quad ③$$

由式③可知，当两滑块质量相等，且第二滑块处于静止时，发生完全弹性碰撞的结果，使第一滑块静止下来，而第二滑块完全具有第一滑块碰撞前的速度，“接力式”地向前运动。若式③得到验证，则说明完全弹性碰撞过程中动量守恒，且 $e = 1$ ， $\Delta E_k = 0$ ，即动能亦守恒。

以上讨论是理想化的模型。若两滑块质量不严格相等、两挡光物的有效遮光宽度 Δs_1 及 Δs_2 也不严格相等，则碰撞前后的动量百分差 E_1 为：

$$E_1 = \frac{|P_2 - P_1|}{P_1} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right| \quad ④$$

动能百分差 E_2 为：

$$E_2 = \frac{|E_{k2} - E_{k1}|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right| \quad ⑤$$

若 E_1 及 E_2 在其实验误差范围之内，则说明上述结论成立。

(2)对于完全非弹性碰撞，式①和②的解为：

$$v_1 = v_2 \equiv v = \frac{u_1}{2} \quad ⑥$$

若式⑥得证，则说明完全非弹性碰撞动量守恒，且 $e = 0$ ，其动能损失最大，约为 50%。

考虑到完全非弹性碰撞时可采用同一挡光物遮光，即有： $\Delta s'_2 \equiv \Delta s'_1$ 。同样可求得其动量和动能百分差 E'_1 及 E'_2 分别为：

$$E'_1 = \frac{|P'_2 - P'_1|}{P'_1} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{t'_1}{t'_2} - 1 \right| \quad ⑦$$

$$E'_2 = \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right| \quad ⑧$$

显然，其动能损失的百分误差则为：

$$E_\Delta = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right| \quad ⑨$$

若 E'_1 及 E_Δ 在其实验误差范围内，则说明上述结论成立。

四、仪器用品

气垫导轨及附件（滑块及挡光块各一对）、数字毫秒计、物理天平及游标卡尺等。

五、实验内容

. 实验内容

1. 用动态法调平导轨，使滑块在选定的运动方向上做匀速运动，以保证碰撞时合外力为零的条件
2. 用物理天平校验两滑块（连同挡光物）的质量 m_1 及 m_2 ；
3. 用游标卡尺测出两挡光物的有效遮光宽度 Δs_1 、 Δs_2 ；
4. 在 $m_1 \approx m_2 \equiv m$ 的条件下，测完全弹性和完全非弹性碰撞（测时将两滑块倒置）前后两滑块各自通过光电门一及二的时间 Δt_1 、 Δt_2 及 $\Delta t'_1$ 、 $\Delta t'_2$ 。

四、实验结果及结论

$\Delta s_1=0.988 \text{ cm}$ $\Delta s_2=1.002 \text{ cm}$

物理量 ω	完全弹性 \circ							完全非弹性 \circ						
	碰撞前 \circ		碰撞后 \circ		$e\circ$	$E_1\circ$	$E_2\circ$	碰撞前 \circ		碰撞后 \circ		$e'\circ$	$E_1'\circ$	$E_2'\circ$
	Δ	$U\circ$	Δ	$v\circ$				$t_{1\circ}$	$t_{2\circ}$	$u'\circ$	$t_{1'\circ}$			
1 \circ	28. 63 \circ	0.3 682 \circ	27. 08 \circ	0.3 700 \circ	1.0 05 \circ	0.004 89 \circ	0.009 80 \circ	28. 49 \circ	0.3 517 \circ	58. 67 \circ	0.1 684 \circ	0.4 79 \circ	0.5 14 \circ	0.7 64 \circ
2 \circ	24. 50 \circ	0.4 033 \circ	24. 91 \circ	0.4 022 \circ	0.9 97 \circ	0.002 73 \circ	0.005 45 \circ	26. 49 \circ	0.3 783 \circ	54. 22 \circ	0.1 822 \circ	0.4 82 \circ	0.5 11 \circ	0.7 61 \circ
3 \circ	24. 50 \circ	0.4 033 \circ	24. 83 \circ	0.4 035 \circ	1.0 00 \circ	0.000 496 \circ	0.000 992 \circ	27. 79 \circ	0.3 606 \circ	58. 20 \circ	0.1 698 \circ	0.4 71 \circ	0.5 23 \circ	0.7 72 \circ

完全弹性碰撞 e 的平均值为 1.000885686, E_1 的平均值为 0.002705333, E_2 的平均值为 0.005414

完全非弹性碰撞 e 的平均值为 0.477109125, E_1 的平均值为 0.516, E_2 的平均值为 0.765666667

五、误差分析:

- (一) 调平后不能保证同一速度推出, 不能精确地平衡阻力;
- (二) 第二块滑块的初速度可能不为零
- (三) 实验工具和测量工具本身的误差

董欣田碰撞实验报告

实验时间：2018年3月20日晚6:30-9:00

一、实验目的要求

- 1、用对心碰撞特例检验动量守恒定律；
- 2、了解动量守恒和动能守恒的条件；
- 3、熟练地使用气垫导轨及数字毫秒计。

二、实验原理

1、验证动量守恒定律

动量守恒定律指出：若一个物体系所受合外力为零，则物体的总动量保持不变；若物体系所受合外力在某个方向的分量为零，则此物体系的总动量在该方向的分量守恒。

设在平直的轨道上，两个滑块作对心碰撞，若忽略空气阻力，则在水平方向上就满足动量守恒定律成立的条件，即碰撞前后的总动量保持不变。

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (1)$$

其中， u_1 、 u_2 和 v_1 、 v_2 分别为滑块 m_1 、 m_2 碰撞前后的速度。若测出上式中各量且等式左右相等，则动量守恒定律得以验证。

2、碰撞后的动能损失

只要满足动量守恒定律成立的条件，不论弹性碰撞还是非弹性碰撞，总动量都将守恒。但对动能在碰撞过程中是否守恒，还将与碰撞的性质有关。碰撞的性质通常用恢复系数 e 表达：

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_2 - u_1} \quad (2)$$

式②中， $v_2 - v_1$ 为两物体碰撞后相互分离的相对速度， $u_2 - u_1$ 则为碰撞前彼此接近的相对速度。

(1) 若相互碰撞的物体为弹性材料，碰撞后物体的形变得以完全恢复，则物体系的总动能不变，碰撞后两物体的相对速度等于碰撞前两物体的相对速度，即 $v_2 - v_1 = u_2 - u_1$ ，于是 $e = 1$ ，这类碰撞称为完全弹性碰撞。

(2) 若碰撞物体具有一定的塑性, 碰撞后尚有部分形变残留, 则物体系的总动能有所损耗, 转变为其他形式的能量, 碰撞后两物体的相对速度小于碰撞前的相对速度, 即 $0 < v_2 - v_1 < u_1 - u_2$ 于是, $0 < e < 1$, 这类碰撞称为非弹性碰撞。

(3) 碰撞后两物体的相对速度为零, 即 $v_2 - v_1 = 0$ 或 $v_2 = v_1 \equiv v$, 两物体粘在一起以后以相同速度继续运动, 此时 $e = 0$, 物体系的总动能损失最大, 这类碰撞称为完全非弹性碰撞, 它是非弹性碰撞的一种特殊情况。

三类碰撞过程中总动量均守恒, 但总动能却有不同情况。由式①和②可求碰撞后的动能损失 $\Delta E_k = (1/2)m_1 m_2 (1 - e^2)(u_1 - u_2)^2 / (m_1 + m_2)$ 。

①对于完全弹性碰撞, 因 $e = 1$, 故 $\Delta E_k = 0$, 即无动能损失, 或称动能守恒。

②对于完全非弹性碰撞, 因 $e = 0$, 故: $\Delta E_k \equiv \Delta E_{kM}$, 即, 动能损失最大。

③对于非完全弹性碰撞, 因 $0 < e < 1$, 故动能损失介于二者之间, 即:

$$0 < \Delta E_k < \Delta E_{kM}.$$

3. $m_1 = m_2 \equiv m$, 且 $u_2 = 0$ 的特定条件下, 两滑块的对心碰撞。

(1) 对完全弹性碰撞, $e = 1$, 式①和②的解为

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 0 \\ v_2 = u_1 \end{array} \right\} \quad ③$$

由式③可知, 当两滑块质量相等, 且第二滑块处于静止时, 发生完全弹性碰撞的结果, 使第一滑块静止下来, 而第二滑块完全具有第一滑块碰撞前的速度, “接力式”地向前运动。若式③得到验证, 则说明完全弹性碰撞过程中动量守恒, 且 $e = 1$, $\Delta E_k = 0$, 即动能亦守恒。

以上讨论是理想化的模型。若两滑块质量不严格相等、两挡光物的有效遮光宽度 Δs_1 及 Δs_2 也不严格相等, 则碰撞前后的动量百分差 E_1 为:

$$E_1 = \frac{|P_2 - P_1|}{P_1} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right| \quad ④$$

动能百分差 E_2 为:

$$E_2 = \frac{|E_{k2} - E_{k1}|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right| \quad ⑤$$

若 E_1 及 E_2 在其实验误差范围之内，则说明上述结论成立。

(2) 对于完全非弹性碰撞，式①和②的解为：

$$v_1 = v_2 \equiv v = \frac{u_1}{2} \quad ⑥$$

若式⑥得证，则说明完全非弹性碰撞动量守恒，且 $e = 0$ ，其动能损失最大，约为 50%。

考虑到完全非弹性碰撞时可采用同一挡光物遮光，即有： $\Delta s'_2 \equiv \Delta s'_1$ 。同样可求得其动量和动能百分差 E'_1 及 E'_2 分别为：

$$E'_1 = \frac{|P'_2 - P'_1|}{P'_1} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{t'_1}{t'_2} - 1 \right| \quad ⑦$$

$$E'_2 = \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right| \quad ⑧$$

显然，其动能损失的百分误差则为：

$$E_\Delta = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right| \quad ⑨$$

若 E'_1 及 E'_2 在其实验误差范围内，则说明上述结论成立。

三、实验器材

气垫导轨及附件（光电门，螺钉，滑轮，）（滑块及挡光块各一对）、数字毫秒计、物理天平及游标卡尺等。

四、实验内容：

1、用电子天平分别称两滑块质量，为使数据更好处理，塞纸巾调节质量，记作 m_1 、 m_2 ，使其尽量相等。

2、动态法调平导轨，使滑块在选定方向上做匀速运动，将滑块通过光电门的时间控制在 20–30ms 之间，两次读数相差小于 0.1ms。

3、用游标卡尺测出两挡光物的有效遮光长度 Δs_1 、 Δs_2

4、分别测出碰撞前后两滑块各自通过两个光电门的时间，记作

$$\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t'_1, \Delta t'_2$$

五、实验数据处理

$$\Delta s_1 = 1.000 \text{ (cm)} \quad \Delta s_2 = 1.000 \text{ (cm)} \quad \Delta s'_1 = 0.995 \text{ (cm)} \quad m_1 = m_2 = 134.36 \text{ g}$$

1、实验数据处理

六、实验结论：

1. 完全弹性碰撞中系统动量和机械能守恒。
2. 完全非弹性碰撞中动量守恒但机械能不守恒。

物理量 i	完全弹性						完全非弹性							
	碰前		碰后		动量百分差	动能百分差	恢复系数	碰前		碰后		动量百分差	动能百分差	恢复系数
	Δt_{1i}	u_i	Δt_{2i}	v_i	E_{1i}	E_{2i}	e_i	$\Delta t'_{1i}$	U_i	$\Delta t'_{2i}$	v'_i	E'_{1i}	E'_{2i}	e'_i
1	20.41	0.490	22.35	0.447	0.0868	0.1689	1.096	22.38	0.446	44.91	0.223	0.5016	0.7558	0.5224
2	21.43	0.466	21.45	0.466	0.00093 24	0.0109	1.000	20.77	0.481	42.36	0.236	0.5096	0.7597	0.5645
3	26.22	0.381	26.43	0.378	0.0079	0.0179	1.0079	21.00	0.476	47.93	0.209	0.5618	0.8116	0.4391

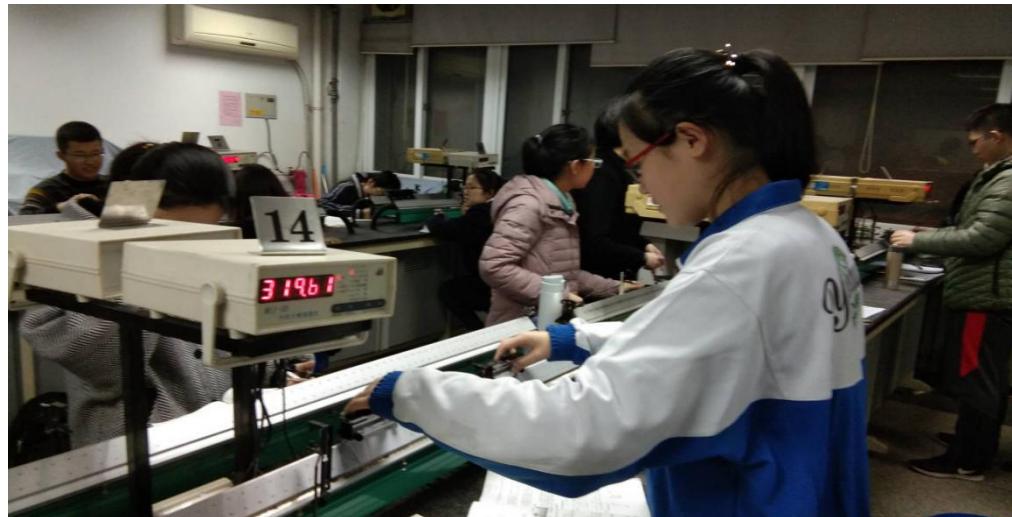
七、误差分析：

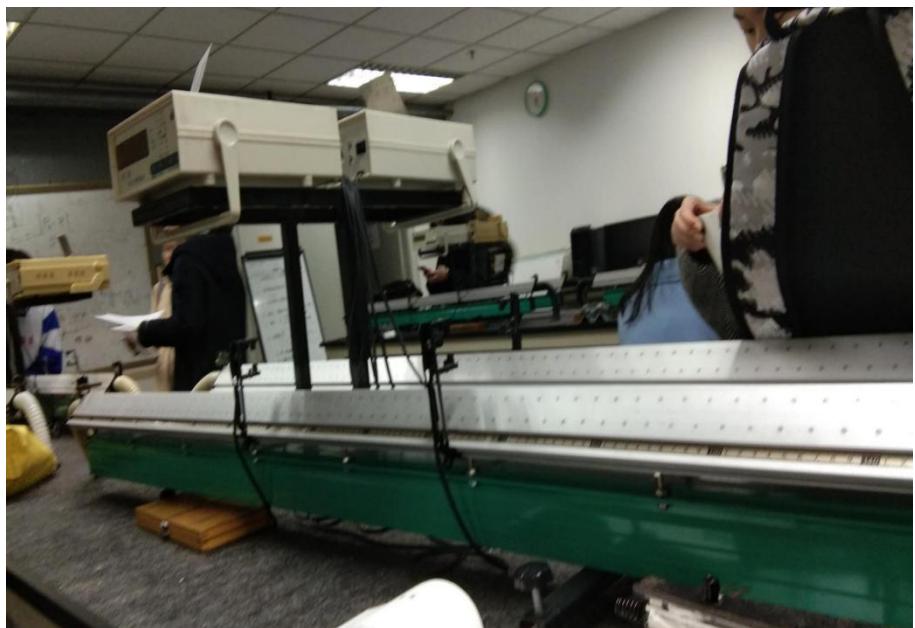
1. 物体二不可能精确把握其静止
2. 阻力未精确调平
3. 游标卡尺与气垫导轨等读数误差

八. 收获：

1. 游标卡尺的使用
2. 气垫导轨的使用与工作原理
3. 动量定理分析
4. 未解决问题：气垫导轨为什么成 90 度角？

九. 图片：





孟越碰撞实验实验报告

指导教师：宋锋教授

实验时间：2018年3月20日晚6：30—9：30

一、实验目的

- 1、用对心碰撞特例检验动量守恒定律；
- 2、了解动量守恒和动能守恒的条件；
- 3、熟练地使用气垫导轨及数字毫秒计。

二、实验原理

1、对心碰撞特例验证动量守恒定律

假设在平直的轨道上，两个滑块作对心碰撞，如果忽略空气阻力，则在水平方向上就满足动量守恒定律成立的条件，即碰撞前后的总动量保持不变。

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (1)$$

其中， u_1 、 u_2 和 v_1 、 v_2 分别为滑块 m_1 、 m_2 碰撞前后的速度。若测出上式中各量且等式左右相等，则动量守恒定律得以验证。

2、完全弹性碰撞和完全非弹性碰撞后的动能损失

- 1) 对完全弹性碰撞，碰撞后两物体的相对速度等于碰撞前两物体的相对速度，即 $v_2 - v_1 = u_2 - u_1$ ，则恢复系数 $e=1$ 。
- 2) 对完全非弹性碰撞，碰撞后两物体的相对速度为零，即 $v_2 - v_1 = 0$ 或 $v_2 = v_1 = v$ ，两物体黏在一起后以相同的速度继续运动，此时 $e=0$ ，物体系的动能损失最大。

3)

二. 实验原理.

1. 验证动量守恒

动量守恒定律指出，若一物体系所受合外力为零，则物体总动量保持不变。若物体系所受合外力在某一方向上分量为零，则此物体系总动量在该方向上是守恒的。

~~两个滑块在平直导轨上做对心碰撞，如忽略阻力则在水平方向上满足动量守恒。~~

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (1)$$

u_1, u_2 和 v_1, v_2 分别为滑块 m_1, m_2 碰撞前后的速度。

若测出上式中各量且结果相等，则确得以验证。

2. 碰撞后动能损失

碰撞后动能通常用恢复系数 e 表示

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_2 - u_1} \quad (2)$$

根据①得 $e=1$ 完全弹性碰撞 $0 < e < 1$ 非弹性碰撞 $e=0$ 完全非弹性碰撞。

动能损失 $\Delta E_k = \frac{1}{2} m_1 m_2 (1-e^2) (u_1-u_2)^2 / (m_1+m_2)$

对于完全弹性碰撞 $\Delta E_k = 0$ 动能守恒

对于完全非弹性碰撞 $\Delta E_k = e E_{km, \text{初}}$ 动能损失大。

对于非弹性碰撞 $0 < \Delta E_k < \Delta E_{k, \text{初}}$

3. $m_1=m_2=m$ 且 $u_2=0$ 时两滑块对心碰撞。

① 完全弹性 $e=1$ ② 完全非弹性 $\begin{cases} v_1=0 \\ v_2=u_1 \end{cases}$

理想状态下，当两滑块质量相同时，第二滑块静止时发生完全弹性碰撞后第一滑块将静止，第二滑块以第一滑块碰撞前的速度运动。

4)

若碰撞不是严格弹性，则挡光物有效遮光宽度 Δs_1 及 Δs_2 不严格相等。

$$\text{碰撞前后动量百分差 } E_1 = \frac{|P_1' - P_1|}{P_1} = \left| \frac{m_1 \Delta s_1 \Delta t_1'}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_1} - 1 \right| \quad 21.26$$

$$\text{动能百分差 } E_2 = \frac{|E_{k1}' - E_{k1}|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_1 (\Delta s_1)^2 / \Delta t_1'^2}{m_1 (\Delta s_1)^2 / \Delta t_1^2} - 1 \right| \quad 21.35$$

若 E_1 及 E_2 在其实验误差范围内，则上述结论成立。

(1) 完全非弹性碰撞 $v_1 = v_2 \equiv v = \frac{u_1}{2}$

由上式得正则说明测量正确且 $e=0$ 。动能损失最大约为 50%。

$$\text{动量百分差 } E_1' = \frac{|P_1' - P_1|}{P_1'} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1} - 1 \right| \quad 2 \frac{\Delta t_1}{\Delta t_1}$$

$$\text{动能百分差 } E_2' = \frac{|E_{k1}' - E_{k1}|}{E_{k1}'} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1} \right)^2 - 1 \right|.$$

$$\text{动能损失} \quad E_a = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1} \right)^2 - 1 \right|. \quad 2$$

三、实验器材

气垫导轨及附件（滑块及挡光块各一对）、数字毫秒计、物理天平及游标卡尺等。

四、实验方法及步骤

1、动态法调平导轨，使滑块在选定方向上做匀速运动，由于数字毫秒计测量精度范围在 $30\text{--}60\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ，应该将滑块通过光电门的时间控制在 $20\text{--}30\text{ ms}$ ，两次读数相差小于 0.1 ms 。

2、用电子天平分别称两滑块质量，并塞纸巾调节其质量，记作 m_1 、 m_2 ，保留两位小数。

3、用游标卡尺分别测出两挡光物的遮光宽度，记作 Δs_1 、 Δs_2 ， $\Delta s'$ 结果保留三位小数。

4、分别测出完全弹性碰撞和完全非弹性碰撞在碰撞前后两滑块各自通过光电门 1，光电门 2 的时间，分别记作 Δt_1 、 Δt_2 、 $\Delta t_1'$ 、 $\Delta t_2'$ 测量结果保留两位小数。

五、实验结果及结论

$$\Delta s_1 = 1.000 \text{ (cm)}$$

$$\Delta s_2 = 1.000 \text{ (cm)}$$

$$\Delta s_1' = 0.995 \text{ (cm)}$$

$$M_1 = M_2 = 134.36 \text{ g}$$

3.4 弦振动实验

耿浩然弦振动实验报告

指导教师：宋峰教授，任杨阳导师

一. 实验目的

1. 观察弦上形成的驻波
2. 学习用双踪示波器观察弦振动的波形
3. 验证弦振动的共振频率与弦长、张力、线密度及波腹数的关系

二. 实验仪器

电动音叉、滑轮、水平钢尺、砝码，细绳等

三. 实验原理

当弦上某一小段受到外力拨动时便向横向移动，这时弦上的张力将使这小段恢复到平衡位置，但是弦上每一小段由于都具有惯性，所以到达平衡位置时并不立即停止运动，而是继续向相反方向运动，然后由于弦的张力和惯性使这一小段又向原来的方向移动，这样循环下去，此小段便作横向振动，这振动又以一定的速度沿整条弦传播而形成横波。

四. 实验内容和步骤

1. 研究和 n 的关系

选择 5 根弦中的一根并将其有黄铜定位柱的一端置于张力杠杆的槽内，另一端固定在张力杠杆水平调节旋钮的螺钉上。

设置两个弦码间的距离为 60.00cm，置驱动线圈距离一个弦码大约 5.00cm 的位置上，将接受线圈放在两弦码中间。将弦音计信号发生器和驱动线圈及示波器相连接，将接受线圈和示波器相连接。

将 1kg 砝码悬挂于张力杠杆第一个槽内，调节张力杠杆水平调节旋钮使张力杠杆水平（张力杠杆水平是根据悬挂物的质量精确确定，弦的张力的必要条件，如果在张力杠杆的第一个槽内挂质量为 m 的砝码，则弦的张力 $T=mg$ ，这里 g 是重力加速度；若砝码挂在第二个槽，则 $T=2mg$ ；若砝码挂在第三个槽，则 $T=3mg$ ……。）

置示波器各个开关及旋钮于适当位置，由信号发生器的信号出发示波器，在示波器上同时显示接收器接受的信号及驱动信号两个波形，缓慢的增加驱动频率，边

听弦音计的声音边观察示波器上探测信号幅度的增大，当接近共振时信号波形振幅突然增大，达到共振时示波器现实的波形是清晰稳定的振幅最大的正弦波，这时应看到弦的震动并听到弦振动引发的声音最大，若看不到弦的振动或者听不到声音，可以稍增大驱动的振幅(调节“输出调节”按钮)或改变接受线圈的位置再试，若波形失真，可稍减少驱动信号的振幅，测定记录 $n=1$ 时的共振频率，继续增大驱动信号频率，测定并记录 $n=2, 3, 4, 5$ 时的共振频率，做 γ ? n 图线，导出 γ 和 n 的关系

2. 研究 γ 和 T 的关系

保持 $L=60.00\text{cm}$, ρ_1 保持不变，将 1kg 的砝码依次挂在第 1、2、3、4、5 槽内，测出 $n=1$ 时的各共振频率。计算 $1g_r$ 和 $1gT$ ，以 $1g_2$ 为纵轴， $1gT$ 为横轴作图，由此导出 r 和 T 的关系。

3. 验证驻波公式

根据上述实验结果写出弦振动的共振频率 γ 与张力 T 、线密度 ρ_1 、弦长 l_1 、波腹数 n 的关系，验证驻波公式。

五. 数据记录及处理

i 物理量	1	2	3	4
m_i	50g	70g	100g	130g
λ_i	14.2cm	16.3cm	19.8cm	22.71cm

i 物理量	1	2	3	4
----------	---	---	---	---

λ_i	19.56cm m	20.15c m	19.63c m	19.74cm
$S \lambda_i =$ 0.00002639444 38	$S \lambda_{平均} =$ 0.000434165866			$u \lambda = 0.1350291$

六. 结论

验证了弦振动的共振频率与张力是线性关系 也验证了弦振动的共振频率与波腹数是线性关系。

七. 误差分析

在 γ 和 n 关系的实验中，判断是否接近共振时，会有一些误差，而且因为有外界风力等不可避免因素，所以可能会有较小误差。

在 γ 与 T 实验中，由于摩擦力，弦不是处于完全水平等可能产生较小的误差。

耿逸然弦振动实验报告

日期：3月27日

一. 实验目的

1. 观察弦上形成的驻波
2. 学习用双踪示波器观察弦振动的波形
3. 验证弦振动的共振频率与弦长、张力、线密度及波腹数的关系

二. 实验仪器

电动音叉、滑轮、水平钢尺、砝码，细绳等

三. 实验原理

当弦上某一小段受到外力拨动时便向横向移动，这时弦上的张力将使这小段恢复到平衡位置，但是弦上每一小段由于都具有惯性，所以到达平衡位置时并不立即停止运动，而是继续向相反方向运动，然后由于弦的张力和惯性使这一小段又向原来的方向移动，这样循环下去，此小段便作横向振动，这振动又以一定的速度沿整条弦传播而形成横波。

四. 实验内容和步骤

1. 研究和 n 的关系

选择 5 根弦中的一根并将其有黄铜定位柱的一端置于张力杠杆的槽内，另一端固定在张力杠杆水平调节旋钮的螺钉上。

)

设置两个弦码间的距离为 60.00cm，置驱动线圈距离一个弦码大约 5.00cm 的位置上，将接受线圈放在两弦码中间。将弦音计信号发生器和驱动线圈及示波器相连接，将接受线圈和示波器相连接。

将 1kg 码码悬挂于张力杠杆第一个槽内，调节张力杠杆水平调节旋钮是张力杠杆水平(张力杠杆水平是根据悬挂物的质量精确确定，弦的张力的必要条件，如果在张力杠杆的第一个槽内挂质量为 m 的砝码，则弦的张力 $T=mg$ ，这里 g 是重力加速度；若砝码挂在第二个槽，则 $T=2mg$ ；若砝码挂在第三个槽，则 $T=3mg$ ……。)

置示波器各个开关及旋钮于适当位置，由信号发生器的信号出发示波器，在示波

器上同时显示接收器接受的信号及驱动信号两个波形，缓慢的增加驱动频率，边听弦音计的声音边观察示波器上探测信号幅度的增大，当接近共振时信号波形振幅突然增大，达到共振时示波器现实的波形是清晰稳定的振幅最大的正弦波，这时应看到弦的震动并听到弦振动引发的声音最大，若看不到弦的振动或者听不到声音，可以稍增大驱动的振幅(调节“输出调节”按钮)或改变接受线圈的位置再试，若波形失真，可稍减少驱动信号的振幅，测定记录 $n=1$ 时的共振频率，继续增大驱动信号频率，测定并记录 $n=2, 3, 4, 5$ 时的共振频率，做 γ ?n 图线，导出 γ 和 n 的关系

2. 研究 γ 和 T 的关系

保持 $L=60.00\text{cm}$, ρ_1 保持不变，将 1kg 的砝码依次挂在第 1、2、3、4、5 槽内，测出 $n=1$ 时的各共振频率。计算 $1g_r$ 和 $1gT$ ，以 $1g2$ 为纵轴， $1gT$ 为横轴作图，由此导出 r 和 T 的关系。

3. 验证驻波公式

根据上述实验结果写出弦振动的共振频率 γ 与张力 T 、线密度 ρ_1 、弦长 l_1 、波腹数 n 的关系，验证驻波公式。

五. 数据记录及处理

i 物理量	1	2	3	4
λ_i	19.56cm	20.15cm	19.63cm	19.74cm
$S\lambda_i = 0.0000263944438$	$S\lambda$ 平 均 = 0.000434165866			$u\lambda = 0.1350291$

i 物理量	1	2	3	4
m_i	50g	70g	100g	130g
λ_i	14.2cm	16.3cm	19.8cm	22.71cm

六. 结论

验证了弦振动的共振频率与张力是线性关系 也验证了弦振动的共振频率与波腹数是线性关系。

七. 误差分析

在 γ 和 n 关系的实验中，判断是否接近共振时，会有一些误差，而且因为有外界风力等不可避免因素，所以可能会有较小误差。

在 γ 与 T 实验中，由于摩擦力，弦不是处于完全水平等可能产生较小的误差。

孟越弦振动实验报告

指导教师：宋锋教授、任杨阳博士

实验时间：2018年3月27日晚6:30—9:30

一、实验目的

- 1、掌握在弦线上形成稳定驻波的方法，观察驻波的形成过程；
- 2、用两种不同的方法测定电动音叉的频率；
- 3、用最小二乘原理拟合直线，验证波长与弦线张力的关系。

二、实验原理

1、驻波

两列波在横轴上传播，振幅、频率、振动方向均相同，但传播方向相反。当 $t=0$ 时，两波互相重叠，各点位移最大；当 $t=T/4$ 时，两列波分别在其传播方向上向右和向左移动 $1/4$ 波长的距离，合成波上各点的位移为零；当 $t=T/2$ 时两相干波又互相重叠，各点位移最大，但位移方向却与 $t=0$ 时相反。

横轴上振幅为零的点，称为波节，振幅最大的点称为波腹。从外形上看，合成波波腹、波节位置不随时间改变，波形不向前传播，故将这种波称为驻波。驻波上，两相邻波节或两相邻波腹间距离为半个波长，即： $\lambda/2$ 。

2、驻波的形成

驻波通常在入射波与反射波叠加的情况下发生。如果将弦线一端 A 固定在音叉上，另一端通过滑轮系上砝码 m ，使弦线中产生一定张力 T ，弦线固定穿过支架 B 上的小孔而使该点不能振动。音叉按固定频率 f 振动时，入射波由 A 向 B 传播并在 B 点发生反射，形成有 B 向 A 的反射波，入射波和反射波的频率、振幅和振动方向都相同，只是传播方向相反，满足驻波形成条件。若 A、B 间距离即弦长 l 恰为半波长的整数倍，即： $l = n \frac{\lambda}{2}$

则可在 A、B 之间形成稳定的驻波，这是因为，当波在两种介质的分界面上发生反射时，若波从波阻较大的介质反射回来，则反射处形成波节，而与音叉连接的 A 端振幅甚小，亦可视为“波节”。

为在弦上获得稳定的驻波，可采取两种方法：一种是固定弦长 l ，改变 T ，另一种是固定张力 T ，该变 l 。本次实验即是通过该变支架 B 的位置来获得稳定驻波的。弦线上形成稳定驻波的特点是：波节的位置不变，波腹最大且稳定。

根据弹性理论，当横波沿弦线传播时，在维持弦线张力 T 不变的情况下，波的传播速度 v 与张力弦线的线密度 ρ 之间有如下关系：

$$v = \sqrt{T/\rho} \quad ①, \text{ 而波长 } \lambda \text{、频率 } f \text{ 及波速之间的关系为:}$$

$$v = \lambda f \quad ②. \text{ 因此, } \lambda = \frac{1}{f} \sqrt{T/\rho} \quad ③$$

由此可见，当弦线的密度不变时，波长与弦线的张力 T 的平方根成正比。,

将①式代入③得 $f = \frac{n}{2l} \sqrt{T/\rho}$, 若知道 ρ 与 T , 只要测出稳定驻波形成后 n 个半波长之间的距离 l ，即可求出音叉的固有频率 f 。本实验为便于测量和计算，可以只测两个半波长 ($n=2$) 间的距离，即直接测定波长 λ 。于是频率可由下式计算：

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{T/\rho}$$

三、实验器材及装置

实验用品主要包括：电动音叉、滑轮、弦线、砝码组、支架及米尺等。

四、实验方法及步骤

1、调节音叉起振时，应轻缓拧动螺钉 K ，当与弹片接触并产生蓝色火花时即已起振。继续拧动螺钉 K ，音叉震动加强，至强度适中（以电磁铁不撞击音叉臂为宜）即可停止拧动 K 。为防止火花间隙改变或停振，应旋紧调节螺钉上的锁紧螺母。

2、起振后，在一定张力 $T=mg$ 作用下，移动支架 B ，适当改变弦长，即可形成稳定驻波。稳定驻波形成后，将支架 C 移至某波节下面，即可由米尺测定弦长。若取 $n=2$ ，则弦长即波长 λ 。

3、在砝码质量为 100g(包括砝码托)的情况下，移动支架 A 、 B 间形成尽可能多的稳定驻波数，用米尺测出 B 、 C 间一个波长的距离 4 次（每次测量应重新调节）。然后根据给定弦线密度求音叉的固有频率。

4、若减小张力 ε_{T_1} 及增大张力 ε_{T_2} 时，分别觉察驻波的稳定性遭到破坏，则 ε_{T_1}

及 ε_{T_2} 即对应张力 T 的误差极限。据此估计出测量不确定度 u_T

5、在不同张力 $T_i = 50, 70, 100, 130, 160, 200 (9.8 \times 10^{-3})$ 时，分别测出相应的

驻波长 λ_i ，以验证 λ 与 \sqrt{T} 的关系。并根据曲线斜率求音叉的固有频率 f 。

五、实验结果及结论

已知： $\rho = 6.56 \times 10^{-4} \pm 0.5 \times 10^{-4} (\text{kg/m})$

1、实验数据处理

固定张力 $T=0.98\text{N}$ 时的波长

单位： cm $u_{b\lambda} =$

物理量	1	2	3	4	平均
i					
λ_i	39.60	38.60	38.80	39.00	39.00
$s_{\lambda_i} = 0.3464$	$s_{\bar{\lambda}} = 0.3606$		$u_{a\lambda} =$		$u_{\lambda} =$
实验结果	$u_T = \varepsilon_T / \sqrt{3} = \frac{0.01}{0.0058}$		$\bar{f} = 31.3398$		$u_f =$

2、波长与张力的关系

物理量	1	2	3	4	5	6
i						
m_i	50	70	100	130	160	200
$\sqrt{T_i}$	0.71	0.84	1.00	1.14	1.26	1.41
λ_i	29.4	32.2	37.4	44.8	50	57

六、实验结果分析

(一) 误差分析

- 1、砝码有磨损，拉力不够精确。
- 2、B、C 点与实际位置有偏差。
- 3、米尺读数有误差。

(二) 实验结论

- 1、观察到稳定驻波并测出了波长；
- 2、验证了 λ 与 \sqrt{T} 的正比关系

(三) 存在的不足

- 1、由于条件所限未能在坐标纸上作图。
- 2、自身分辨能力导致测量不精确
- 3、未能计算出 f 的偏差值



孙勣举弦振动实验实验报告

一. 实验目的

1. 掌握在弦线上形成稳定驻波的方法，观察驻波的形成过程
2. 用两种不同的方法测定电动音叉的频率
3. 验证波长与弦线张力的关系

二. 实验原理

设有两列波在横轴上传播，如图 9-1 所示，其振幅、频率及振动方向均相同，但传播相反，向右的以实线表之，向左的以虚线表之。上述二相干波叠加后，使横轴上某些点的振幅为零，称为波节，以“0”表示；而有些点的振幅则有最大值，且等于单个波振幅的 2 倍，称为波腹，以“+”表示。从外形看合成波波腹和波节的位置不随时间改变，波形不向前传播，故这种波称为驻波。如图 9-2 所示。在驻波上，两个相邻的波节或波腹间的距离为半个波长，即： $\lambda/2$ 。因此，可以很方便地测出波长，这就是驻波的重要用途之一。

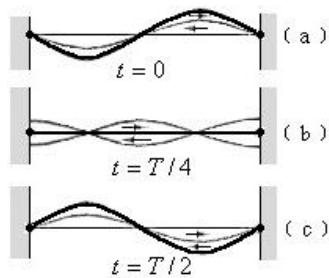


图 9-1 驻波的形成

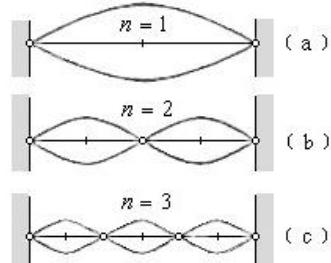


图 9-2 弦线上的驻波

驻波的形成，通常是在入射波与反射波相互叠加的情况下发生的。如果把弦线的一端 A 固定在音叉上，另一端通过滑轮系上砝码 m ，使弦线中产生一定张力 T ；弦线因穿过支架 B 上的小孔而使该点不能振动。当音叉按自己的固有频率 f 振动时，入射波由 A 向 B 方向传播，并在 B 点发生反射，形成由 B 向 A 的反射波，入射波和反射波的频率、振幅和振动方向都相同，只是传播方向相反，满足驻波形成的条件。若 A、B 间的距离即弦长 l 恰为半波长的整数倍，即：

$$l = n \frac{\lambda}{2}$$

(9.1)

则可在 A、B 之间形成稳定的驻波，如图 9-2 所示。这是因为，当波在两种介质

的分界面上发生反射时,若波从波阻较大的介质中反射回来,则反射处形成波节,而与音叉连接的 A 端振幅甚小,亦可视“为波节”。

为在弦线上获得稳定的驻波,可采取两种方法:一种是固定弦长 l ,改变 T ,另一种是固定张力 T ,改变 l 。本实验即是通过改变支架 B 的位置来获得稳定驻波的。弦线上形成稳定驻波的特点是:波节的位置不变,波腹最大且稳定。

根据弹性理论,当横波沿弦线传播时,在维持弦线张力 T 不变的情况下,波的传播速度 v 与张力及弦线的线密度 ρ 之间有如下关系:

$$v = \sqrt{T/\rho} \quad (9.2)$$

而波长 λ 、频率 f 及波速之间的关系为:

$$v = \lambda f$$

(9.3)

因此,

$$\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{T/\rho} \quad (9.4)$$

式(9.4)表示:当弦线的线密度不变时,波长与弦线的张力 T 的平方根成正比。

将式(9.1)代入式(9.4),可得:

$$f = \frac{n}{2l} \sqrt{T/\rho} \quad (9.5)$$

式(9.5)表明,若知道 ρ 及 T ,只要测出稳定驻波形成后 n 个半波长之间的距离 l ,则可求出音叉的固有频率 f 。本实验中为了便于测量和计算,可以只测两个半波长($n=2$)间的距离[如图 9-2(b)],即直接测定波长 λ 。于是,频率可由下式计算:

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{T/\rho} \quad (9.6)$$

三. 仪器用品

实验用品主要包括:电动音叉、滑轮、弦线、砝码组、支架及米尺等。

实验装置如图 9-3 所示。电动音叉 V 由电磁铁 N 激发振动, E 为电磁铁电源,调节火花间隙 K 使与音叉上的弹片接触,电路接通,电磁铁吸动音叉, K 又与弹片断开;由于电流中断,电磁铁失去吸引作用,所以音叉又回到原来位置;电路

再度接通而吸动音叉；如此反复作用的结果，就使音叉在电磁铁的带动下按其固有频率振动起来。而弦线则在音叉的作用下作受迫振动。因在弦线上形成稳定的驻波时，音叉振动的位相与在音叉上反射波的位相相同，故使弦线上驻波的振幅最大且稳定。

调节音叉起振时，应轻缓拧动螺丝 K，当与弹片接触并产生蓝色火花时即已起振。继续拧动螺丝 K，音叉振动加强，至强度适中（以电磁铁不撞击音叉臂为宜）即可停止拧动 K。为防止火花间隙改变而使振动强度发生改变或停振，应旋紧调节螺丝上的锁紧螺母。

起振后，在一定张力 $T = mg$ 作用下，移动支架 B，改变弦长适当，即可形成稳定驻波。稳定驻波形成后，将支架 C 移至某波节下面，即可由米尺测定弦长。若取 $n = 2$ ，则弦长即波长 λ 。

四. 实验步骤

1. 在砝码质量为 100g（包括砝码托）的情况下，移动支架 B 使 A、B 间形成尽可能多的稳定驻波数，用米尺测出 BC 间一个波长的距离 4 次（每次测量应重新调节）。然后根据给定弦线密度求音叉的固有频率。

由于观测者视觉的分辨能力，使在张力 T 时形成的稳定驻波并非达到理想状态，由此，将对测量带来误差。本实验以改变张力 ε_T 的同时观察驻波稳定性是否遭到破坏的方法，来考证观测者自身分辨能力，并将其用张力误差的形式来体现。若减小张力 ε_{T_1} 及增大张力 ε_{T_2} 时，分别察觉驻波的稳定性遭到破坏，则 $-\varepsilon_{T_1}$ 及 ε_{T_2} 即对应张力 T 的误差极限。考虑到实验中减少砝码有一定困难（受到砝码组的限制），故可仅以增加砝码的方法予以考证，且简单地认为减少同样的砝码数稳定驻波亦同样遭到破坏。据此估计出以张力不确定度表示的观测者自身分辨能力引入的测量不确定度 u_T 。

2. 在不同张力 $T_i = 50, 70, 100, 130, 160, 200 (9.8 \times 10^{-3} \text{ N})$ 时，分别测出相应的驻波波长 λ_i ，以验证 λ 与 \sqrt{T} 的关系。并据曲线斜率求音叉的固有频率 f

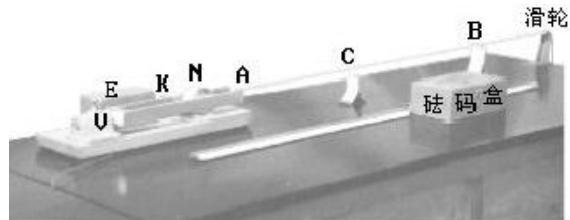


图9-3 弦振动实验装置

五. 实验数据

$$\rho = 6.56 \times 10^5 \pm 0 \text{ (kg/m)}$$

1. 固定张力 $T=0.98 \text{ N}$ 时的波长

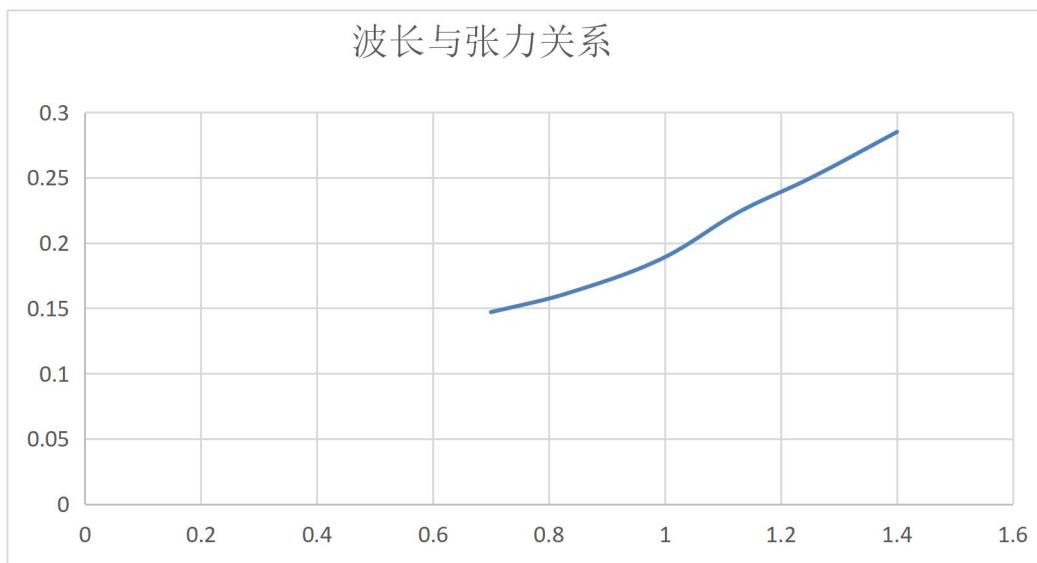
物理量 i	1	2	3	4	平均
	λ_i	19.8	19.3	19.4	19.5
$s_{\lambda_i} = 0.0000648$		$s_{\bar{\lambda}} = 0.0000108$			

$$\mu_T = \varepsilon T / \sqrt{3} = 0.00577$$

$$\text{结果表达式 } f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{T / \rho} = 626.8$$

2. 波长与张力的关系

i	1	2	3	4	5	6
m_i	50	70	100	130	160	200
$\sqrt{T_i}$	0.7	0.828251 17	0.98994 9494	1.128716 085	1.2521980 67	1.4
λ_i	14.7	16.1	18.7	22.4	25.0	28.5



由图可知波长基本与张力成正比

六. 误差分析

1. 仪器本身的误差
2. 米尺度数时无法精确
3. 拉力可能不能完全作用在弦上



3.5 测定冰的熔解热

耿逸然测定冰的熔解热实验报告

指导教师：宋峰教授，任杨阳导师

时间：2018年4月10日

一、基础理论预习（来自《南开大学出版社大学基础物理实验》教材）

物质从固相转变为液相的相变过程称为熔解。一定压强下晶体开始熔解时的温度称为该晶体在此压强下的熔点。对于晶体而言，熔解是组成物质的粒子由规则排列向不规则排列的过程，破坏晶体的点阵结构需要能量，因此，晶体在熔解过程中虽吸收能量，但其温度却保持不变。物质的某种晶体熔解成为同温度的液体所吸收的能量，叫做该晶体的熔解潜热。

二、实验目的

- 1、学习用混合量热法测定冰的熔解热。
- 2、应用有物态变化时的热交换定律来计算冰的溶解热。即简单的比热计算。
- 3、了解一种粗略修正散热的方法——抵偿法(利用牛顿冷却定律)。

三、实验原理

本实验用混合量热法测定冰的熔解热。其基本做法如下：把待测系统 A 和一个已知热容的系统 B 混合起来，并设法使它们形成一个与外界没有热量交换的孤立系统 C ($C = A + B$)。这样 A (或 B) 所放出的热量，全部为 B (或 A) 所吸收。因为已知热容的系统在实验过程中所传递的热量 Q ，是可以由其温度的改变 ΔT 和热容 C 计算出来，即 $Q = C \Delta T$ ，因此待测系统在实验过程中所传递的热量也就知道了。

实验时，量热器装有热水（约高于室温 10°C，占内筒容积 1/2），然后放入适量冰块，冰溶解后混合系统将达到热平衡。此过程中，原实验系统放热，设为 $Q_{\text{放}}$ ，冰吸热溶成水，继续吸热使系统达到热平衡温度，设吸收的总热量为 $Q_{\text{吸}}$ 。

因为是孤立系统，则有 $Q_{\text{放}} = Q_{\text{吸}}$ (1)

设混合前实验系统的温度为 T_1 ，其中热水质量为 m_1 (比热容为 c_1)，内筒的质量为 m_2 (比热容为 c_2)，搅拌器的质量为 m_3 (比热容为 c_3)。冰的质

量为 M (冰的温度和冰的熔点均认为是 0°C, 设为 T₀)，数字温度计浸入水中的部分放出的热量忽略不计。设混合后系统达到热平衡的温度为 T °C (此时应低于室温 10°C 左右)，冰的溶解热由 L 表示，

根据 (1) 式有 $ML + M c_1 (T - T_0) = (m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3) (T_1 - T)$
因 T_r=0°C，所以冰的溶解热为：

$$L = (m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3) (T_1 - T) - T c_1 M \quad (2) \quad T_1 \text{ } T \text{ } 1' \text{ J}$$

综上所述，保持实验系统为孤立系统是混合量热法所要求的基本实验条件。为此整个实验在量热器内进行，但由于实验系统不可能与环境温度始终一致，因此不满足绝热条件，可能会吸收或散失能量。所以当实验过程中系统与外界的热量交换不能忽略时，就必须作一定的散热修正。牛顿冷却定律告诉我们，系统的温度 T_s 如果略高于环境温度 θ (如两者的温度差不超过 10°C-15°C)，系统热量的散热速率与温度差成正比，用数学形式表示为

$$dQ = K (T_s - \theta) dt$$

【K 为常数，与量热器表面积，表面情况和周围环境等因素有关】

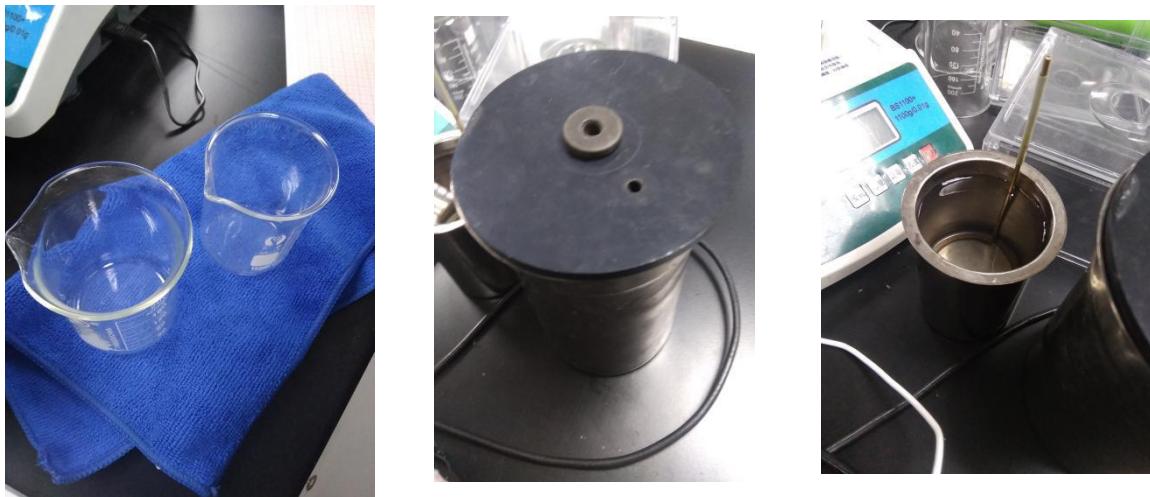
【散热修正】：通过作图用外推法可得到混合时刻的热水温度 T_{1'}，和热平衡的温度 T'。

图中 AB 和 DE 分别表示热水的温度和冰水混合后系统达到热平衡的温度随时间变化线段。纪录冰水混合后系统达到室温 T₀ 的时刻 t₀，图中面积 BCG 与系统向环境散热量有关，面积 CDH 与系统自环境吸热量有关。当面积 BCG 等于面积 CDH 时，过 t₀ 作 t 轴的垂线，与 AB 和 DE 的延长线分别交于 J、K 点，则 J 对应的温度为 T_{1'}，K 对应的温度为 T'。(隔 15s 或 20s 测一个点)

本次实验二者面积接近，分别为 31 和 37 小格，故基本达到要求。

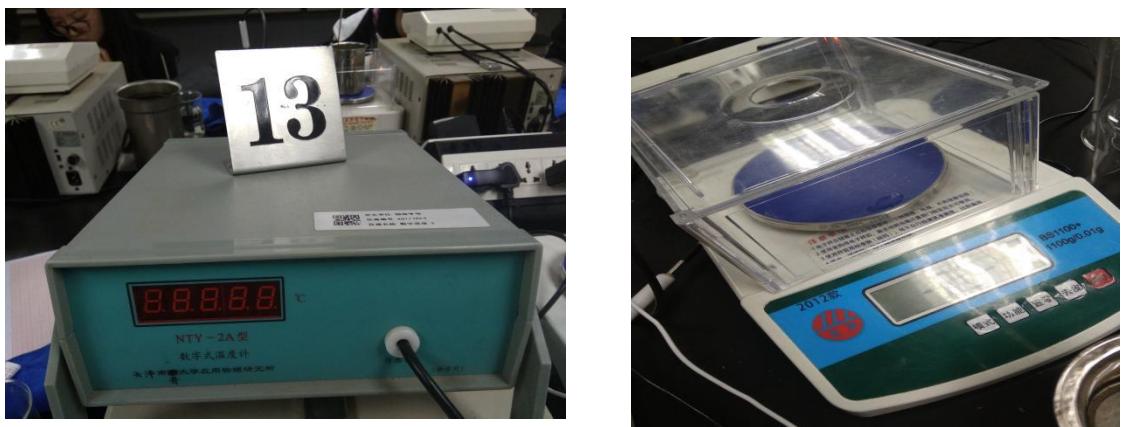
四、实验仪器

NTY_2A 数字温度计、量热器、物理数字天平、保温瓶、秒表（用手机的计时器代替）、毛巾，烧杯（取冰块）等。



五、实验内容与步骤

- 1、将内筒擦干净，用天平称出其质量 m_2 。（搅拌器质量 m_3 数据已提供）
- 2、内筒中装入适量的水（约高于室温 10℃，占内筒容积 1/2），用天平称得内筒和水的质量 m_2+m_1 。



- 3、将内筒置于量热器中，盖好盖子，插好搅拌器和温度计，开始计时并轻轻上下搅动量热器中的水，观察热水的温度变化（如每隔 15s 记录一个数据），直到温度稳定，记录稳定的初始温度 T_1 。
- 4、初始温度记录后马上从冰箱中取出预先备好的冰块（3-6 块），用毛巾将冰上所沾水珠吸干，小心的放入量热器中。
- 5、用搅拌器轻轻上下搅动量热器中的水，记录温度随时间的变化，当系统出现

最低温 T (°C) 时, 说明冰块完全溶解系统基本达到热平衡, 再记录回升温度 2-3 个点。

6、将内筒拿出, 用天平称出内筒和水的质量 $m_1 + m_2 + M$ 。

7、实验完毕, 整理仪器, 处理数据。

六、数据表格及数据处理

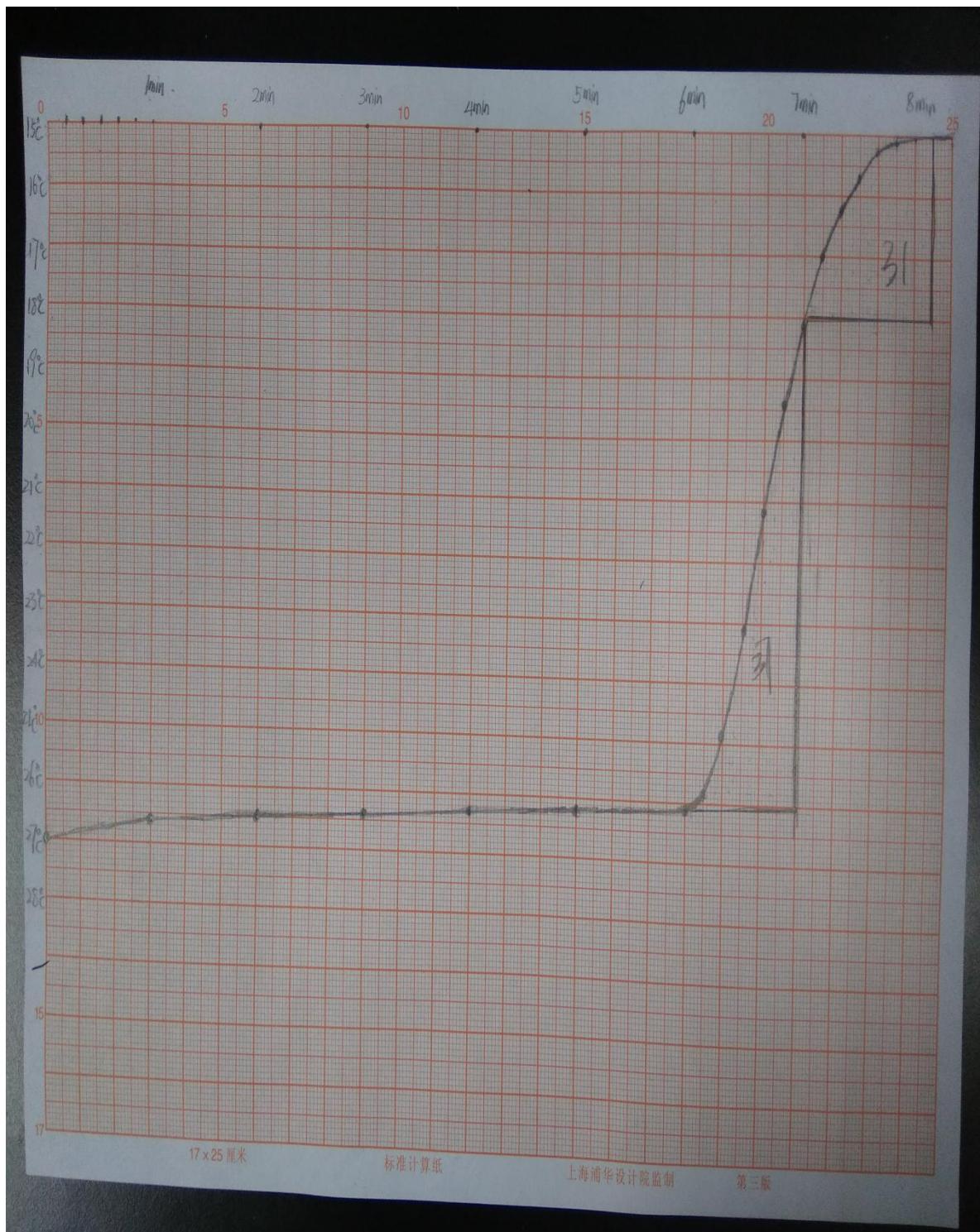
【已知参数】: 水的比热容 $c_1 = 4.186 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, 内筒(铁) 的比热容为 $c_2 = 0.448 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, 搅拌器(铜) 的比热容为 $c_3 = 0.38 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, 搅拌器的质量为 $m_3 = 6.24 \text{ g}$, 冰的溶解热参考值 $L = 3.335 \times 10^5 \text{ J/kg}$ 。

表格一 实验主表格

物理量	前室温 T_{e_1}	后室温 T_{e_2}	平均室温 \bar{T}_e
测得值	17.9 °C	18.2 °C	18.05 °C

物理量	内筒质量 m_1	搅拌器质量 m_2	总质量 Σm_1 (加水后)	总质量 ΣM_2 (溶解后)	水质量 Δm_1	冰质量 Δm_2
测得值	123.92g	19.76g	392.73g	422.27g	249.05g	29.54g

图像 2 温度随时间变化



计算步骤：

由公式 $L = \frac{1}{\Delta m_2} (C_{水}m_2 + C_{筒}m_{筒} + C_{拌}m_{拌}) (\theta_{水} - \theta_{平衡}) - C_{水}\theta_{平衡}$

其中：
 $\Delta m_2 = 29.54g \times 10^{-3} kg/g = 2.954 \times 10^{-2} kg$
 $C_K = 4.1868 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
 $m_{水} = \Delta M_1 = 2.4905 \times 10^{-1} kg$
 $C_{筒} = 0.385 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
 $C_{拌} = 0.370 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
 $m_{筒} = m_1 = 123.82g = 0.12382 kg$
 $m_{拌} = m_2 = 19.76g = 0.01976 kg$
 $\theta_{水} = 26.1^\circ C$
 $\theta_{平衡} = 15.0^\circ C$

算得： $L = 349687.731 J/kg$

七、注意事项及误差分析

1. 室温应取实验前、后的平均值；水的初温，可高出室温约 $10^\circ C \sim 15^\circ C$ ；配置温水时，又应略高于 约 $1^\circ C \sim 2^\circ C$ （在转移过程中排除降温带来影响，否则可能带来误差）
2. 严守天平的操作规则。读数要准确。
3. 投冰前应将其拭干，且不得直接用手触摸；其质量不能直接放在天平盘上称



衡，而应由投冰前、后量热器连同水的质量差求得。

4. 为使温度计示值确实代表系统的真实温度，整个实验过程中（包括读取前）要不断轻轻地进行搅拌（搅拌的方式应因搅拌器的形状而异）。

5. 搅拌动作要轻，幅度不要太大，以免将水溅到量热筒外。

6 测量室温时要在示数稳定后进行读数。

耿浩然冰的溶解热实验报告

指导教师：宋峰教授，任杨阳导师

一、实验目的

- 1、学习用混合量热法测定冰的熔解热。
- 2、应用有物态变化时的热交换定律来计算冰的溶解热。
- 3、了解一种粗略修正散热的方法——抵偿法。

二、实验原理

本实验用混合量热法测定冰的熔解热。其基本做法如下：把待测系统 A 和一个已知热容的系统 B 混合起来，并设法使它们形成一个与外界没有热量交换的孤立系统 C ($C=A+B$)。这样 A (或 B) 所放出的热量，全部为 B (或 A) 所吸收。因为已知热容的系统在实验过程中所传递的热量 Q ，是可以由其温度的改变 ΔT 和热容 C 计算出来，即 $Q = C\Delta T$ ，因此待测系统在实验过程中所传递的热量也就知道了。

实验时，量热器装有热水（约高于室温 10°C，占内筒容积 1/2），然后放入适量冰块，冰溶解后混合系统将达到热平衡。此过程中，原实验系统放热，设为 $Q_{\text{放}}$ ，冰吸热溶成水，继续吸热使系统达到热平衡温度，设吸收的总热量为 $Q_{\text{吸}}$ 。

因为是孤立系统，则有 $Q_{\text{放}} = Q_{\text{吸}}$

(1)

设混合前实验系统的温度为 T_1 ，其中热水质量为 m_1 (比热容为 c_1)，内筒的质量为 m_2 (比热容为 c_2)，搅拌器的质量为 m_3 (比热容为 c_3)。冰的质量为 M (冰的温度和冰的熔点均认为是 0°C，设为 T_0)，数字温度计浸入水中的部分放出的热量忽略不计。设混合后系统达到热平衡的温度为 T °C (此时应低于室温 10°C 左右)，冰的溶解热由 L 表示，根据 (1) 式有

$$ML + M c_1 (T - T_0) = (m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3) (T_1 - T) \quad (2)$$

综上所述，保持实验系统为孤立系统是混合量热法所要求的基本实验条件。为此整个实验在量热器内进行，但由于实验系统不可能与环境温度始终一致，因此不满足绝热条件，可能会吸收或散失能量。所以当实验过程中系统与外界的热量交

换不能忽略时，就必须作一定的散热修正。

牛顿冷却定律告诉我们，系统的温度 T_s 如果略高于环境温度（如两者的温度差不超过 $10^{\circ}\text{C}-15^{\circ}\text{C}$ ），系统热量的散热速率与温度差成正比，用数学形式表示为

【 K 为常数，与量热器表面积，表面情况和周围环境等因素有关】

【散热修正】：通过作图用外推法可得到混合时刻的热水温度 T_1' ，和热平衡的温度 T' 。

图中 AB 和 DE 分别表示热水的温度和冰水混合后系统达到热平衡的温度随时间变化线段。纪录冰水混合后系统达到室温 T_0 的时刻 t_0 ，图中面积 BCG 与系统向环境散热量有关，面积 CDH 与系统自环境吸热量有关。当面积 BCG 等于面积 CDH 时，过 t_0 作 t 轴的垂线，与 AB 和 DE 的延长线分别交于 J、K 点，则 J 对应的温度为 T_1' ，K 对应的温度为 T' 。（隔 15s 或 20s 测一个点）

三、实验仪器

DM-T 数字温度计、LH-1 量热器、WL-1 物理天平、保温瓶、秒表、毛巾等。

四、实验内容与步骤

- 1、将内筒擦干净，用天平称出其质量 m_2 。（搅拌器质量 m_3 数据已提供）
- 2、内筒中装入适量的水（约高于室温 10°C ，占内筒容积 $1/2$ ），用天平称得内筒和水的质量 m_2+m_1 。
- 3、将内筒置于量热器中，盖好盖子，插好搅拌器和温度计，开始计时并轻轻上下搅动量热器中的水，观察热水的温度变化（如每隔 15s 记录一个数据），直到温度稳定，记录稳定的初始温度 T_1 。
- 4、初始温度记录后马上从冰箱中取出预先备好的冰块（3-6 块），用毛巾将冰上所沾水珠吸干，小心的放入量热器中。
- 5、用搅拌器轻轻上下搅动量热器中的水，记录温度随时间的变化，当系统出现最低温 $T(\text{ }^{\circ}\text{C})$ 时，说明冰块完全溶解系统基本达到热平衡，再记录回升温度 2-3 个点。
- 6、将内筒拿出，用天平称出内筒和水的质量 m_2+m_1+M 。
- 7、实验完毕，整理仪器，处理数据。

五、数据表格及数据处理

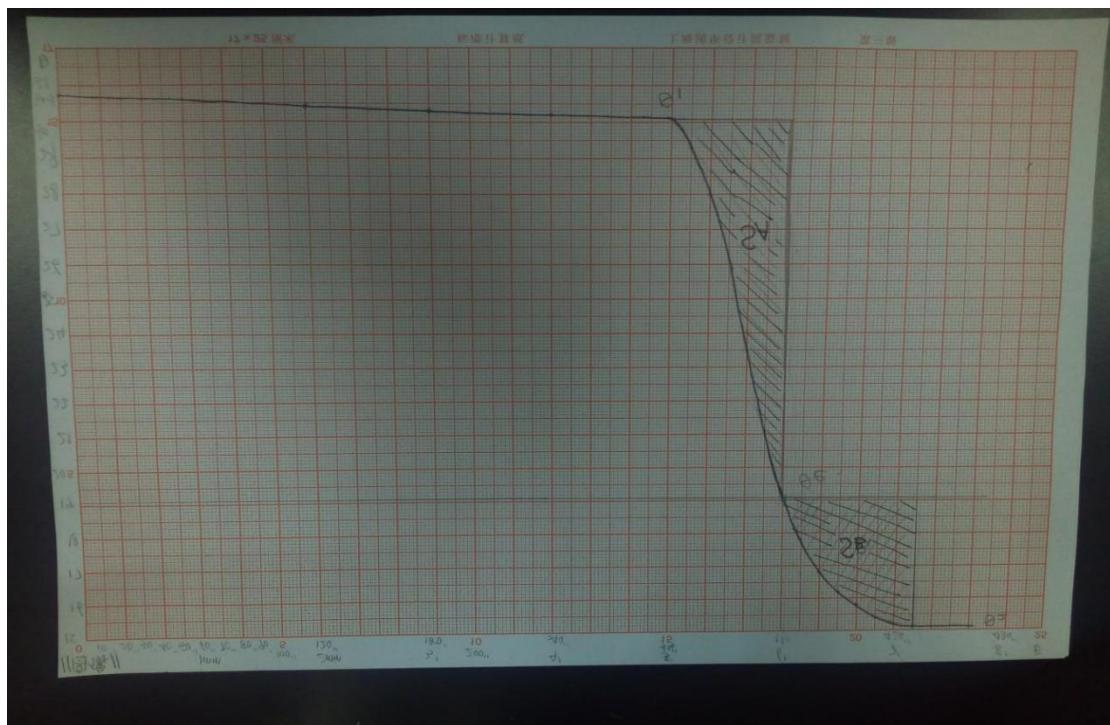
// 数据处理 //

物理量	内筒质量 m ₁ /g	搅拌器质量 m ₂ /g	加水后总质量 M/g	加冰后总质量 M/g	加入冰质量 m _冰 /g	冰质量 m _冰 /g	始室温 T ₁ /℃	末室温 T ₂ /℃	终室温 T _e /℃
测得值	127.07	19.48	330.26	383.98	203.19	34.24	19.0	18.2	18.1

根据公式 $L = \frac{1}{m_1 c_1} (C_{水} m_{水} + C_{筒} m_{筒} + C_{棒} m_{棒}) (\theta_1 - \theta_2) - C_{冰} \theta_2$

其中 $m_{冰} = 34.24\text{g}$
 $m_{水} = 203.19\text{g}$
 $m_{筒} = 127.07\text{g}$
 $m_{棒} = 19.48\text{g}$
 $C_{冰} = 4.1868 \text{ kJ/(kg·K)}$
 $C_{筒} = 0.385 \text{ kJ/(kg·K)}$
 $C_{棒} = 0.370 \text{ kJ/(kg·K)}$
 $\theta_1 = 20.1^\circ\text{C}$
 $\theta_2 = 18.1^\circ\text{C}$

代入数据求得 $L = 3.37269 \times 10^5 \text{ J/kg}$



【已知参数】：水的比热容 $c_1=4.186 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ，内筒(铁)的比热容为 $c_2=0.448 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ，搅拌器(铜)的比热容为 $c_3=0.38 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ，搅拌器的质量为 $m_3=6.24\text{g}$ ，冰的溶解热参考值 $L=3.335 \times 10^5 \text{ J/kg}$ 。

六、注意事项及误差分析

1. 室温应取实验前、后的平均值；水的初温，可高出室温约 $10^\circ\text{C} \sim 15^\circ\text{C}$ ；配置温水时，又应略高于 约 $1^\circ\text{C} \sim 2^\circ\text{C}$
2. 严守天平的操作规则。

3. 投冰前应将其拭干，且不得直接用手触摸；其质量不能直接放在天平盘上称衡，而应由投冰前、后量热器连同水的质量差求得。
4. 为使温度计示值确实代表系统的真实温度，整个实验过程中（包括读取前）要不断轻轻地进行搅拌（搅拌的方式应因搅拌器的形状而异）。
5. 搅拌动作要轻，幅度不要太大，以免将水溅到量热筒外。

3.6 钢丝的杨氏模量

耿浩然钢丝的杨氏模量

指导教师：宋峰教授，

一、实验目的：

- (1) 杨氏模量的定义。
- (2) 利用光杠杆测量微小长度变化的原理和方法。
- (3) 用逐差法和作图法处理实验数据的方法。

二、实验仪器

杨氏模量仪（包括砝码组、光杠杆及望远镜-标尺装置）、螺旋测微器、钢卷尺。

三、实验原理

1) 杨氏模量

物体受力产生的形变，去掉外力后能立刻恢复原状的称为弹性形变；因受力过大或受力时间过长，去掉外力后不能恢复原状的称为塑性形变。物体受单方向的拉力或压力，产生纵向的伸长和缩短是最简单也是最基本的形变。设一物体长为 L ，横截面积为 S ，沿长度方向施力 F 后，物体伸长（或缩短）了 ΔL 。 F / S 是单位面积上的作用力，称为应力， $\Delta L / L$ 是相对变形量，称为应变。在弹性形变范围内，按照胡克定律，物体内部的应力正比于应变，其比称为杨氏模量。

实验证明， E 与试样的长度 L 、横截面积 S 以及施加的外力 F 的大小无关，而只取决于试样的材料。从微观结构考虑，杨氏模量是一个表征原子间结合力大小的物理参量。

2) 用静态拉伸法测金属丝的杨氏模量

杨氏模量测量有静态法和动态法之分。动态法是基于振动的方法，静态法是对试样直接加力，测量形变。动态法测量速度快，精度高，适用范围广，是国家标准规定的方法。静态法原理直观，设备简单。

用静态拉伸法测金属丝的杨氏模量，是使用如图 5—1 所示杨氏模量仪。在三角底座上装两根支柱，支柱上端有横梁，中部紧固一个平台，构成一个刚度极好的支架。整个支架受力后变形极小，可以忽略。待测样品是一根粗细均匀的钢丝。钢丝上端用卡头 A 夹紧并固定在上横梁上，钢丝下端也用一个圆柱形卡头 B 夹紧并穿过平台 C 的中心孔，使钢丝自由悬挂。通过调节三角底座螺丝，使整个支架

铅直。下卡头在平台C的中心孔内，其周围缝隙均匀而不与孔边摩擦。圆柱形卡头下方的挂钩上挂一个砝码盘，当盘上逐次加上一定质量的砝码后，钢丝就被拉伸。下卡头的上端面相对平台C的下降量，即是钢丝的伸长量 δL 。钢丝的总长度就是从上卡头的下端面至下卡头的上端面之间的长度。钢丝的伸长量 δL 是很微小的，本实验采用光杠杆法测量。

3) 光杠杆

光杠杆是用放大的方法来测量微小长度（或长度改变量）的一种装置，由平面镜M、水平放置的望远镜T和竖直标尺S组成（图5—1）。平面镜M竖立在一个小三足支架上，O、O'是其前足，K是其后足。K至OO'连线的垂直距离为b（相当于杠杆的短臂），两前足放在杨氏模量仪的平台C的沟槽内，后足尖置于待测钢丝下卡头的上端面上。当待测钢丝受力作用而伸长 δL 时，后足尖K就随之下降 δL ，从而平面镜M也随之倾斜一个 α 角。在与平面镜M相距D处（约1~2m）放置测量望远镜T和竖直标尺S。如果望远镜水平对准竖直的平面镜，并能在望远镜中看到平面镜反射的标尺像，那么从望远镜的十字准线上可读出钢丝伸长前后标尺的读数n₀和n₁。这样就把微小的长度改变量 δL 放大成相当可观的变化量 $\delta n = n_1 - n_0$ 。从图5—2所示几何关系看，平面镜倾斜 α 角后，镜面法线OB也随之转动 α 角，反射线将转动 2α 角， α 很小的条件下 $\tan \alpha \approx \alpha$ ； $\tan 2\alpha \approx 2\alpha$

于是得光杠杆放大倍数。

四、实验步骤

(1) 检查钢丝是否被上下卡头夹紧，然后在圆柱形卡头下面挂钩上挂上砝码盘，将钢丝预紧。

(2) 用水准器调节平台C水平，并观察钢丝下卡头在平台C的通孔中的缝隙，使之达到均匀，以不发生摩擦为准。

(3) 将光杠杆平面镜放置在平台上，并使前足O O'落在平台沟槽内，后足尖K压在圆柱形卡头上端面上。同时调节光杠杆平面镜M处于铅直位置。

(4) 将望远镜一标尺支架移到光杠杆平面镜前，使望远镜光轴与平面镜同高，然后移置离平面镜约1m处。调节支架底脚螺丝，使标尺铅直并调节望远镜方位，使镜筒水平对准平面镜M。

(5) 先用肉眼从望远镜外沿镜筒方向看平面镜M中有没有标尺的反射像，必要

时可稍稍左右移动支架，直至在镜筒外沿上方看到标尺的反射像。

(6) 调节望远镜目镜，使叉丝像清晰，再调节物镜，使标尺成像清晰并消除与叉丝像的视差，如此时的标尺读数与望远镜所在水平面的标尺位置 n_0 相差较大，需略微转动平面镜M的倾角，使准线对准 n_0 ，记下这一读数。

(7) 逐次增加砝码（每个 0.36 kg ），记录从望远镜中观察到的各相应的标尺读数 n_i' （共7个砝码）。然后再逐次移去所加的砝码，也记下相应的标尺读数 n_i'' 。将对应于同一 F_i 值的 n_i'' 和 n_i' 求平均，记为 n_i （加、减砝码时动作要轻，不要使砝码盘摆动和上下振动）。

(8) 用钢卷尺测量平面镜M到标尺S之间的垂直距离D和待测钢丝的原长L。从平台上取

下平面镜支架，放在纸上轻轻压出前后足尖的痕迹，然后用细铅笔作两前足点O O' 的连线及K到O O' 边线的垂线，测出此垂线的长度b。

(9) 用螺旋测微器测量钢丝不同位置的直径，测6次。

五、数据处理

次数	拉力 F/kg	标尺读数/mm				逐差/mm
		n_i	加 磅 码	减 磅 码	n_i 平 均	
1	1.00	n1	10.34	10.30	10.32	10.34 10.30
2	2.00	n2	9.01	9.01	9.01	9.29 9.27
3	3.00	n3	7.91	7.90	7.91	8.23 8.21
4	4.00	n4	6.30	6.28	6.29	7.17 7.15
5	5.00	n5	5.66	5.68	5.67	
6	6.00	n6	4.70	4.72	4.71	
7	7.00	n7	3.70	3.70	3.70	

8	8.00	n8	2.65	2.64	2.65	
---	------	----	------	------	------	--

- (1) 设计数据表格，正确记录原始测量数据。
- (2) 用逐差法计算 δn 。
- (3) 根据实验情况确定各直接测量量的不确定度。
- (4) 计算出杨氏模量 E，用误差传递关系计算 E 的不确定度，并正确表达出实验结果。
- (5) 用作图法处理数据：

六、误差分析

- 1. 望远镜读取微小变化量存在随机误差
- 2. 金属直径测量时，由于截面并非正圆，存在误差
- 3. 金属未绝对静止存在误差
- 4. 米尺未拉直，存在误差

耿逸然钢丝的杨氏模量

指导教师：宋峰教授

一、实验目的：

- (1) 杨氏模量的定义。
- (2) 利用光杠杆测量微小长度变化的原理和方法。
- (3) 用逐差法和作图法处理实验数据的方法。

二、实验仪器

杨氏模量仪（包括砝码组、光杠杆及望远镜-标尺装置）、螺旋测微器、钢卷尺。

三、实验原理

1) 杨氏模量

物体受力产生的形变，去掉外力后能立刻恢复原状的称为弹性形变；因受力过大或受力时间过长，去掉外力后不能恢复原状的称为塑性形变。物体受单方向的拉力或压力，产生纵向的伸长和缩短是最简单也是最基本的形变。设一物体长为 L ，横截面积为 S ，沿长度方向施力 F 后，物体伸长（或缩短）了 ΔL 。 F / S 是单位面积上的作用力，称为应力， $\Delta L / L$ 是相对变形量，称为应变。在弹性形变范围内，按照胡克定律，物体内部的应力正比于应变，其比称为杨氏模量。

实验证明， E 与试样的长度 L 、横截面积 S 以及施加的外力 F 的大小无关，而只取决于试样的材料。从微观结构考虑，杨氏模量是一个表征原子间结合力大小的物理参量。

2) 用静态拉伸法测金属丝的杨氏模量

杨氏模量测量有静态法和动态法之分。动态法是基于振动的方法，静态法是对试样直接加力，测量形变。动态法测量速度快，精度高，适用范围广，是国家标准规定的方法。静态法原理直观，设备简单。

用静态拉伸法测金属丝的杨氏模量，是使用如图 5—1 所示杨氏模量仪。在三角底座上装两根支柱，支柱上端有横梁，中部紧固一个平台，构成一个刚度极好的支架。整个支架受力后变形极小，可以忽略。待测样品是一根粗细均匀的钢丝。钢丝上端用卡头 A 夹紧并固定在上横梁上，钢丝下端也用一个

圆柱形卡头B夹紧并穿过平台C的中心孔，使钢丝自由悬挂。通过调节三角底座螺丝，使整个支架铅直。下卡头在平台C的中心孔内，其周围缝隙均匀而不与孔边摩擦。圆柱形卡头下方的挂钩上挂一个砝码盘，当盘上逐次加上一定质量的砝码后，钢丝就被拉伸。下卡头的上端面相对平台C的下降量，即是钢丝的伸长量 δL 。钢丝的总长度就是从上卡头的下端面至下卡头的上端面之间的长度。钢丝的伸长量 δL 是很微小的，本实验采用光杠杆法测量。

3) 光杠杆

光杠杆是用放大的方法来测量微小长度（或长度改变量）的一种装置，由平面镜M、水平放置的望远镜T和竖直标尺S组成（图5—1）。平面镜M竖立在一个小三足支架上，O、O'是其前足，K是其后足。K至OO'连线的垂直距离为b（相当于杠杆的短臂），两前足放在杨氏模量仪的平台C的沟槽内，后足尖置于待测钢丝下卡头的上端面上。当待测钢丝受力作用而伸长 δL 时，后足尖K就随之下降 δL ，从而平面镜M也随之倾斜一个 α 角。在与平面镜M相距D处（约1~2m）放置测量望远镜T和竖直标尺S。如果望远镜水平对准竖直的平面镜，并能在望远镜中看到平面镜反射的标尺像，那么从望远镜的十字准线上可读出钢丝伸长前后标尺的读数n₀和n₁。这样就把微小的长度改变量 δL 放大成相当可观的变化量 $\delta n = n_1 - n_0$ 。从图5—2所示几何关系看，平面镜倾斜 α 角后，镜面法线OB也随之转动 α 角，反射线将转动 2α 角， α 很小的条件下 $\tan \alpha \approx \alpha$ ； $\tan 2\alpha \approx 2\alpha$ 于是得光杠杆放大倍数。

四、实验步骤

- (1) 检查钢丝是否被上下卡头夹紧，然后在圆柱形卡头下面挂钩上挂上砝码盘，将钢丝预紧。
- (2) 用水准器调节平台C水平，并观察钢丝下卡头在平台C的通孔中的缝隙，使之达到均匀，以不发生摩擦为准。
- (3) 将光杠杆平面镜放置在平台上，并使前足O O'落在平台沟槽内，后足尖K压在圆柱形卡头上端面上。同时调节光杠杆平面镜M处于铅直位置。
- (4) 将望远镜一标尺支架移到光杠杆平面镜前，使望远镜光轴与平面镜同高，然后移置离平面镜约1m处。调节支架底脚螺丝，使标尺铅直并调节望远

镜方位，使镜筒水平对准平面镜M。

(5) 先用肉眼从望远镜外沿镜筒方向看平面镜M中有没有标尺的反射像，必要时可稍稍左右移动支架，直至在镜筒外沿上方看到标尺的反射像。

(6) 调节望远镜目镜，使叉丝像清晰，再调节物镜，使标尺成像清晰并消除与叉丝像的视差，如此时的标尺读数与望远镜所在水平面的标尺位置 n_0 相差较大，需略微转动平面镜M的倾角，使准线对准 n_0 ，记下这一读数。

(7) 逐次增加砝码（每个 0.36 kg ），记录从望远镜中观察到的各相应的标尺读数 n_i' （共7个砝码）。然后再逐次移去所加的砝码，也记下相应的标尺读数 n_i'' 。将对应于同一 F_i 值的 n_i'' 和 n_i' 求平均，记为 n_i （加、减砝码时动作要轻，不要使砝码盘摆动和上下振动）。

(8) 用钢卷尺测量平面镜M到标尺S之间的垂直距离D和待测钢丝的原长L。从平台上取

下平面镜支架，放在纸上轻轻压出前后足尖的痕迹，然后用细铅笔作两前足点O O'的连线及K到O O'边线的垂线，测出此垂线的长度b。

(9) 用螺旋测微器测量钢丝不同位置的直径，测6次。

五、数据处理

次数	拉力 F/kg	标尺读数/cm			
		Ni	加砝码	减砝码	Ni 平均
1	1.00	N1	5.60	5.92	5.76
2	2.00	N2	4.90	4.90	4.90
3	3.00	N3	3.44	3.78	3.61
4	4.00	N4	2.41	2.46	2.44
5	5.00	N5	1.42	1.93	1.67
6	6.00	N6	0.40	0.56	0.48

(1) 设计数据表格，正确记录原始测量数据。

- (2) 用逐差法计算 δn 。
- (3) 根据实验情况确定各直接测量量的不确定度。
- (4) 计算出杨氏模量 E，用误差传递关系计算 E 的不确定度，并正确表达出实验结果。
- (5) 用作图法处理数据：

六、误差分析

- 1. 望远镜读取微小变化量存在随机误差
- 2. 金属直径测量时，由于截面并非正圆，存在误差
- 3. 金属未绝对静止存在误差
- 4. 米尺未拉直，存在误差

3.7 长度测量

孙勘举长度测量实验报告

【实验目的】

- 1、掌握游标卡尺、螺旋测微器的结构、原理和使用方法；
- 2、熟悉仪器的读数规则；
- 3、初步掌握直接测量、简介测量的数据处理方法及测量不确定度的估计方法

【实验仪器】 游标卡尺（最小分度值为 0.02mm），螺旋测微器（最小分度值为 0.001mm），待测半空心圆柱体、钢球等。

【实验原理】 1、游标卡尺 在米尺上附加一个刻度均匀且可以滑动的游标（又称副尺），即可巧妙地提高米尺的测量精度。这种由主尺和副尺（游标）组成测量长度的仪器叫做游标卡尺，其结构如图 1。游标卡尺设计的巧妙之处在于：游标将主尺上的最小一个刻度（即 1mm）均匀地分成 n 等份。于是，副尺的分度值即为：

$$\varepsilon_x = \frac{1}{n} (\text{mm})$$

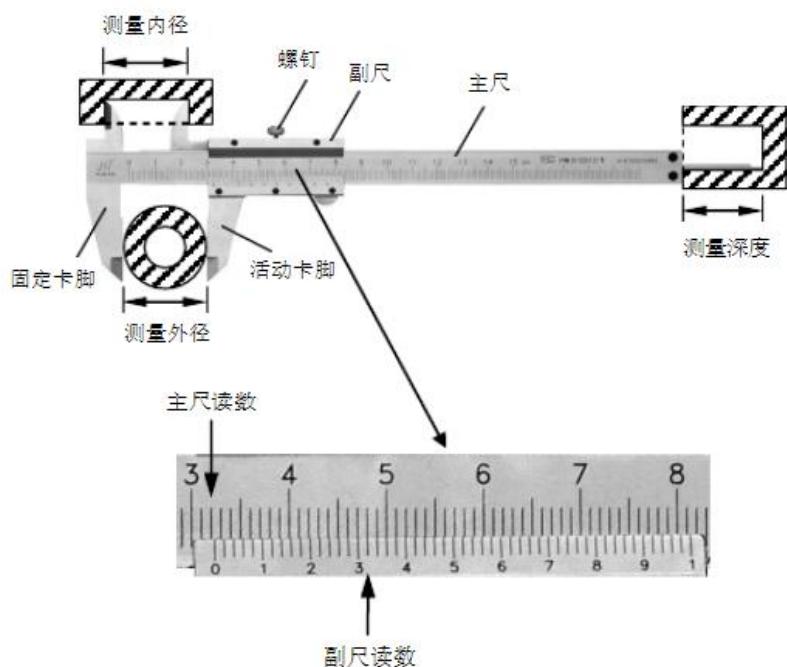


图 1 游标卡尺示意图

实际上就是游标卡尺的最小分划单位即分度值。由于 x 可由游标上的格数精确地给出，因此，游标卡尺的测量精度明显优于米尺。普通游标卡尺只有 10、20、50、100 分度等几种，所对应分度值分别为：0.1mm、0.05mm、0.02mm 和 0.01mm，本实验中采用 50 分度游标卡尺，如图 1 所示。游标卡尺的读数方法是：待测长度是主、副尺两零点间的距离 x ，其小于副尺零刻线的整数部分 k 在主尺上读出，其超出主尺整刻度线 k 的小数部分在副尺上读出。若副尺上第 m 个刻线与主尺上某刻线重合，故可断定副尺零刻线与主尺上第 k 个刻度线相距 $m\varepsilon_x$ ，于是可得待测长度为：

$$x = k + m\varepsilon_x \text{ (mm)} \quad (2)$$

图 1 中，主尺读数 $k = 32\text{mm}$ ，副尺上第 16 个刻线与主尺上某刻线（具体是哪一条无关）重合，故副尺读数为 $16 \times 0.02 = 0.32\text{mm}$ （可从副尺上的刻度直接读出），可得待测长度为 $32 + 0.32 = 32.32\text{mm}$ 。注意：游标卡尺不能估读。

2、螺旋测微器 螺旋测微器的设计特点就是采用了这种机械放大原理。螺旋测微器由主尺、副尺套筒、组成，如图 2 所示，副尺套筒与测杆 B 固连在一起，并以螺纹与主尺连接，螺距为 5.0mm ，主尺分度为 5.0mm ，因此，副尺套筒旋转一周即在主尺上移动一格，即 5.0mm 。副尺套筒将主尺上的一个刻度 0.5mm 均分分成 50 个小格，因此，副尺套筒上的最小一个刻度为 0.01mm 。强调：特殊的一种螺旋测微器在主尺上加上另一刻度尺，将副尺套筒上的一个最小刻度 0.01mm 又分成 10 份，这个刻度尺的最小分度值将变为 0.001mm 。

读数方法：

- (1) 根据副尺套筒读出被测物在主尺上的刻度值 k ；
- (2) 根据主尺上水平刻度线读出对应在副尺套筒上的刻度值 m ；
- (3) 在副尺套筒估读出下一位 n （若是特殊螺旋测微器，最后一位读数方法和游标卡尺的读数方法一致）；
- (4) 将上面三部分读数值加起来，即为总尺寸。

【实验内容】

1. 用米尺在同一起点同一位置 (l_1)，同一起点不同位置 (l_2)，不同起点不同位置 (l_3)，不同起点相同位置 (l_4) 测量教科书各四次
2. 用游标卡尺测量半空心圆柱体的外径内径高度深度各四次。

3. 用螺旋测微器在钢球不同位置的三互相垂直位置测直径各三次，求其体。

【实验数据及结果】

1. 用米尺测定教科书的宽度 1

次数 ^o	l ₁ ^o		l ₂ ^o		l ₃ ^o				l ₄ ^o			
	l _{1i} ^o	S _{l1i} ^o	l _{2i} ^o	S _{l2i} ^o	起点 ^o	终点 ^o	l _{3i} ^o	S _{l3i} ^o	起点 ^o	终点 ^o	l _{3i} ^o	S _{l4i} ^o
1 ^o	18.44 ^o	0.008 66 ^o	18.44 ^o	0.025 981 ^o	10 ^o	28.30 ^o	18.30 ^o	0.008 66 ^o	10 ^o	28.30 ^o	18.30 ^o	0.025981 ^o
2 ^o	18.44 ^o	S _{l1} ^o	18.42 ^o	S _{l2} ^o	10 ^o	28.30 ^o	18.30 ^o	S _{l3} ^o	15 ^o	33.30 ^o	18.30 ^o	S _{l4} ^o
3 ^o	18.44 ^o	0.004 33 ^o	18.44 ^o	0.012 99 ^o	10 ^o	28.28 ^o	18.28 ^o	0.004 33 ^o	20 ^o	38.30 ^o	18.30 ^o	0.01299 ^o
4 ^o	18.44 ^o	u _{al1} ^o	18.42 ^o	u _{al2} ^o	10 ^o	28.30 ^o	18.30 ^o	u _{al3} ^o	25 ^o	43.36 ^o	18.36 ^o	u _{al4} ^o
平均 ^o	18.44 ^o	0.010 39 ^o	18.43 ^o	0.031 17 ^o			18.29 5 ^o	0.010 39 ^o			18.31 5 ^o	0.03117 ^o
μ_{ij} ^o	0.5 ^o		0.5 ^o				0.5 ^o				0.5 ^o	

单位: 0.01m : 允差 $\Delta_1=0.05$: $\mu_b=0.578191$

$$11=18.4 \pm 0.5 \quad 12=18.4 \pm 0.5 \quad 13=18.3 \pm 0.5 \quad 14=18.3 \pm 0.5$$

2. 用游标卡尺测量半空心圆柱的集合尺寸并求体积:

单位: 0.01m 零点读数: 0.000: $\Delta_x=0.002$: $\mu_{bx}=0.0011547005383$

单位: 0.01m: 零点读数: 0.000: 允差: $\Delta 0.0004$: $\mu_{bd}=0.0000577$

次数 ^o	D ₁₁ ^o	S _{D11} ^o	H ₁₁ ^o	S _{D21} ^o	D ₂₁ ^o	S _{D31} ^o	H ₂₁ ^o	S _{D41} ^o
1 ^o	3.000 ^o	0 ^o	3.00 ^o	0.0008660 25 ^o	2.006 ^o	0.0025980 76 ^o	2.450 ^o	0.0073993 24 ^o
2 ^o	3.000 ^o	S _{D1} ^o	2.998 ^o	S _{D2} ^o	2.000 ^o	S _{D3} ^o	2.458 ^o	S _{D4} ^o
3 ^o	3.000 ^o	0 ^o	3.000 ^o	0.0004330 13 ^o	2.000 ^o	0.0012990 38 ^o	2.440 ^o	0.0036996 62 ^o
4 ^o	3.000 ^o	μ_{aD1} ^o	3.000 ^o	μ_{aD2} ^o	2.000 ^o	μ_{aD3} ^o	2.458 ^o	μ_{aD4} ^o
平均 ^o	3.000 ^o	0 ^o	2.9995 ^o	0.0010392 3 ^o	2.0015 ^o	0.0031176 91 ^o	2.4515 ^o	0.0088791 89 ^o
μ_x ^o	0.011 ^o		0.001443376 ^o		0.00284312 ^o		0.007488881 ^o	

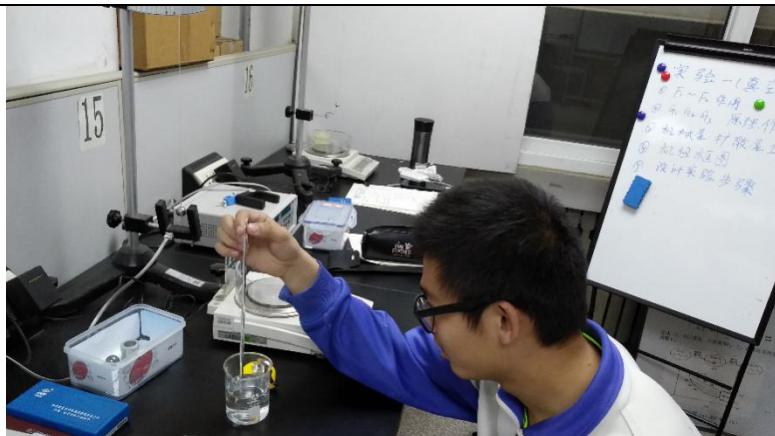
【误差分析】

次数	1	2	平均
D _{ix}	2.222	2.222	2.222
D _{iy}	2.222	2.222	2.222
D _{iz}	2.222	2.222	2.222
S _{Di} =0	S _D =0	$\mu_{aD}=0.00005$	

1. 仪器本身误差

2. 观测时产生的误差

第三章 大学基础实验



3.8 直流单臂电桥（惠斯登电桥）与直流双臂电桥（凯尔文电桥）

孟越直流单臂电桥（惠斯登电桥）实验报告

指导教师：宋锋教授 任杨阳博士

实验时间：2018 年 5 月 22 日

一、实验目的

- 1、掌握电桥测量电阻的原理和方法。
- 2、了解电桥的测量精确度所依赖的条件。
- 3、学会使用箱式电桥。

二、实验原理

- 1、直流单臂电桥的原理性电路如图 1 所示

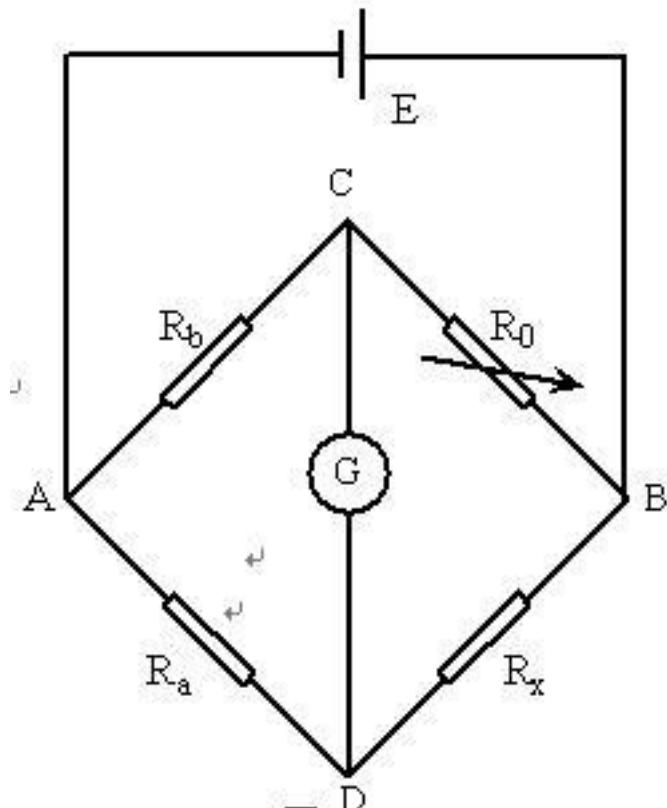


图 1

其适用范围：中等阻值的电阻 ($10\text{--}10^5 \Omega$)。

第三章 大学基础实验

2、方法及测量公式

适当调整 R_0 值，可使 C、D 两点电位相同，检流计中无电流通过，这时称电桥达到平衡，在电桥平衡时有：

$$R_a I_a = R_b I_b \quad R_x I_x = R_0 I_0 \quad \text{且 } I_a = I_x \quad I_b = I_0$$

$$R_x = \frac{R_a}{R_b} R_0$$

整理后可得：令 $C = \frac{R_a}{R_b}$ ，则： $R_x = CR_0$

3、如何适当选取比例臂倍率

显然 R_0 调节位数越多，对电桥的平衡调节越精细，由此给测量带来的误差就越小。为此在测量时要恰当地选取倍率 C，以使 R_0 调节的有效位数尽量多。例如，本实验中 R_0 是一只四钮电阻箱，调节范围为 $1\sim 9999\Omega$ ，最小调节量为 1Ω ；待测电阻 R_x 为 1200Ω 左右。由 $R_x = CR_0$ 可知。只要选取 $C=1$ 时， R_0 的四个旋钮才都能用上，使电桥的平衡精细到四位有效数字。若采用内插法精确判断平衡，可获得五位有效数字。

4、电桥灵敏度概念及影响因素

检流计的电流常数（即分度值，表示检流计偏转一格所需通过它的电流，单位 $A/格$ ）是有限的。电流灵敏度的概念定义为： $S = \frac{\Delta n}{\Delta R_x / R_x}$ 或 $S = \frac{\Delta n}{\Delta R_0 / R_0}$ ，

式中 R_0 是电桥平衡时的阻值； ΔR_0 是电桥平衡后 R_0 的微小改变量； Δn 是电桥偏离平衡而引起检流计偏转的格数。故由电桥灵敏度引入被测量 R_x 的相对误差为：

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta n}{S}$$
，可见电桥灵敏度越大，电桥越灵敏，判断越精细，误差也就越小，

即提高了测量精度。电桥灵敏度 S 也可由基尔霍夫定律推出。若忽略电源电阻，其表达式为：

$$S = \frac{E}{K[(R_a + R_b + R_0 + R_x) + (2 + R_b/R_0 + R_x/R_a)R_g]}，\text{ 式中 } K、R_g \text{ 分别为检流计}$$

的电流常数和内阻。由此可见，适当提高电源电压 E、选择电流常数 K 和内阻

第三章 大学基础实验

R_g 适当小的检流计、适当减小桥臂电阻 ($R_a + R_b + R_0 + R_x$) 、尽量把桥臂配置成均压状态（即四臂电压相等），使上式中的 $(2 + R_b/R_0 + R_x/R_a)$ 值最小。

5、什么是换臂法

当选取倍率 $C=1$ 进行测量时，可方便地采用换臂法完全消除倍率 C 的误差。参看图 1，若电桥平衡时比较臂为 R'_0 ，将 R_a 、 R_b （或 R_0 、 R_x ）交换位置后，电桥再次平衡时比较臂为 R''_0 ，则待测电阻 R_x 为： $R_x = \sqrt{R'_0} \cdot \sqrt{R''_0} \approx \frac{1}{2}(R'_0 + R''_0)$

三、主要仪器用具

JK01 型直流稳压电源、FB3081 型直流数显微电流计、四钮电阻箱（调节范围 $1\sim 9999\Omega$ ），最小调节 1Ω 、导线若干、电阻若干。

四、数据处理

1、测未知电阻 R_l （约 1200Ω ）及灵敏度

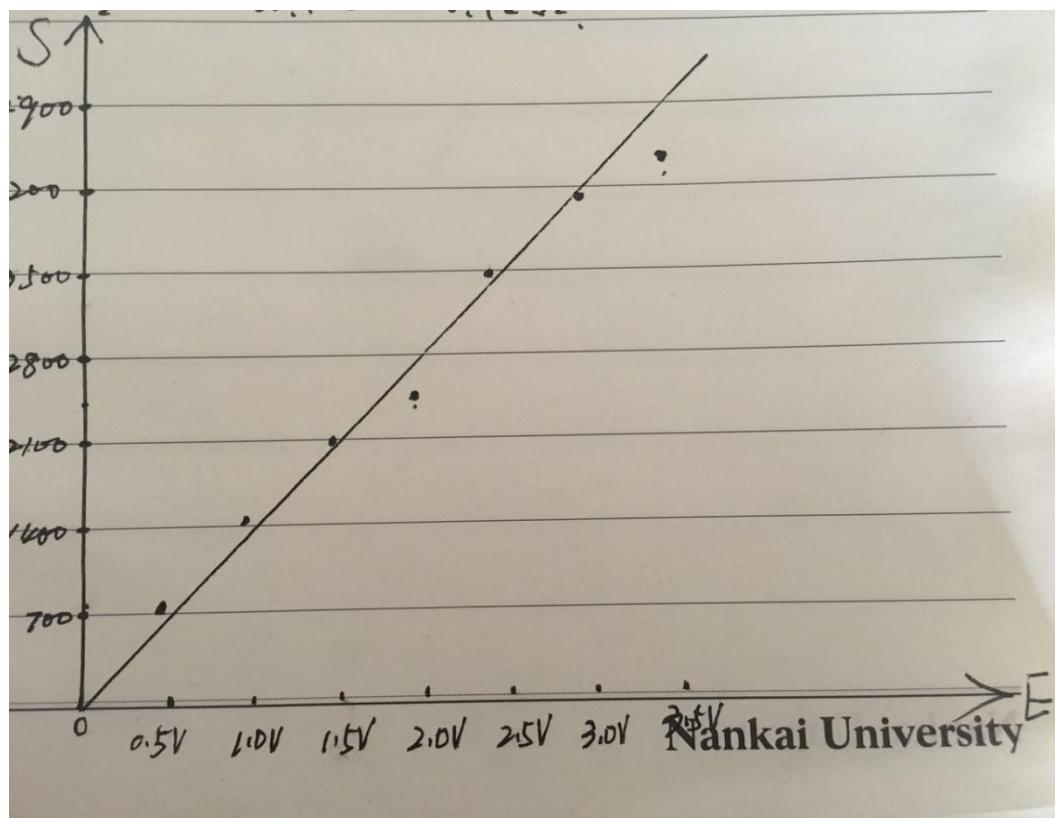
依据情况，选取 $R_a=100\Omega$ $R_b=100\Omega$ 比例倍率 $C=1$

电桥状态	R_0	R_l	ΔR_0	ΔI	S_l
换臂前	1296Ω	1296Ω	1	$3.2mA$	4147.2
换臂后	1297Ω	1297Ω	1	$2.9mA$	3761.3
$R_l = 1296.5\Omega \pm 1.8\Omega$					

2、观察电桥灵敏度与电源电压的关系

取 $R_a=R_b=100\Omega$ ， $R_x=1200\Omega$ ，改变电源电压 E ，测不同电压下电桥灵敏度，并作 $S-E$ 关系图。

E	0.5V	1.0V	1.5V	2.0V	2.5V	3.0V	3.5V
ΔR_0	1	1	1	1	1	1	1
ΔI	0.6	1.1	1.5	1.9	2.7	3.2	3.4
S	777.6	1425.6	1944.0	2467.4	3499.2	4147.2	4406.4



3、测未知电阻 R₂(约 51 Ω)及灵敏度

$$R_a = 10 \Omega \quad R_b = 100 \Omega \quad C = 0.01$$

电桥状态	R ₀	R ₂	ΔR ₀	ΔI	S ₂
数据记录	5092 Ω	50.92 Ω	1 Ω	1.5mA	7642.5
$R_2 = 50.92 \Omega \pm 0.12 \Omega$					

第三章 大学基础实验



第三章 大学基础实验
孙勣举直流单臂电桥实验报告

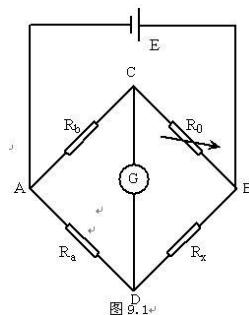
一、实验目的：

1. 掌握电桥测量电阻的原理和方法。
2. 了解电桥测量精确度所依赖的条件
3. 学会使用箱式电桥。

二. 原理：

1. 电阻的测量

直流单臂电桥的原理性电路如图所示。



它是由四个电阻 R_a 、 R_b 、 R_0 、 R_X 联成一个四边形回路，这四个电阻称做电桥的四个“臂”在这个四边形回路的一条对角线的顶点间接入直流工作电源，另一条对角线的顶点间接入检流计，这个支路一般称做“桥”。适当地调节 R_0 值，可使 C 、 D 两点电位相同，检流计中无电流流过，这时称电桥达到了平衡。在电桥平衡时有：

$$R_a/R_b = R_0/R_X$$

$$RXIX=ROI0$$

且 $I_a=IX, I_b=I_0$

则上式整理可得

$$R_x = \frac{R_a}{R_b} R_0$$

为了计算方便，通常把 R_a/R_b 的比值选作成 10^n ($n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$)。

令 $C=R_a/R_b$, 则: $RX=CR0$

可见电桥平衡时,由已知的 R_a 、 R_b (或 C) 及 R_0 值便可算出 RX 。人们常把 R_a 、 R_b 称做比例臂, C 为比例臂的倍率; R_0 称做比较臂; RX 称做待测臂。

2. 电桥灵敏度概念及影响因素

检流计的电流常数 (即分度值, 表示检流计偏转一格所需通过它的电流, 单位

$A/\text{格}$) 是有限的。电流灵敏度的概念定义为: $S = \frac{\Delta n}{\Delta R_x / R_x}$ 或 $S = \frac{\Delta n}{\Delta R_0 / R_0}$, 式中 R_0

是电桥平衡时的阻值; ΔR_0 是电桥平衡后 R_0 的微小改变量; Δn 是电桥偏离平衡而引起检流计偏转的格数。故由电桥灵敏度引入被测量 Rx 的相对误差为:

$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta n}{S}$, 可见电桥灵敏度越大, 电桥越灵敏, 判断越精细, 误差也就越小, 即提高了测量精度。电桥灵敏度 S 也可由基尔霍夫定律推出。若忽略电源电阻, 其表达式为:

$$S = \frac{E}{K[(R_a + R_b + R_0 + R_x) + (2 + R_b/R_0 + R_x/R_a)R_g]}$$

第三章 大学基础实验

式中 K 、 R_g 分别为检流计的电流常数和内阻。由此可见，适当提高电源电压 E 、选择电流常数 K 和内阻 R_g 适当小的检流计、适当减小桥臂电阻 ($R_a+R_b+R_0+R_x$)、尽量把桥臂配置成均压状态（即四臂电压相等），使上式中的 $(2+R_b/R_0+R_x/R_a)$ 值最小。

3. 换臂法

当选取倍率 $C=1$ 进行测量时，可方便地采用换臂法完全消除倍率 C 的误差。参看图 1，若电桥平衡时比较臂为 R'_0 ，将 R_a 、 R_b （或 R_0 、 R_x ）交换位置后，电桥再

次平衡时比较臂为 R''_0 ，则待测电阻 R_x 为：
$$R_x = \sqrt{R'_0} \cdot \sqrt{R''_0} \approx \frac{1}{2}(R'_0 + R''_0)$$

二、实验仪器：

JK01 型直流稳压电源、FB3081 型直流数显微电流计，比例臂电阻四个（ 10Ω ， 100Ω ， 100Ω ， 1000Ω ），四钮电阻箱（调节范围 $1\sim 9999\Omega$ ），待测电阻两个，导线若干。

三、数据处理

1、测量电阻（约 1200Ω ）

$$R_a=100\Omega \quad R_b=100\Omega \quad C=1$$

$$\rho_c = 0.1\% \quad \rho_0 = 0.1\% \quad \text{换臂前 } \rho_x = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_c^2 + \left(\frac{0.1}{s}\right)^2} = 0.143129$$

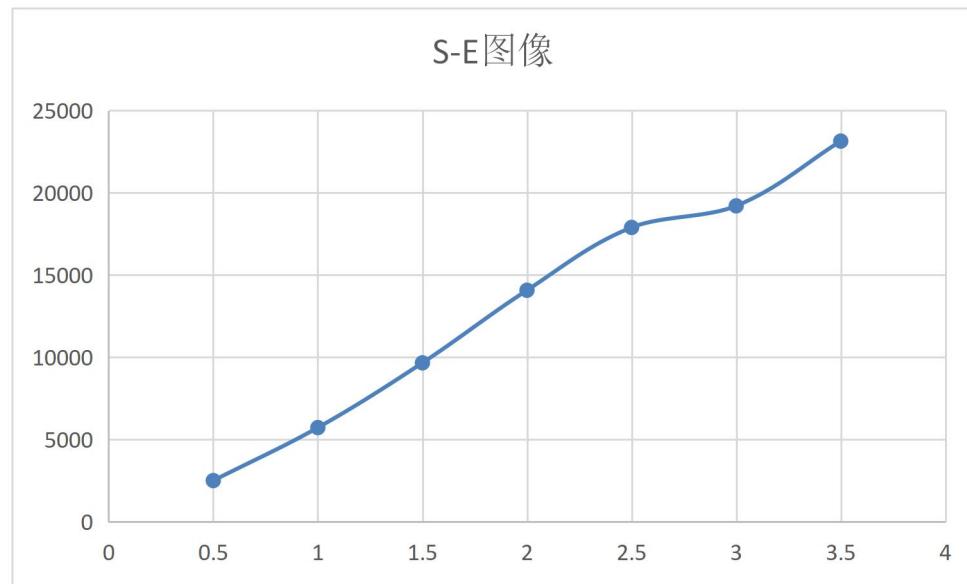
电桥状态	R_0	R_1	ΔR_0	ΔI	S_1
换臂前	1194Ω	1200Ω	1	$2.1mA$	2057.4
换臂后	1193Ω	1200Ω	1	$1.9mA$	2266.7

第三章 大学基础实验

R₁=1193.5 Ω ± 0.1 Ω

2、观察电桥灵敏度与电源电压的关系

E	0.5V	1.0V	1.5V	2.0V	2.5V	3.0V	3.5V
ΔR ₀	1	1	1	1	1	1	1
ΔI	2.1	4.8	8.1	11.8	15.0	16.1	19.4
S	2505.3	5726.4	9663.3	14077. 4	17895	19207. 3	23144. 2



3.

R_a=10 Ω R_b=1000 Ω C=0.01

$$\rho_c = 0.1\% \quad \rho_0 = 0.1\% \quad \text{换臂前 } \rho_x = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_c^2 + \left(\frac{0.1}{s}\right)^2} = 0.1420578$$

第三章 大学基础实验

电桥状态	R0	R1	Δ R0	Δ I	S1
换臂前	5038	51	1	1.1mA	5541.8
$R1=5038.0\Omega \pm 0.1\Omega$					



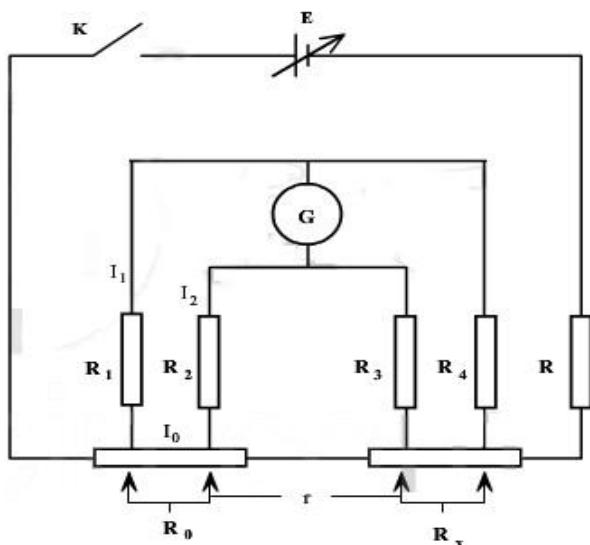
孙勣举直流双臂电桥(凯尔文电桥)

一、实验目的

- 1 了解低电阻的结构特点
- 2 掌握双臂电桥测量低阻的原理和方法。

二、实验原理

一般惠斯登电桥只宜测几欧姆至几兆欧姆范围内的电阻, 阻值再小的电阻, 由于有接触电阻和接线电阻的存在, 会给测量带来很大的误差, 尤其是当这些附加电阻和待测电阻可以比拟时, 测量误差就更大了。为了消除这些附加电阻的影响, 人们常把低阻做成四端结构, 并采用直流双臂电桥进行测量。



测量电路如图所示, 其中 R 为标准低阻, R_x 为待测低阻。四个比例臂电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 (具有双比例臂, 这便是“双臂电桥”名称的由来)一般都有意做成几十欧姆以上的阻值, 因此它们所在桥臂中接线电阻和接触电阻的影响便可忽略。两个低阻相邻电压接头间的电阻设为 r , 常称作“跨桥电阻”。当检流计 G 指零时, 电桥达到平衡, 于是由基尔霍夫定律可写出下面三个回路方程:

$$\left. \begin{array}{l} I_1 R_1 = I_0 R_0 + I_2 R_2 \\ I_1 R_3 = I_0 R_x + I_2 R_4 \\ (I_0 - I_2)r = I_2 (R_2 + R_4) \end{array} \right\} \quad (1)$$

式中 I_1 、 I_0 、 I_2 分别为电桥平衡时通过电阻 R_1 、 R_0 、 R_4 的电流。将 (1) 式整理有：

$$R_x = R_0 + (R_3 R_2 - R_1 R_4) \frac{r}{(r + R_2 + R_4)} \quad (2)$$

如果电桥的平衡是在保证 $R_3 R_2 - R_1 R_4 = 0$ ，即 $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2}$ 的条件下调得的，那么 (2) 式

则简化为：

$$R_x = \frac{R_3}{R_1} R_0 \quad (3)$$

三、实验仪器

DF1709SB 型电源，ZKYnA 电流检测仪器，标准地租 R_0 ：阻值 0.001Ω ，准确度 0.05 级，固定电阻 $R_1=R_2$ 阻值： 1000Ω ，准确度 0.1 级，FBZX21 电阻箱，准确度 0.1 级。

四、数据处理

1 铜、铁、铝棒电阻率测量

材料	长度
铜	40.00 ± 0.17
铁	40.00 ± 0.17
铝	40.00 ± 0.17

2 铜铁铝棒的直径测量：

第三章 大学基础实验

次数	铜	铁	铝
1	0.494	0.468	0.456
2	0.498	0.464	0.456
3	0.492	0.464	0.456
4	0.498	0.458	0.456
5	0.488	0.464	0.454
平均值	0.494	0.464	0.456

$$d_{\text{铜}} = 0.494 \pm 0.003 \text{ cm}$$

$$d_{\text{铁}} = 0.494 \pm 0.002 \text{ cm}$$

$$d_{\text{铝}} = 0.456 \pm 0.001 \text{ cm}$$

3 调节电桥平衡

电桥状态	$R_3=R_4$ (Ω)	R_x (Ω)	$\Delta R_3 = \Delta R_4$ (Ω)	ΔI (nA)	s
铜	365.0	0.365	10	13	280.76923 08
铁	14935.0	14.935	200	11	271545.45

第三章 大学基础实验

					45
铝	840.0	0.84	10	7	1200

$$R_{\text{铜}} = 0.365 \pm 0.001$$

$$R_{\text{铁}} = 14.935 \pm 0.022$$

$$R_{\text{铝}} = 0.840 \pm 0.001$$

4 计算电阻率

$$\rho_{\text{铜}} = 2.80 \pm 0.03 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

$$\rho_{\text{铁}} = 0.00010 \pm 0.00001 \Omega \cdot \text{m}$$

$$\rho_{\text{铝}} = 5.48 \pm 0.03 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

第四章 深入高校实验室

4.1 NaYF₄:RE 荧光粉的制备

耿逸然英才计划活动报告

指导教师：宋锋教授 任阳杨导师 巨丹丹老师

主题：NaYF₄:RE 荧光粉的制备

时间：2018年5月6日

地点：南开大学泰达学院

稀土荧光粉美好前景

稀土荧光粉的应用：作为荧光材料的主要的一部分，其工业制备技术成熟，性能优良，用途广泛，产品多样。主要用于现代照明光源，交通信号灯，汽车状态显示，荧光屏产业。故其制备工业有待完善及系统化，荧光粉的制备也需大量创新。

实验原理

1. 荧光粉由基体，激活剂，溶剂构成
2. 基体的激活原理：电子跃迁：电子跃迁本质上是组成物质的粒子（原子、离子或分子）中电子的一种能量变化。根据能量守恒原理，粒子的外层电子从低能级转移到高能级的过程中会吸收能量；从高能级转移到低能级则会释放能量。能量为两个轨道能量之差的绝对值。

在没有外界辐射（光）激励的情况下，电子从高能级转移到低能级并释放出光子，称为自发辐射。因为自发辐射具有随机性，所以这种情况辐射出的光的相位也是随机的。而且光强较弱，称为荧光。在有外界辐射（光）激励的情况下，电子从高能级转移到低能级并释放出光子，称为受激辐射。由于受激辐射是由外界入射光子引起的，所以电子跃迁产生光子与入射光子具有相关性。即入射光与辐射光的相位相同。如果这一过程能够在物质中反复进行，并且能用其他方式不断补充因物质产生光子而损失的能量。那么产生的光就是激光。

第四章 深入高校实验室

稀土元素有许多电子层及电子亚层，处于 5d、6s、4f 等层上的电子在正常状态下处于基态，当它们从外界吸收光子时会达到激发态，电子跃迁到更高的能级。电子不能长时间处于激发态，它会跃迁回低能级。如果两个能级相近，则电子做无辐射跃迁释放能量；如果两个能级不相近则电子做辐射跃迁，释放光子，释放出的光的能量可能与激发电子的光能量不同，两种不同能量的光的波长会有差异。因此，当用近红外光或紫外光照射时，不同的粉末会发出不同颜色的可见光。其中涉及上转换、下转换、下迁移等过程。

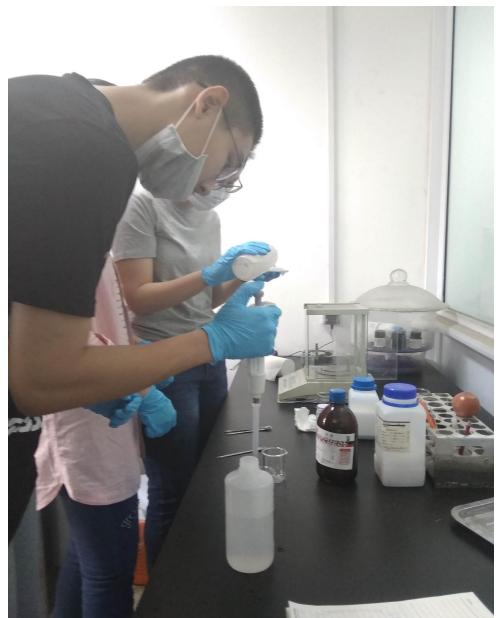
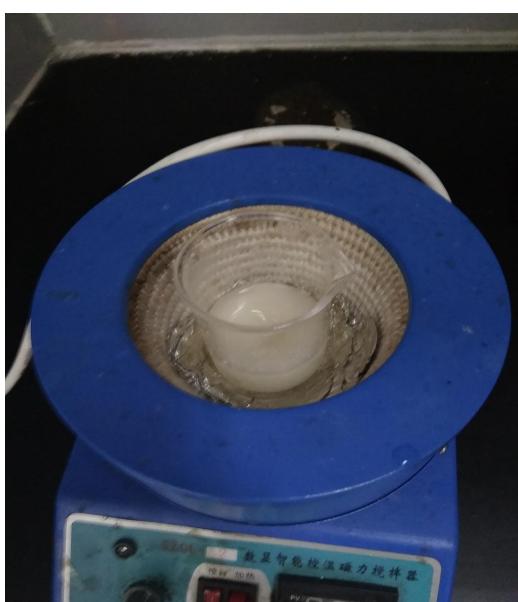
通过化学合成的方法可以制备出含有稀土元素的粉末或溶液。粉末在微观状态下呈现出棒状、空心管状等不同形状，经过一些处理后还可得到核壳结构。制得的粉末在日常的生活及科学的研究中有着广泛的应用。

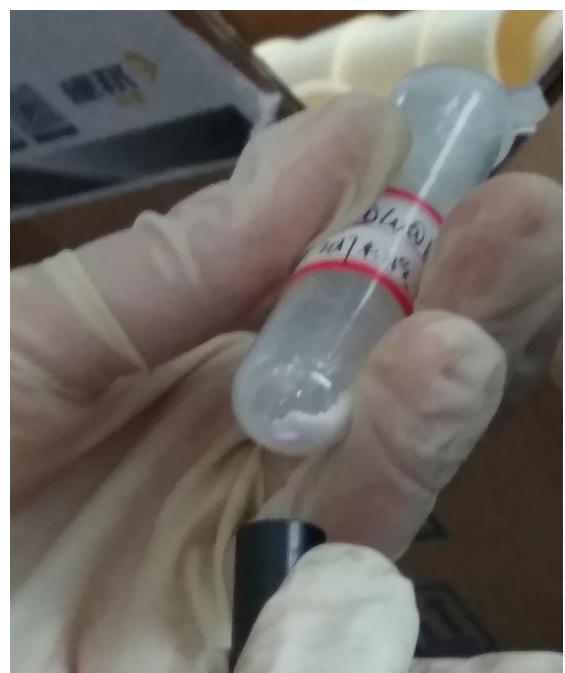
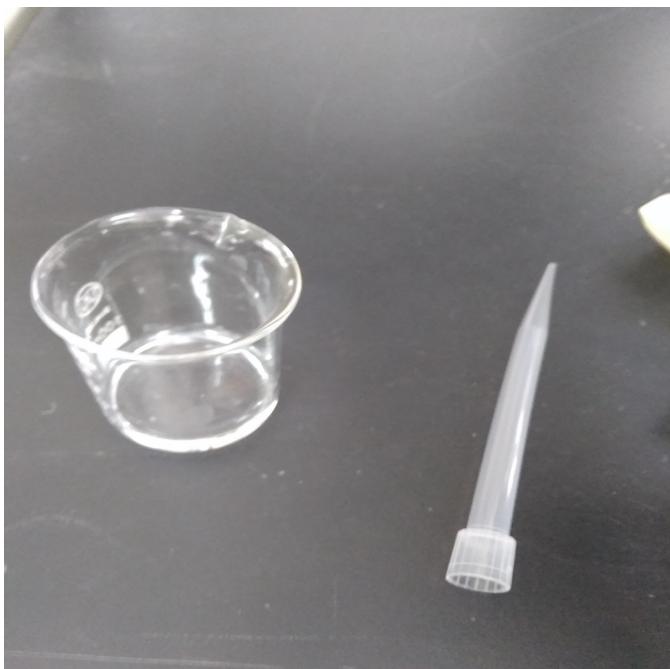
实验材料及制备步骤

实验材料

药品：（以本次实验为例）无水乙醇 12.5ml，油酸 12.5ml，稀 土溶液 5ml，氟化氨，氢氧化钠（固体）0.75g，纯水 3.75ml 等。

器材：烧杯，高温反应釜及相关物品、移液枪（五毫升为好，一毫升的次之），





电子天平，搅拌子等。

实验步骤

- 1) 将各药品（除油酸外）按顺序加入烧杯，固体易溶且放热，故轻微震荡即可溶解。
- 2) 用搅拌子一边搅拌一边加入油酸，溶液变为乳黄（白）色则为正常（搅拌子速率要合适，以防液滴飞溅或搅拌效率低下）
- 3) 搅拌后将所得的液体恒温加热。
- 4) 处理废液。
- 5) 理论预估产物： $\text{NaYF}_4:\text{RE}$ 荧光粉（将 RE 掺杂在 NaYF_4 中）
(由于时间所限，实际产物的化学成分不定，可能由于操作或所用材料的细节差异导致实验的失败)

三、思考题

- 1、选用稀土作为发光粒子的原因？

答：（背景：稀土元素包括镧系元素和钇、钪，共 17 种元素。稀土元素是 18 世纪沿用下来的名称，因为当时认为这些元素稀有，它们的氧化物既难溶又难

熔，因而得名。稀土元素性质相似，并在矿物中共生，难以分离。化学性质有燃点低；比其他金属元素都活泼；氧化物稳定，熔点高。

本实验中的 Y (钇)：钇是一种银色的具有金属光泽的稀土金属，与热水能起反应，易溶于稀酸，它在空气中相当稳定，化学上它的特性与镧相似。钇的碎屑在空气中摄氏 400 度以上可以自燃，它的粉末在空气中很不稳定。



总体原因如下

- 1) 稀土元素极化力强，化学性质活泼，能水解；
 - 2) 稀土元素原子的电子能级丰富，电价高，半径大；
 - 3) 稀土元素电子层结构中存在 4f 轨道，当 4f 轨道上的电子从高能级发生辐射跃迁至低能级时会发出不同波长的光。
- 2、上转换过程 (UC) 、下转换过程 (DC) 、下迁移过程 (downshift) 的概念。
- 1) 上转换过程 (UC)：由低能光子激发出高能光子的过程；
 - 2) 下转换过程 (DC)：由高能光子激发出低能光子的过程；
 - 3) 下迁移过程 (downshift)：又称渗移，泳移。在场的作用下，物质的分子、离子或其他粒子等沿一定方向的运动。场可以是电场、磁场、重力场或离心力场、浓度场等。

例如在电场下的迁移是电泳；在浓度场下的迁移是分子扩散；在重力场下的迁移是沉降；在温度场下的迁移是热扩散。

第四章 深入高校实验室

3、什么是泵浦光（激发光）和发射光？

答：1) 泵浦光（激发光）：泵浦是一种使用光将电子从原子或分子中的较低能级升高（或“泵”）到较高能级的过程。通常用于激光结构，泵浦激光介质以实现群体反转。泵浦光就是使电子跃迁到高能级的光。

发射光：当金属表面接受光辐射时，可使金属表面自由电子能量增加，冲破金属表面的制约飞到金属外面来，这种现象称为光发射。这里为跃迁时发出的光。为什么不同稀土粒子激发光波段不同？

答：1) 稀土元素的原子具有未充满的受到外界屏蔽的4f-5d电子组态，因此有丰富的电子能级和长寿命激发态，能级跃迁通道多达20余万个，可以产生多种多样的辐射吸收和发射，构成广泛的发光和激光材料。

稀土粒子中发生跃迁的电子主要是4f轨道上的电子，由于外层5s、5p的电子屏蔽，稀土粒子几乎不与基质作用。发射光谱为一系列锐带光谱，限制了激发光波；

不同的稀土粒子4f轨道上的电子跃迁所需的能量不同，在不同波长光的激发下电子的跃迁情况也有所不同。

Er在980nm激发下可以发光，为什么额外再添加Yb？

答：1) Yb³⁺离子在980nm附近有远大于Er³⁺离子的吸收截面，额外再添加Yb³⁺离子可以起到敏化作用，通过Yb³⁺离子的敏化作用和Er的能量传递，可以大大提高光的放大效率

常见稀土元素(Er、Tm、Tb、Eu、Dy)上(下)转换发光波段及对应颜色。（此题未能找到精确数据，所列波长为读图结果）

稀土元素	发光波段(nm)	发光颜色
Er	400	紫光
	530	绿光
	650	红光
Tm	290-350	紫外光

第四章 深入高校实验室

	700–800	红外光
Tb	550	绿光
	580	黄光
	480	蓝光
Eu	580	黄光
	610	红光
	700	红光
Dy	480	蓝光
	590	黄光

耿浩然英才计划活动报告

指导教师：宋锋教授 任阳杨导师 巨丹丹老师

一，实验原理

1. 荧光粉由基体，激活剂，溶剂构成

2. 基体的激活原理：电子跃迁：电子跃迁本质上是组成物质的粒子（原子、离子或分子）中电子的一种能量变化。根据能量守恒原理，粒子的外层电子从低能级转移到高能级的过程中会吸收能量；从高能级转移到低能级则会释放能量。能量为两个轨道能量之差的绝对值。

在没有外界辐射（光）激励的情况下，电子从高能级转移到低能级并释放出光子，称为自发辐射。因为自发辐射具有随机性，所以这种情况辐射出的光的相位也是随机的。而且光强较弱，称为荧光。在有外界辐射（光）激励的情况下，电子从高能级转移到低能级并释放出光子，称为受激辐射。由于受激辐射是由外界入射光子引起的，所以电子跃迁产生光子与入射光子具有相关性。即入射光与辐射光的相位相同。如果这一过程能够在物质中反复进行，并且能用其他方式不断补充因物质产生光子而损失的能量。那么产生的光就是激光。

稀土元素有许多电子层及电子亚层，处于 5d、6s、4f 等层上的电子在正常状态下处于基态，当它们从外界吸收光子时会达到激发态，电子跃迁到更高的能级。电子不能长时间处于激发态，它会跃迁回低能级。如果两个能级相近，则电子做无辐射跃迁释放能量；如果两个能级不相近则电子做辐射跃迁，释放光子，释放出的光的能量可能与激发电子的光能量不同，两种不同能量的光的波长会有差异。因此，当用近红外光或紫外光照射时，不同的粉末会发出不同颜色的可见光。其中涉及上转换、下转换、下迁移等过程。

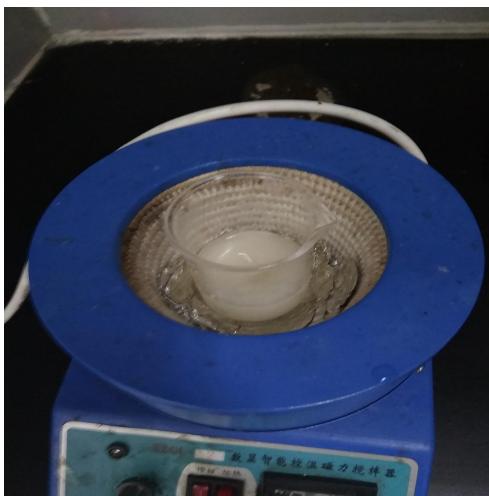
通过化学合成的方法可以制备出含有稀土元素的粉末或溶液。粉末在微观状态下呈现出棒状、空心管状等不同形状，经过一些处理后还可得到核壳结构。制得的粉末在日常的生活及科学的研究中有着广泛的应用。

二，实验材料及制备步骤

实验材料

药品：（以本次实验为例）无水乙醇 12.5ml, 油酸 12.5ml, 稀 土溶液 5ml, 氟化氨, 氢氧化钠（固体）0.75g, 纯水 3.75ml 等。

器材：烧杯，高温反应釜及相关物品、移液枪（五毫升为好，一毫升的次之），电子天平，搅拌子等。



实验步骤

- 1) 将各药品（除油酸外）按顺序加入烧杯，固体易溶且放热，故轻微震荡即可溶解。
- 2) 用搅拌子一边搅拌一边加入油酸，溶液变为乳黄（白）色则为正常（搅拌子速率要合适，以防液滴飞溅或搅拌效率低下）
- 3) 搅拌后将所得的液体恒温加热。
- 4) 处理废液。
- 5) 理论预估产物： $\text{NaYF}_4:\text{RE}$ 荧光粉（将 RE 掺杂在 NaYF_4 中）
(由于时间所限，实际产物的化学成分不定，可能由于操作或所用材料的细节差异导致实验的失败)



三、思考题

1、选用稀土作为发光粒子的原因？

答：（背景：稀土元素包括镧系元素和钇、钪，共 17 种元素。稀土元素是 18 世纪沿用下来的名称，因为当时认为这些元素稀有，它们的氧化物既难溶又难熔，因而得名。稀土元素性质相似，并在矿物中共生，难以分离。化学性质有燃点低；比其他金属元素都活泼；氧化物稳定，熔点高。

本实验中的 Y (钇)：钇是一种银色的具有金属光泽的稀土金属，与热水能起反应，易溶于稀酸，它在空气中相当稳定，化学上它的特性与镧相似。钇的碎屑在空气中摄氏 400 度以上可以自燃，它的粉末在空气中很不稳定。

总体原因如下

- 1) 稀土元素极化力强，化学性质活泼，能水解；
 - 2) 稀土元素原子的电子能级丰富，电价高，半径大；
 - 3) 稀土元素电子层结构中存在 4f 轨道，当 4f 轨道上的电子从高能级发生辐射跃迁至低能级时会发出不同波长的光。
- 2、上转换过程 (UC) 、下转换过程 (DC) 、下迁移过程 (downshift) 的概念。
- 1) 上转换过程 (UC)：由低能光子激发出高能光子的过程；
 - 2) 下转换过程 (DC)：由高能光子激发出低能光子的过程；

3) 下迁移过程 (downshift) : 又称渗移, 泳移。在场的作用下, 物质的分子、离子或其他粒子等沿一定方向的运动。场可以是电场、磁场、重力场或离心力场、浓度场等。

例如在电场下的迁移是电泳; 在浓度场下的迁移是分子扩散; 在重力场下的迁移是沉降; 在温度场下的迁移是热扩散。

3、什么是泵浦光 (激发光) 和发射光?

答: 1) 泵浦光 (激发光) : 泵浦是一种使用光将电子从原子或分子中的较低能级升高 (或“泵”) 到较高能级的过程。通常用于激光结构, 泵浦激光介质以



实现群体反转。泵浦光就是使电子跃迁到高能级的光。

发射光: 当金属表面接受光辐射时, 可使金属表面自由电子能量增加, 冲破金属表面的制约飞到金属外面来, 这种现象称为光发射。这里为跃迁时发出的光。

为什么不同稀土粒子激发光波段不同?

答: 1) 稀土元素的原子具有未充满的受到外界屏蔽的 4f-5d 电子组态, 因此有丰富的电子能级和长寿命激发态, 能级跃迁通道多达 20 余万个, 可以产生多种多样的辐射吸收和发射, 构成广泛的发光和激光材料。

稀土粒子中发生跃迁的电子主要是 4f 轨道上的电子, 由于外层 5s、5p 的电子屏蔽, 稀土粒子几乎不与基质作用。发射光谱为一系列锐带光谱, 限制了激发

光波；

不同的稀土粒子 4f 轨道上的电子跃迁所需的能量不同，在不同波长光的激发下电子的跃迁情况也有所不同。

Er 在 980nm 激发下可以发光，为什么额外再添加 Yb?

答：1) Yb^{3+} 离子在 980nm 附近有远大于 Er^{3+} 离子的吸收截面，额外再添加 Yb^{3+} 离子可以起到敏化作用，通过 Yb^{3+} 离子的敏化作用和 Er 的能量传递，可以大大提高光的放大效率

常见稀土元素 (Er、Tm、Tb、Eu、Dy) 上 (下) 转换发光波段及对应颜色。（此题未能找到精确数据，所列波长为读图结果）

稀土元素	发光波段 (nm)	发光颜色
Er	400	紫光
	530	绿光
	650	红光
Tm	290–350	紫外光
	700–800	红外光
Tb	550	绿光
	580	黄光
	480	蓝光
Eu	580	黄光
	610	红光
	700	红光
Dy	480	蓝光
	590	黄光

孙勣举英才计划活动报告

一、实验原理

稀土元素有许多电子层及电子亚层，处于 5d、6s、4f 等层上的电子在正常状态下处于基态，当它们从外界吸收光子时会达到激发态，电子跃迁到更高的能级。电子不能长时间处于激发态，它会跃迁回低能级。如果两个能级相近，则电子做无辐射跃迁释放能量；如果两个能级不相近则电子做辐射跃迁，释放光子，释放出的光的能量可能与激发电子的光能量不同，两种不同能量的光的波长会有差异。因此，当用近红外光或紫外光照射时，不同的粉末会发出不同颜色的可见光。其中涉及上转换、下转换、下迁移等过程。

通过化学合成的方法可以制备出含有稀土元素的粉末或溶液。粉末在微观状态下呈现出棒状、空心管状等不同形状，经过一些处理后还可得到核壳结构。制得的粉末在日常的生活及科学的研究中有着广泛的应用。

二、实验材料及制备步骤

1、实验材料

1) 药品：氢氧化钠 0.75g，纯水 3.75ml，无水乙醇 12.5ml，油酸 12.5ml，稀土溶液 5ml，氟化氨 2.5mL

2) 器材：烧杯、移液枪，电子天平，磁力搅拌器，高温反应釜。

2、实验条件： 220℃、加热 12 小时

3、目标产物：NaYF₄:RE 荧光粉（将 RE 掺杂在 NaYF₄ 中）

4、实验步骤

1) 称量，量取氢氧化钠 0.75g，纯水 3.75ml，无水乙醇 12.5ml 倒入烧杯并混匀。

2) 用磁力搅拌器一边搅拌一边加入油酸 12.5ml。

3) 搅拌后将所得的液体恒温 220℃ 加热。

4) 处理废液。

三、思考题

1、选用稀土作为发光粒子的原因？

答：因为稀土元素原子的电子构型中存在 4f 轨道，当 4f 电子从高的能级以辐射驰骋的方式跃迁至低能级时就发出不同波长的光。稀土元素原子具有丰富的电子能级，为多种能级跃迁创造了条件，从而获得多种发光性能。稀土发光材料优点是发光谱带窄，色纯度高色彩鲜艳；吸收激发能量的能力强，转换效率高；发射光谱范围宽，从紫外到红外；荧光寿命从纳秒跨越到毫秒 6 个数量级，磷光最长达十多个小时；材料的物理化学性能稳定，能承受大功率的电子束，高能射线和强紫外光的作用等。

2、上转换过程（UC）、下转换过程（DC）、下迁移过程（downshift）的概念。

上转换过程（UC）：由低能光子激发出高能光子的过程；

下转换过程（DC）：由高能光子激发出低能光子的过程；

下迁移过程（downshift）：又称渗移，泳移。在场的作用下，物质的分子、离子或其他粒子等沿一定方向的运动。场可以是电场、磁场、重力场或离心力场、浓度场等。

2、什么是泵浦光（激发光）和发射光？

答：泵浦光（激发光）：泵浦是一种使用光将电子从原子或分子中的较低能级升高（或“泵”）到较高能级的过程。泵浦光就是使电子跃迁到高能级的光。

发射光：电子跃迁回低能级时发出的光。

4、为什么不同稀土粒子激发光波段不同？

稀土元素的原子具有未充满的受到外界屏蔽的 4f-5d 电子组态，因此有丰富的电子能级和长寿命激发态，能级跃迁通道多达 20 余万个，可以产生多种多样的辐射吸收和发射，构成广泛的发光和激光材料。

稀土粒子中发生跃迁的电子主要是 4f 轨道上的电子，由于外层 5s、5p 的电子屏蔽，稀土粒子几乎不与基质作用。发射光谱为一系列锐带光谱，限制了激发光波；

第四章 深入高校实验室

不同的稀土粒子 4f 轨道上的电子跃迁所需的能量不同，在不同波长光的激发下电子的跃迁情况也有所不同。

5、Er 在 980nm 激发下可以发光，为什么额外再添加 Yb?

答：Yb³⁺离子在 980nm 附近有远大于 Er³⁺离子的吸收截面，额外再添加 Yb³⁺离子可以起到敏化作用，通过 Yb³⁺离子的敏化作用和 Er 的能量传递，可以大大提高光的发光效率

6、常见稀土元素 (Er、Tm、Tb、Eu、Dy) 上 (下) 转换发光波段及对应颜色。

离子	能层	波长 (nm)
Tm ³⁺	$^1\text{I}_6 \rightarrow ^3\text{H}_6$	289
Dy ³⁺	$^6\text{H}_{15/2} \rightarrow ^4\text{K}_{13/2}$	294
Dy ³⁺	$^6\text{H}_{15/2} \rightarrow ^4\text{M}_{15/2}$	350
Tm ³⁺	$^1\text{I}_6 \rightarrow ^3\text{F}_4$	354
Tm ³⁺	$^1\text{D}_2 \rightarrow ^3\text{H}_6$	361.5
Tm ³⁺	$^1\text{D}_2 \rightarrow ^3\text{F}_4$	450
Tm ³⁺	$^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$	475.5
Tb ³⁺	$^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_6$	488
Er ³⁺	$^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	520
Er ³⁺	$^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	543
Tb ³⁺	$^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$	543
Tb ³⁺	$^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_4$	588
Eu ³⁺	$^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$	585
Eu ³⁺	$^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$	611

第四章 深入高校实验室

Eu^{3+}	$^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$	618
Er^{3+}	$^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	801
Eu^{3+}	$^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$	618
Tm^{3+}	$^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$	802.5

牛厚朴英才计划活动报告

一、 实验原理

稀土元素有许多电子层及电子亚层，处于 5d、6s、4f 等层上的电子在正常状态下处于基态，当它们从外界吸收光子时会达到激发态，电子跃迁到更高的能效。电子不能长时间处于激发态，它会跃迁回低能级。如果两个能级相近，则电子做无辐射跃迁释放能量；如果两个能级不相近则电子做辐射跃迁，释放光子，释放出的光的能量可能与激发电子的光能量不同，两种不同能量的光的波长会有差异。因此，当用近红外光或紫外光照射时，不同的粉末会发出不同颜色的可见光。其中涉及上转换、下转换、下迁移等过程。

通过化学合成的方法可以制备出含有稀土元素的粉末或溶液。粉末在微观状态下呈现出棒状、空心管状等不同形状，经过一些处理后还可得到核壳结构。制得的粉末在日常的生活及科学的研究中有着广泛的应用。

二、 实验材料及制备步骤

1、实验材料：氢氧化钠 0.75g，纯水 3.75ml，无水乙醇 12.5ml，油酸 12.5ml，稀土溶液 5ml，氟化氨 2.5mL，烧杯、移液枪，电子天平，磁力搅拌器，高温反应釜。

2、制备步骤：

- 1) 称量氢氧化钠，用移液枪加入纯水和无水乙醇（水和无水乙醇顺序先后皆可）。
- 2) 加入稀土溶液和氟化氨。
- 3) 将其放在磁力搅拌器上，放入搅拌子搅拌并在搅拌时倒入油酸。
- 4) 待其变为乳白色，放入高温反应釜以 220 摄氏度加热 12 小时。
- 5) 处理废液。

三、 问题的答案

1、选择稀土作为发光粒子的原因？

第四章 深入高校实验室

稀土发光材料具有很多优点：发光谱带窄，色纯度高，色彩鲜艳；光吸收能力强，转换效率高；发射波长分布区域宽；荧光寿命从纳秒跨越到毫秒达6个数量级；物理和化学性能稳定，耐高温，可承受大功率电子束、高能辐射和强紫外光的作用。

2、上转换过程，下转换过程和下迁移过程

上转换：将长波长光转化为短波长光发射的过程。是同一个离子从基态通过连续多光子吸收到达能量较高的激发态的过程，。

下转换：将短波长光转化为长波长光发射的过程。只涉及一个基态和一个激发态。

下迁移：在场的作用下，物质的分子、离子或其他粒子等沿一定方向的运动。

3、何为泵浦光？何为发射光？

泵浦光：将电子从原子或分子中的较低能级升高（或“泵”）到较高能级的光。

发射光：电子从较高能级跃迁到较低能级时发出的光。

4、为什么不同稀土离子激发光波段不同？

光的能量与波长成反比，而不同稀土离子4f电子排布不同，产生了不同能级。

5、Er在980nm激发下可以发光，为什么额外再添加Yb？

Er³⁺离子对泵浦源的吸收较弱，致使激光阈值较高。晶体中Yb³⁺离子可作为有效的敏化剂。

6、常见稀土元素（Er、Tm、Tb、Eu、Dy）上（下）转换发光波段及对应颜色。

离子	能层	波长 (nm)
Tm ³⁺	$^1I_6 \rightarrow ^3H_6$	289
Dy ³⁺	$^6H_{15/2} \rightarrow ^4K_{13/2}$	294
Dy ³⁺	$^6H_{15/2} \rightarrow ^4M_{15/2}$	350
Tm ³⁺	$^1I_6 \rightarrow ^3F_4$	354

第四章 深入高校实验室

Tm ³⁺	$^1D_2 \rightarrow ^3H_6$	361. 5
Tm ³⁺	$^1D_2 \rightarrow ^3F_4$	450
Tm ³⁺	$^1G_4 \rightarrow ^3H_6$	475. 5
Tb ³⁺	$^5D_4 \rightarrow ^7F_6$	488
Er ³⁺	$^2H_{11/12} \rightarrow ^4I_{15/2}$	520
Er ³⁺	$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$	543
Tb ³⁺	$^5D_4 \rightarrow ^7F_5$	543
Tb ³⁺	$^5D_4 \rightarrow ^7F_4$	588
Eu ³⁺	$^5D_0 \rightarrow ^7F_1$	585
Eu ³⁺	$^5D_0 \rightarrow ^7F_2$	611
Eu ³⁺	$^5D_0 \rightarrow ^7F_2$	618
Er ³⁺	$^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$	801
Eu ³⁺	$^5D_0 \rightarrow ^7F_2$	618
Tm ³⁺	$^3H_4 \rightarrow ^3H_6$	802. 5

4.2 MATLAB 编程学习

董欣田英才计划活动报告

活动时间：7月1日

指导老师：宋峰教授 杨洁导师 任杨阳导师

内容：学习使用 Matlab

一. 课上学习内容：

1、绘制函数图像

例：

```
x=1:10; (可修改步长, eg:x=1:.1:10,.1 为 0.1 缩写)
```

```
y=x*2;
```

```
plot(x, y)
```

2. 解一元二次方程

```
a=6;
```

```
b=11;
```

```
c=3;
```

```
d=b*b-4*a*c;
```

```
x1=(-b+sqrt(d))/(2*a);
```

```
x2=(-b-sqrt(d))/(2*a);
```

```
disp(['x1=' , num2str(x1) , ' x2=' , num2str(x2)])
```

3、循环结构

```
x=input('x=');
```

```
if x<0
```

```
y=log(x*x+1)+sqrt(x*x+1);
```

```
else  
    y=sin(x)/(x+1);  
end  
disp(y)
```

二. 作业:

1. 做分段函数图像

$$y = \begin{cases} \ln(x^2 + 1) + \sqrt{x^2 + 1} & x < 0 \\ \sin x / (x + 1) & x \geq 0 \end{cases}$$

```
x=-10:10  
if x<0:  
    y=log(x*x+1)+sqrt(x*x+1);(lnx 表示成 log(x); 而 lgx 表示成 log10(x))  
else  
    y=sinx/(x+1);  
end  
plot(x,y)
```

2. 计算 $y=1-1/2+1/3-1/4+\cdots-1/100$

```
y=0;  
for i= 1:50  
    y=y+1/(2*i-1)-1/(2*i);  
end  
disp(y)
```

三. 课后查阅的资料

Matlab 优势特点

1) 高效的数值计算及符号计算功能，能使用户从繁杂的数学运算分析中解脱出

来；

- 2) 具有完备的图形处理功能，实现计算结果和编程的可视化；
- 3) 友好的用户界面及接近数学表达式的自然化语言，使学者易于学习和掌握；
- 4) 功能丰富的应用工具箱(如信号处理工具箱、通信工具箱等)，为用户提供了大量方便实用的处理工具。

简单易用

Matlab 是一个高级的矩阵/阵列语言，它包含控制语句、函数、数据结构、输入和输出和面向对象编程特点。用户可以在命令窗口中将输入语句与执行命令同步，也可以先编写好一个较大的复杂的应用程序(M文件)后再一起运行。

常用函数			
Matlab 内部常数	eps: 浮点相对精度	exp: 自然对数的底数 e	i 或 j: 基本虚数单位
	inf 或 Inf: 无限大，例如 1/0	nan 或 NaN: 非数值 (Not a number)，例如 0/0, ∞/∞	pi: 圆周率 π
	intmax: 可表达的最大正整数。	intmin: 可表达的最小负整数。	lasterr: 存放最新的错误信息
	nargin: 函数的输入引数个数	realmax: 系统所能表示的最大正实数，默认 1.7977×10^{308}	lastwarn: 存放最新的警告信息

常用函数			
MATLAB 常用基本数学函数	nargout: 函数的输出引数个数	realmin: 系统所能表示的最小负实数, 默认 $2.2251e \times 10^{-308}$	
	abs(x): 纯量的绝对值或向量的长度	sqrt(x): 开平方	
	angle(z): 复数 z 的相角 (Phase angle)	real(z): 复数 z 的实部	
	conj(z): 复数 z 的共轭复数	imag(z): 复数 z 的虚部	

fix(x): 无论正负, 舍去小数至相邻整数

floor(x): 下取整, 即舍去正小数至相邻整数

ceil(x): 上取整, 即加入正小数至相邻整数

rat(x): 将实数 x 化为多项分数展开

rats(x): 将实数 x 化为分数表示

sign(x): 符号函数 (Signum function)。

当 $x < 0$ 时, $\text{sign}(x) = -1$

当 $x = 0$ 时, $\text{sign}(x) = 0$;

当 $x > 0$ 时, $\text{sign}(x) = 1$ 。

rem(x, y): 求 x 除以 y 的余数

gcd(x, y): 整数 x 和 y 的最大公因数

lcm(x, y): 整数 x 和 y 的最小公倍数

exp(x): 自然指数

pow2(x): 2 的指数

第四章 深入高校实验室

$\log(x)$: 以 e 为底的对数, 即自然对数或

$\log_2(x)$: 以 2 为底的对数

$\log_{10}(x)$: 以 10 为底的对数

MATLAB 常用三角函数			
$\sin(x)$: 正弦函数	$\cos(x)$: 余弦函数	$\tan(x)$: 正切函数	$\text{asin}(x)$: 反正弦函数
$\text{acos}(x)$: 反余弦函数	$\text{atan}(x)$: 反正切函数	$\text{atan2}(x, y)$: 四象限的反正切函数	$\text{sinh}(x)$: 双曲正弦函数
$\cosh(x)$: 双曲余弦函数	$\tanh(x)$: 双曲正切函数	$\text{asinh}(x)$: 反双曲正弦函数	$\text{acosh}(x)$: 反双曲余弦函数
$\text{atanh}(x)$: 反双曲正切函数			
适用于向量的常用函数有			
$\text{min}(x)$: 向量 x 的元素的最小值	$\text{max}(x)$: 向量 x 的元素的最大值	$\text{mean}(x)$: 向量 x 的元素的平均值	
$\text{median}(x)$: 向量 x 的元素的中位数	$\text{std}(x)$: 向量 x 的元素的标准差	$\text{diff}(x)$: 向量 x 的相邻元素的差	
$\text{sort}(x)$: 对向量 x 的元素进行排序 (Sorting)	$\text{length}(x)$: 向量 x 的元素个数	$\text{norm}(x)$: 向量 x 的欧氏 (Euclidean) 长度	
$\text{sum}(x)$: 向量 x 的元素总和	$\text{prod}(x)$: 向量 x 的元素总乘积	$\text{cumsum}(x)$: 向量 x 的累计元素总和	
$\text{cumprod}(x)$: 向量 x 的累计元素总乘积	$\text{dot}(x, y)$: 向量 x 和 y 的内积	$\text{cross}(x, y)$: 向量 x 和 y 的外积	

MATLAB 基本绘图函数

plot: x 轴和 y 轴均为线性刻度 (Linear scale)

loglog: x 轴和 y 轴均为对数刻度 (Logarithmic scale)

semilogx: x 轴为对数刻度, y 轴为线性刻度

semilogy: x 轴为线性刻度, y 轴为对数刻度

plot 绘图函数的参数

字元颜色 字元图线型态

y 黄色. 点

k 黑色 o 圆

w 白色 x x

b 蓝色 + +

g 绿色 * *

r 红色

- 实线

c 亮青色

: 点线

m 锰紫色

-· 点虚线

-- 虚线

注解		
<code>xlabel('Input Value');</code> % x 轴注解	<code>ylabel('Function Value');</code> % y 轴注解	<code>legend('y = sin(x)', 'y = cos(x)');</code> % 图形注解
<code>title('Two Trigonometric Functions');</code> % 图形标题		<code>grid on;</code> % 显示格线
二维绘图函数		
<code>bar</code> 长条图	<code>errorbar</code> 图形加上误差范围	<code>fplot</code> 较精确的函数图形
<code>polar</code> 极坐标图	<code>hist</code> 累计图	<code>rose</code> 极坐标累计图
<code>stairs</code> 阶梯图	<code>stem</code> 针状图	<code>fill</code> 实心图
<code>feather</code> 羽毛图	<code>compass</code> 罗盘图	<code>quiver</code> 向量场图

耿浩然英才计划活动报告

指导教师：宋峰教授 杨洁导师 任杨阳导师

一、活动过程：

杨洁导师教给我们 Matlab 软件的基本使用方法及语言，方便我们进行实验过程中的数据分析等等

二、学习内容：

(一) 绘制函数图像

1、绘制函数图像

例：

```
x=1:10;
```

```
y=x*2;
```

```
plot(x, y)
```

2. 解一元二次方程

```
a=6;
```

```
b=11;
```

```
c=3;
```

```
d=b*b-4*a*c;
```

```
x1=(-b+sqrt(d))/(2*a);
```

```
x2=(-b-sqrt(d))/(2*a);
```

```
disp(['x1=' , num2str(x1), ' x2=' , num2str(x2)])
```

3、循环结构

```
x=input('x=');
```

```
if x<0
```

```
    y=log(x*x+1)+sqrt(x*x+1);
```

```
else
```

```
y=sin(x)/(x+1);  
end  
disp(y)
```

4、练习：计算 $y=1-1/2+1/3-1/4+\cdots-1/100$ 的值

```
y=0;  
for i = 1:50  
    y=y+1/(2*i-1)-(1/(2*i));  
end  
disp(y)
```

(二) 其他资料学习

1、Matlab 简介

MATLAB 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件，用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境，主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。MATLAB 是 matrix&laboratory 两个词的组合，意为矩阵工厂（矩阵实验室）。是由美国 mathworks 公司发布的主要面对科学计算、可视化以及交互式程序设计的高科技计算环境。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中，为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案，并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言（如 C、Fortran）的编辑模式，代表了当今国际科学计算软件的先进水平。MATLAB 和 Mathematica、Maple 并称为三大数学软件。它在数学类科技应用软件中在数值计算方面首屈一指。MATLAB 可以进行矩阵运算、绘制函数和数据、实现算法、创建用户界面、连接其他编程语言的程序等，主要应用于工程计算、控制设计、信号处理与通讯、图像处理、信号检测、金融建模设计与分析等领域。MATLAB 的基本数据单位是矩阵，它的指令表达式与数学、工程中常用的形式十分相似，故用 MATLAB 来解算问题要比用 C、FORTRAN 等语

第四章 深入高校实验室

言完成相同的事情简捷得多，并且 MATLAB 也吸收了像 Maple 等软件的优点，使 MATLAB 成为一个强大的数学软件。在新的版本中也加入了对 C, FORTRAN, C++, JAVA 的支持。

2、使用方法及语言

(1) 命名和语句；

字母开头，字母下划线，区分大小写

不声明不定义拿来即用。

分号决定语句是否输出

英文省略号续行

(2) 赋值

等于号赋值给变量

无赋值对象时默认赋值给 ans

(3) 变量管理

工作空间窗口查看

who whos 查看

(4) 全局的文件操作

清除变量的命令 clear, 清除所有变量或者单个变量

save[文件名][变量名][-append][-ascii]

.mat 文件是一种数据文件的类型, 用于储存 matlab 中的数据

format 函数, 控制显示

short long e rat hex + bank compact loose

MATLAB 中常见的数据类型

(5) 数值型：双精度，单精度，符号整型数据

字符串、结构体、单元、多维矩阵、稀疏矩阵

(6) 一些常用语言：

默认双精度 double

unit8() 将 double 型数据转换成无符号整型

第四章 深入高校实验室

double()能够将 int 类型转换为 double 类型的数据

class(变量)能够显示一个数据的类型

double()或者 abs 查看 ascii 值

char()转换为字符

str2num()获取字符串表面数值

num2str()数字表面上的字符串

(7) 字符串的相关操作

eval()执行字符串类型的语句 (与 PHP 极其相似)

结构体的建立

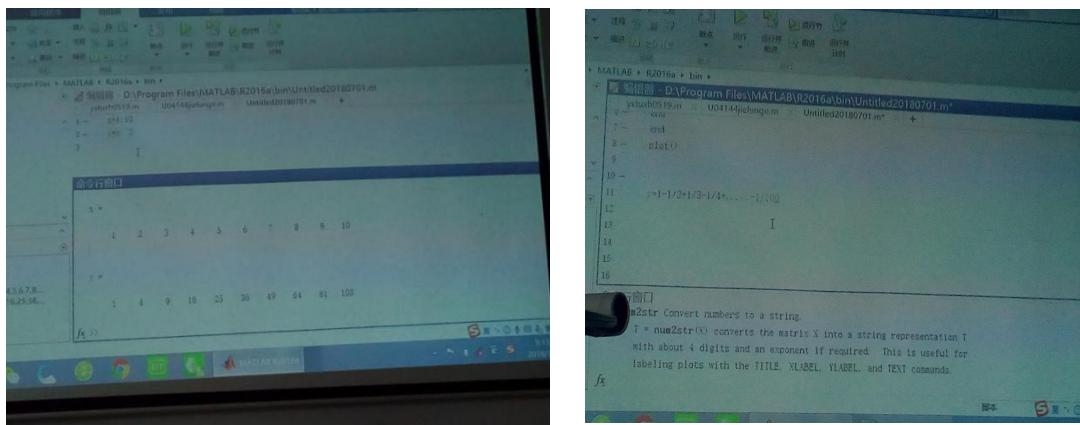
结构体.成员名 =表达式

结构体的访问

isstruct()返回结构体的类型 1 或者 0

fieldnames()成员的名字

isfield(成员名, 结构体名)一个变量是否是结构体的成员



耿逸然英才计划活动报告

指导教师：宋峰教授 杨洁导师 任杨阳导师

一、活动过程：

杨洁导师教给我们 Matlab 软件的基本使用方法及语言，方便我们进行实验的数据分析等过程。本节课我们学习了如何使用 Matlab，以基本功为主，包括一些高中必备的基本运算语言，还有像 input 等未接触过的语言，以及如何做二维三维函数图像，提升了该软件运用的熟练度。

二、学习内容：

1、背景：Matlab 简介

MATLAB 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件，用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境，主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。MATLAB 是 matrix&laboratory 两个词的组合，意为矩阵工厂（矩阵实验室）。是由美国 mathworks 公司发布的主要面对科学计算、可视化以及交互式程序设计的高科技计算环境。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中，为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案，并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言（如 C、Fortran）的编辑模式，代表了当今国际科学计算软件的先进水平。MATLAB 和 Mathematica、Maple 并称为三大数学软件。它在数学类科技应用软件中在数值计算方面首屈一指。MATLAB 可以进行矩阵运算、绘制函数和数据、实现算法、创建用户界面、连接其他编程语言的程序等，主要应用于工程计算、控制设计、信号处理与通讯、图像处理、信号检测、金融建模设计与分析等领域。MATLAB 的基本数据单位是矩阵，它的指令表达式与数学、工程中常用的形式十分相似，故用 MATLAB 来解算问题要比用 C、FORTRAN 等语言完成相同的事情简捷得多，并且 MATLAB 也吸收了像 Maple 等软件的优点，使 MATLAB 成为一个强大的数学软件。在新的版本中也加入了对 C、FORTRAN、C++，

JAVA 的支持

2. 作业：

1. 分段函数

$$\ln(x^2+1) + \sqrt{x^2+1} \quad x < 0$$

$$y = \begin{cases} \ln(x^2+1) + \sqrt{x^2+1} & x < 0 \\ \sin x / (x+1) & x \geq 0 \end{cases}$$

x=-10: 10

if x<0

$$y = \log(x*x+1) + \sqrt{x*x+1};$$

else

$$y = \sin(x) / (x+1);$$

end

plot (x, y)

计算 $y=1-1/2+1/3-1/4+\cdots-1/100$ 的值

y=0;

for i = 1:50

$$y = y + 1/(2*i-1) - (1/(2*i));$$

end

disp(y)

3. 课上学习内容：

解一元二次方程

利用求根公式解一元二次方程的解三. 循环结构

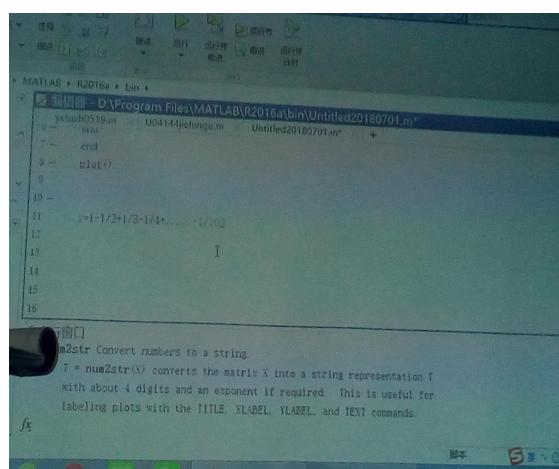
x=input('x=');

if x<0

$$y = \log(x*x+1) + \sqrt{x*x+1};$$

第四章 深入高校实验室

```
else
    y=sin(x)/(x+1);
end
disp(y)
a=6;
b=11;
c=3;
d=b*b-4*a*c;
x1=(-b+sqrt(d))/(2*a);
x2=(-b-sqrt(d))/(2*a);
disp(['x1=' , num2str(x1) , ' x2=' , num2str(x2)])
循环结构
x=input('x=');
if x<0
    y=log(x*x+1)+sqrt(x*x+1);
else
    y=sin(x)/(x+1);
end
disp(y)
```



孙勣举英才计划活动报告

一、绘制函数图像

使用 `plot()` 绘制函数图像

例：

```
x=1:10;
```

```
y=x*2;
```

```
plot(x, y)
```

2. 解一元二次方程

利用求根公式解一元二次方程，使用 `disp()` 输出数值

```
a=6;
```

```
b=11;
```

```
c=3;
```

```
d=b*b-4*a*c;
```

```
x1=(-b+sqrt(d))/(2*a);
```

```
x2=(-b-sqrt(d))/(2*a);
```

```
disp(['x1=' , num2str(x1) , ' x2=' , num2str(x2)])
```

三. 循环结构

```
x=input('x=');
```

```
if x<0
```

```
    y=log(x*x+1)+sqrt(x*x+1);
```

```
else
```

```
    y=sin(x)/(x+1);
```

```
end
```

```
disp(y)
```

作业

1. 给 x 求分段函数的值

$$y = \begin{cases} \ln(x^2 + 1) + \sqrt{x^2 + 1} & (x < 0) \\ \frac{\sin x}{x+1} & (x \geq 0) \end{cases}$$

```
x=input('x=')
```

```
if x<0
```

```
    y=log(x*x+1)+sqrt(x*x+1);
```

```
else
```

```
    y=sin(x)/(x+1);
```

```
end
```

```
disp('y=',y)
```

2. 计算 $y=1-1/2+1/3-1/4+\cdots-1/100$ 的值

```
y=0;
```

```
for i = 1:50
```

```
    y=y+1/(2*i-1)-(1/(2*i));
```

```
end
```

```
disp(y)
```

孟越英才计划活动报告

时间：7月1日 地点：南开大学第五教学楼

内容：MATLAB 编程软件介绍 1. 做函数图像

eg: $x=1:10;$ (改间隔: $x=1:0.5:10)$

$y=x^2;$

($z=\dots\dots$)

$plot(x, y)$ ($plot3(x, y, z)$)

2. 解方程

$a=6;$

$b=11;$

$c=3;$

$d=b*b-4*a*c;$

$x=[(-b+sqrt(d))/(2*a), (-b-sqrt(d))/(2*a)]$

$disp(['x1=', num2str(x(1)), ' x2=', num2str(x(2))])$

3. 循环结构

$x=input('x=?');$

$if x<0$

$y=log(x*x+1)+sqrt(x*x+1);$

$else$

$y=sin(x)/(x+1);$

end

$disp(y)$

作业

1. 做分段函数图像 $\ln(x^2+1) + \sqrt{x^2+1} \quad x<0$

$y=$ {

$$\sin x / (x+1) \quad x \geq 0$$

```
x=-10: 10
if x<0
y=log (x*x+1) +sqrt (x*x+1) ;
else
y=sin (x) / (x+1) ;
end
plot (x, y)
```

2. 计算 $y=1-1/2+1/3-1/4+\cdots-1/100$

```
s=0;
for x=1:50
s=s+1/(2*x-1)-(1/(2*x));
end
disp(y)
```

4.3 探究掺杂 Ag 粉末对 ZnO 粉末发光性能的影响

董欣田实验学习报告

时间:9.22 授课教师:胡慧敏 地点:南开大学第五教学楼

目标通过学习实验:学习科研过程(从发现问题到设计实验到实验结果分析)

实验目的:

探究掺杂 Ag 粉末对 ZnO 粉末发光性能的影响

实验报告中的名词:

1. SEM—扫描电子显微镜: 扫描电镜(SEM)是介于透射电镜和光学显微镜之间的一种微观形貌观察手段, 可直接利用样品表面材料的物质性能进行微观成像。扫描电镜的优点是, ①有较高的放大倍数, 20~20万倍之间连续可调; ②有很大的景深, 视野大, 成像富有立体感, 可直接观察各种试样凹凸不平表面的细微结构; ③试样制备简单。目前的扫描电镜都配有X射线能谱仪装置, 这样可以同时进行显微组织形貌的观察和微区成分分析, 因此它是当今十分有用的科学仪器。

2. TEM—透射电镜: 透射电子显微镜(Transmission Electron Microscope, 简称TEM), 通常称作电子显微镜或电镜(EM), 是使用最为广泛的一类电镜。透射电镜是一种高分辨率、高放大倍数的显微镜, 是材料科学研究的重要手段, 能提供极微细材料的组织结构、晶体结构和化学成分等方面的信息。

3. EDX—能量色散X射线光谱仪: 通过对比不同元素谱线的强度可以测定试样中元素的含量。

4. 局域表面等离子体共振: 当光线入射到由贵金属构成的纳米颗粒上时, 如果入射光子频率与贵金属纳米颗粒或金属岛传导电子的整体振动频率相匹配时, 纳米颗粒或金属岛会对光子能量产生很强的吸收作用, 就会发生局域表面等离子体共振(LSPR: localized Surface Plasmon Resonance))现象。

金、银、铂等贵金属纳米粒子均具有很强的局域表面等离子体共振效应。

第四章 深入高校实验室

5. 纤锌矿结构：具有纤锌矿结构的化合物。以具有六方点阵的 ZnS 为代表的一类结构称为纤锌矿结构。

6. 水热法：在密封的压力容器中，以水为溶剂，在高温高压的条件下进行的化学反应。

7. 溶胶凝胶法：用含高化学活性组分的化合物作前驱体，在液相下将这些原料均匀混合，并进行水解、缩合化学反应，在溶液中形成稳定的透明溶胶体系，溶胶经陈化胶粒间缓慢聚合，形成三维空间网络结构的凝胶，凝胶网络间充满了失去流动性的溶剂，形成凝胶。凝胶经过干燥、烧结固化制备出分子乃至纳米亚结构的材料。

8. 分子束外延法：在超高真空腔内，源材料通过高温蒸发、辉光放电离子化、气体裂解，电子束加热蒸发等方法，产生分子束流。入射分子束与衬底交换能量后，经表面吸附、迁移、成核、生长成膜。

9. 拉曼光谱：是一种散射光谱。光照射到物质上发生弹性散射和非弹性散射，弹性散射的散射光是与激发光波长相同的成分，非弹性散射的散射光有比激发光波长长和短的成分，统称为拉曼效应。拉曼效应是光子与光学支声子相互作用的结果。

9. 光的干涉：指采用分束器将一束单色光束分成两束后，再让它们在空间中的某个区域内重叠，将会发现在重叠区域内的光强并不是均匀分布的：其明暗程度随其在空间中位置的不同而变化，最亮的地方超过了原先两束光的光强之和，而最暗的地方光强有可能为零，这种光强的重新分布被称作“干涉条纹”

10. 光的衍射：光在传播过程中，遇到障碍物或小孔时，光将偏离直线传播的途径而绕到障碍物后面传播的现象，叫光的衍射

11. 光的散射：物质中存在的不均匀团块使进入物质的光偏离入射方向而向四面八方散开，这种现象称为光的散射，向四面八方散开的光，就是散射光。

12. 米氏散射：当大气中粒子的直径与辐射的波长相当时发生的散射称为米氏散射

13. 发射光谱：物体发光直接产生的光谱叫做发射光谱

第四章 深入高校实验室

14. 布拉格方程： 布拉格方程是给出晶体 X 射线衍射方向的方程。 $2dsin\theta = n\lambda$ 。

15. PVA：聚乙烯醇：有机化合物，白色片状、絮状或粉末状固体，无味。

总结：

通过此活动，我学到了科研的基本过程：

1. 大量阅读文献，发现可改进问题
2. 理论分析原理，设计可操作实验，并尽量使用最佳用料
3. 进行实验，记录数据
4. 使用各种图像分析，与改进前对照，找到最佳用量
5. 结论与误差分析
6. 总结

耿逸然实验学习报告

指导教师：宋峰教授 任杨阳导师 授课导师：胡慧敏导师

一实验目的

探究掺杂 Ag 对 ZnO 掺 Mg 材料的发光影响，寻找掺杂 Ag 在什么比例时对发光的增强效果最明显。

二实验仪器

- 1、XRD——晶体结构 2、 SEM、TEM——形貌特征
3、EDX——光强~元素含量 波长~元素种类 4、荧光光谱仪：测荧光发射光谱。

三、实验理论

1、局域表面等离子体共振效应

2、制备荧光粉的几种方法

①水热法 ②分子束外延法 ③溶胶凝胶法

3、三种散射

(一) 康普顿散射及逆康普顿散射

(1)背景：反映光不仅有波动性，还有粒子性。

光子 $E \approx 0.5\text{eV} \rightarrow 3.5\text{eV}$ 的易被观察到。

(2)理论推导

注：逆康普顿散射：光子被电子散射时，如果初态电子有足够的动能，以至于在散射过程中有能量从电子转移到光子。

(二) 拉曼散射

光通过介质时由于入射光与分子运动相互作用而引起的频率发生变化的散射。

(三) 米氏散射（古斯塔夫·米）和瑞利散射

当大气中粒子直径与辐射的波长相当时发生的散射称为米氏散射。说白了是以光和粒子的尺寸来区分米氏散射和瑞利散射的。

粒子尺寸 << 波长 → 瑞利散射

粒子尺寸 \approx 波长 \rightarrow 米氏散射

上面二者标准比例 $2\pi r/\lambda$

米氏散射：烟、雾、云，尘埃、胶体。

瑞利散射：悬浮微粒的散射，如牛奶、天空、夕阳。

由动量的三角形关系得 $p_e^2 = p'^2 + p^2 - 2pp' \cos\varphi$ ①
 能量 $h\nu + E_0 = h\nu' + E_e$ ②
 相对论能动量关系: $E_e^2 = E_0^2 + p_e^2 c^2$ ③
 光子性质: $h\nu = pc$, $h\nu' = p'c$ ④

将 ① ② ④ 代入 ② 式, 易得 $\frac{c}{\nu} - \frac{c}{\nu'} = \frac{h}{m_ec}(1-\cos\varphi)$

由于 $\frac{c}{\nu} = \lambda$ $\therefore \Delta\lambda = \frac{c}{\nu} - \frac{c}{\nu'} = \frac{h}{m_ec}(1-\cos\varphi)$

[30届复赛八] 即为散射前后光子波长变化。

设碰前电子, 光子动量分别为 p_e , p_γ ($p_e > 0$, $p_\gamma < 0$)。碰后能量动量分别为 E_e' , p_e' , E_γ' , p_γ' 。

能量守恒: $E_e + E_\gamma = E_e' + E_\gamma'$

动量守恒: $p_e + p_\gamma = p_e' \cos\alpha + p_\gamma' \cos\theta$
 $p_e' \sin\alpha = p_\gamma' \sin\theta$

光子特性: $E_\gamma = |p_\gamma|c$, $E_\gamma' = |p_\gamma'|c$.

能动量关系: $E_e^2 = m_e^2 c^4 + p_e^2 c^2$, $E_e'^2 = m_e^2 c^4 + p_e'^2 c^2$

联立可解得: $E_\gamma' = \frac{E_\gamma(E_e + \sqrt{E_e^2 - m_e^2 c^4})}{E_e + E_\gamma + (E_\gamma - \sqrt{E_e^2 - m_e^2 c^4}) \cos\theta}$

由光子特性易知波长变化

4、干涉与衍射

(1) 干涉现象：光的波动性的体现。是两列或两列以上的波在空气中重叠时发生叠加从而形成新波形的现象。新波形强弱分布不均匀。

(2) 衍射现象：是指波遇到障碍物时偏离原来直线传播的物理现象。在经典物理中，波在穿过狭缝，小孔或圆盘之类的障碍物后会发生不同程度的弯射传播。其实，本质上干涉衍射只是一种物理现象的不同情境下的不同表现。

5、仪器简介

SEM---扫描电子显微镜

TEM---透射电子显微镜

AFM---原子力显微镜

EDX---能量色散 X 射线光谱仪

荧光光谱仪等

五、问题汇总

1. Ag 的核聚变或核裂变?

不可能!!

2. 含量中含 Cu 的原因:

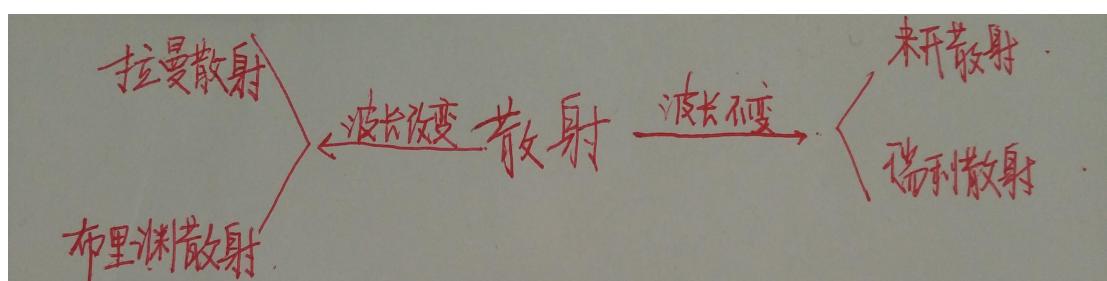
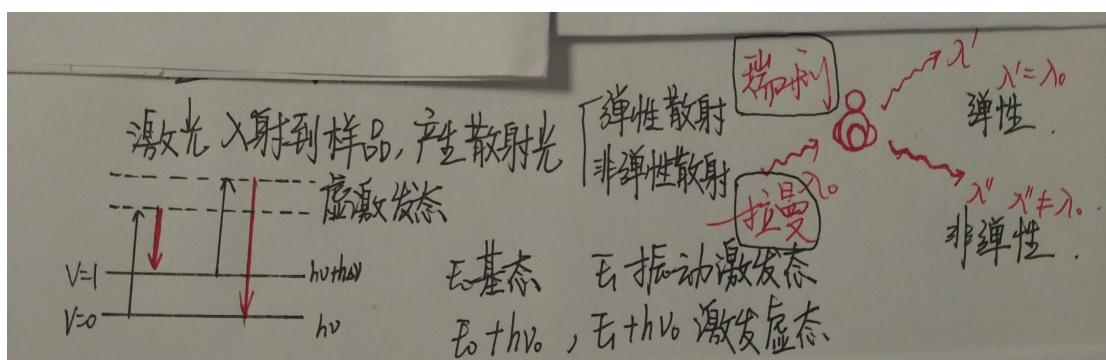
仪器中的 Cu 被检测。

3. 晶格常数:

晶格常数（或称之为点阵常数）指的就是晶胞的边长，也就是每一个平行六面体单元的边长，它是晶体结构的一个重要基本参数。

4. 散射:

见上。



耿浩然英才计划活动报告

指导教师：宋峰教授 任杨阳导师 授课导师：胡慧敏导师

一、实验目的

探究掺杂 Ag 对 ZnO 掺 Mg 材料的发光影响，寻找掺杂 Ag 在什么比例时对发光的增强效果最明显。

二、实验仪器

1、XRD——晶体结构 2、 SEM、TEM——形貌特征
3、EDX——光强~元素含量 波长~元素种类 4、荧光光谱仪：测荧光发射光谱。

三、实验理论

1、局域表面等离子体共振效应

2、制备荧光粉的几种方法

①水热法 ②分子束外延法 ③溶胶凝胶法

3、三种散射

(一) 康普顿散射及逆康普顿散射

(1)背景：反映光不仅有波动性，还有粒子性。

光子 $E \approx 0.5\text{eV} \rightarrow 3.5\text{eV}$ 的易被观察到。

(2)理论推导

注：逆康普顿散射：光子被电子散射时，如果初态电子有足够的动能，以至于在散射过程中有能量从电子转移到光子。

(二) 拉曼散射

第四章 深入高校实验室

光通过介质时由于入射光与分子运动相互作用而引起的频率发生变化的散射。

(三) 米氏散射(古斯塔夫·米)和瑞利散射

当大气中粒子直径与辐射的波长相当时发生的散射称为米氏散射。说白了是以光和粒子的尺寸来区分米氏散射和瑞利散射的。

粒子尺寸 << 波长 → 瑞利散射

粒子尺寸 ≈ 波长 → 米氏散射

上面二者标准比例 $2\pi r/\lambda$

米氏散射：烟、雾、云，、尘埃、胶体。

瑞利散射：悬浮微粒的散射，如牛奶、天空、夕阳。

4、干涉与衍射

(1) 干涉现象：光的波动性的体现。是两列或两列以上的波在空气中重叠时发生叠加从而形成新波形的现象。新波形强弱分布不均匀。

康普顿

由动量的三角形关系得
 $p_e^2 = p'^2 + p^2 - 2pp' \cos\varphi$ ①
 能量：
 $h\nu + E_0 = h\nu' + E_e$ ②
 相对论能动量关系：
 $E_e^2 = E_0^2 + p_e^2 c^2$ ③
 光子性质：
 $h\nu = pc$, $h\nu' = p'c$ ④

将 ① ③ ④ 代入 ② 式，易得：
 $\frac{c}{\nu} - \frac{c}{\nu'} = \frac{h}{m_ec}(1 - \cos\varphi)$

由于 $\frac{c}{\nu} = \lambda$ ，
 $\therefore \Delta\lambda = \frac{c}{\nu} - \frac{c}{\nu'} = \frac{h}{m_ec}(1 - \cos\varphi)$

[30届复赛八] 即为散射前后粒子波长变化。
 设碰前电子、光子动量分别为 p_e , p_γ ($p_e > 0$, $p_\gamma < 0$)。碰后能量动量分别为 E_e' , p_e' , E_γ' , p_γ' 。
 能量守恒：
 $E_e + E_\gamma = E_e' + E_\gamma'$
 动量守恒：
 $p_e + p_\gamma = p_e' \cos\alpha + p_\gamma' \cos\theta$
 $p_e' \sin\alpha = p_\gamma' \sin\theta$
 光子特性：
 $E_\gamma = |p_\gamma|c$, $E_\gamma' = |p_\gamma'|c$.
 能动量关系：
 $E_e^2 = m_e^2 c^4 + p_e^2 c^2$, $E_e'^2 = m_e^2 c^4 + p_e'^2 c^2$
 联立可解得：
 $E_\gamma' = \frac{E_\gamma (E_e + \sqrt{E_e^2 - m_e^2 c^4})}{E_e + E_\gamma + (E_\gamma - \sqrt{E_e^2 - m_e^2 c^4}) \cos\theta}$

由光子特性易知波长变化

逆康普顿

(2) 衍射现象：是指波遇到障碍物时偏离原来直线传播的物理现象。在经典物

第四章 深入高校实验室

理中，波在穿过狭缝，小孔或圆盘之类的障碍物后会发生不同程度的弯射传播。其实，本质上干涉衍射只是一种物理现象的不同情境下的不同表现。

5、仪器简介

SEM---扫描电子显微镜

TEM---透射电子显微镜

AFM---原子力显微镜

EDX---能量色散 X 射线光谱仪

荧光光谱仪等

五、问题汇总

1. Ag 的核聚变或核裂变？

不可能！！

2. 含量中含 Cu 的原因：

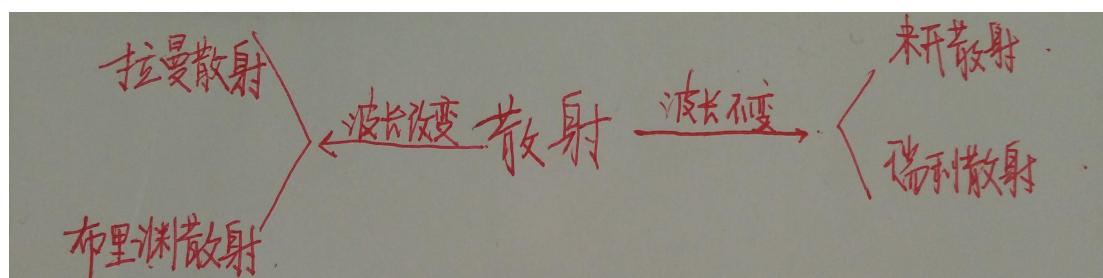
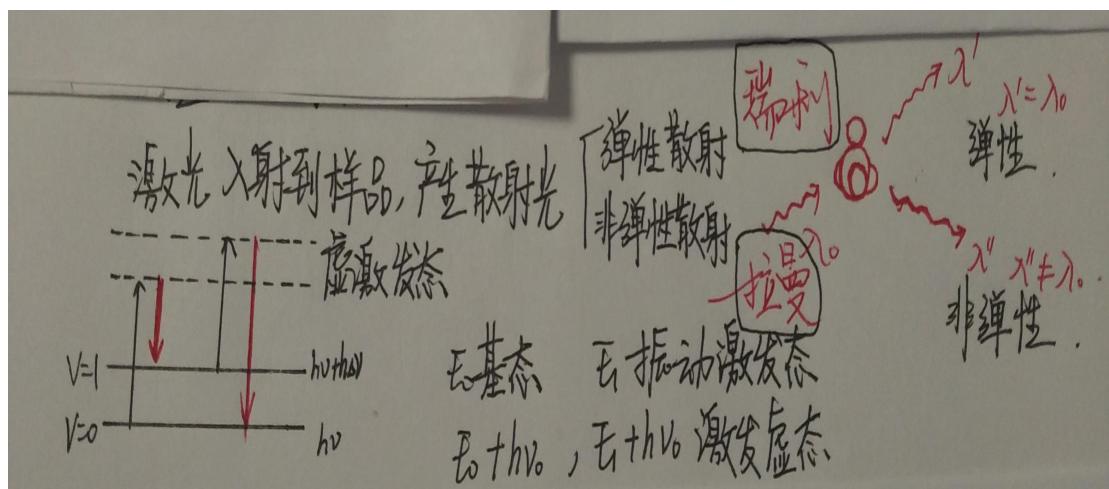
仪器中的 Cu 被检测。

3. 晶格常数：

晶格常数（或称之为点阵常数）指的就是晶胞的边长，也就是每一个平行六面体单元的边长，它是晶体结构的一个重要基本参数。

4. 散射：

见下。



孙勣举实验学习报告

目的:

通过学习 Ag 含量对 $\text{Ag}-\text{Mg}_{(0.1)}\text{Zn}_{(0.9)}\text{O}$ 荧光粉的红光波段发光性能的影响论文 了解科研实验流程以及如何阅读文献

知识点整理及名词辨析:

材料制备的几种方法:

1. 水热法: 水热法, 是指一种在密封的压力容器中, 以水作为溶剂、粉体经溶解和再结晶的制备材料的方法。相对于其他粉体制备方法, 水热法制得的粉体具有晶粒发育完整, 粒度小, 且分布均匀, 颗粒团聚较轻, 可使用较为便宜的原料, 易得到合适的化学计量物和晶形等优点。尤其是水热法制备陶瓷粉体毋需高温煅烧处理, 避免了煅烧过程中造成的晶粒长大、缺陷形成和杂质引入, 因此所制得的粉体具有较高的烧结活性。
2. 分子束外延法: 分子束外延是新发展起来的外延制膜方法, 也是一种特殊的真空镀膜工艺。外延是一种制备单晶薄膜的新技术, 它是在适当的衬底与合适的条件下, 沿衬底材料晶轴方向逐层生长薄膜的方法。该技术的优点是: 使用的衬底温度低, 膜层生长速率慢, 束流强度易于精确控制, 膜层组分和掺杂浓度可随源的变化而迅速调整。
3. 溶胶-凝胶法 (本实验所采用): 溶胶-凝胶法就是以无机物或金属醇盐作前驱体, 在液相将这些原料均匀混合, 并进行水解、缩合化学反应, 在溶液中形成稳定的透明溶胶体系, 溶胶经陈化, 胶粒间缓慢聚合, 形成三维空间网络结构的凝胶, 凝胶网络间充满了失去流动性的溶剂, 形成凝胶。凝胶经过干燥、烧结固化制备出分子乃至纳米亚结构的材料。

溶胶-凝胶法与其它方法相比具有许多独特的优点: (1)由于溶胶-凝胶法中所

用的原料首先被分散到溶剂中而形成低粘度的溶液，因此，就可以在很短的时间内获得分子水平的均匀性，在形成凝胶时，反应物之间很可能是在分子水平上被均匀地混合（2）由于经过溶液反应步骤，那么就很容易均匀定量地掺入一些微量元素，实现分子水平上的均匀掺杂；（3）与固相反应相比，化学反应将容易进行，而且仅需要较低的合成温度，一般认为溶胶—凝胶体系中组分的扩散在纳米范围内，而固相反应时组分扩散是在微米范围内，因此反应容易进行，温度较低；（4）选择合适的条件可以制备各种新型材料。但是，溶胶—凝胶法也不可避免的存在一些问题，例如：原料金属醇盐成本较高；有机溶剂对人体有一定的危害性；整个溶胶—凝胶过程所需时间较长，常需要几天或好几周；存在残留小孔洞；存在残留的碳；在干燥过程中会逸出气体及有机物，并产生收缩。

几种散射：

1. 瑞利散射：它是半径比光或其他电磁辐射的波长小很多的微小颗粒（例如单个原子或分子）对入射光束的散射。瑞利散射在光通过透明的固体和液体时都会发生，但以气体最为显著。

在大气中，太阳光的瑞利散射会导致弥漫天空辐射，这也是天空为蓝色和太阳偏黄色的原因。

瑞利散射适用于尺寸远小于光波长的微小颗粒，和光学的“软”颗粒（即，其折射率接近1）。当颗粒尺度相似或大于散射光的波长时，通常是由米氏散射理论、离散偶极子近似和其它计算技术来处理。

瑞利散射光的强度和入射光波长 λ 的四次方成反比：

$$I(\lambda)_{\text{scattering}} \propto \frac{I(\lambda)_{\text{incident}}}{\lambda^4}$$

其中 $I(\lambda)_{\text{incident}}$ 是入射光的光强分布函数。

2. 拉曼散射：一种光子的非弹性散射的现象，1928年由印度物理学家钱德拉塞卡拉·拉曼发现，指光波在被散射后频率发生变化的现象。

当光线从一个原子或分子散射出来时，绝大多数的光子，都是弹性散射的，这称为瑞利散射。在瑞利散射下，散射出来的光子，跟射入时的光子，它的能量、频率与波长是相同的。然而，有一小部分散射的光子（大约是一千万个光子中会出现一个），散射后的频率会产生变化，通常是低于射入时的光子频率，原因是入射光子和介质分子之间发生能量交换。这即是拉曼散射。

3. 米氏散射：当微粒半径的大小接近于或者大于入射光线的波长 λ 的时候，大部分的入射光线会沿着前进的方向进行散射，这种现象被称为米氏散射。与瑞利散射和拉曼散射不同的是，米式散射的程度跟波长是无关的，而且光子散射后的性质也不会改变。因此，基于米式散射理论的散射光线会呈现出白色或者灰色。这就是为什么正午经过太阳照射的云彩经常会呈现白色或者灰色。

4. 康普顿散射：在原子物理学中，康普顿散射，或称康普顿效应，是指当 X 射线或伽马射线的光子跟物质相互作用，因失去能量而导致波长变长的现象。相应的还存在逆康普顿效应——光子获得能量引起波长变短。这一波长变化的幅度被称为康普顿偏移。

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta) \quad \text{其中 } \lambda_0 \text{ 为撞前波长}$$

λ 为撞后波长， θ 为散射角。

布拉格方程：在物理学中，布拉格定律给出晶格的相干及不相干散射角度。当 X 射线入射于原子时，跟任何电磁波一样，它们会使电子云移动。电荷的运动把波动以同样的频率再发射出去（会因其他各种效应而变得有点模糊）；这种现象叫瑞利散射（或弹性散射）。散射出来的波可以再相互散射，但这种进级散射在这里是可以忽略的。当中子波与原子核或不成对电子的相干自旋进行相互作用时，会发生一种与上述电磁波相近的过程。这些被重新发射出来的波来相互干涉，可能是相长的，也可能是相消的（重叠的波某程度上会加起来产生更强的波峰，或相互消抵），在探测器或底片上产生衍射图样。而所产生的波干涉图样就是衍射分析的基本部分。这种解析叫布拉格衍射。

第四章 深入高校实验室

威廉·劳伦斯·布拉格使用了一个模型来解释这个结果，模型中晶体为一组各自分离的平行平面，相邻平面间的距离皆为一常数 d 。他的解释是，如果各平面反射出来的 X 射线成相长干涉的话，那么入射的 X 射线经晶体反射后会产生布拉格尖峰。当相位差为 2π 及其倍数时，干涉为相长的；这个条件可经由布拉格定律表示：

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

其中 n 为整数， λ 为入射波的波长， d 为原子晶格内的平面间距，而 θ 则为入射波与散射平面间的夹角。注意移动中的粒子，包括电子、质子和中子，都有对应其速度及质量的德布罗意波长。

一些仪器：

1. 荧光光谱仪：荧光光谱仪又称荧光分光光度计，是一种定性、定量分析的仪器。通过荧光光谱仪的检测，可以获得物质的激发光谱、发射光谱、量子产率、荧光强度、荧光寿命、斯托克斯位移、荧光偏振与去偏振特性，以及荧光的猝灭方面的信息。

2. XRD：X 射线衍射仪（X-ray diffractometer, XRD）是利用 X 射线衍射原理研究物质内部结构的一种大型分析仪器。令一束 X 射线和样品交互，用生成的衍射图谱来分析物质结构。它是在 X 射线晶体学领域中在原子尺度范围内研究材料结构的主要仪器，也可用于研究非晶体。

3. SEM：扫描电子显微镜（英语：Scanning Electron Microscope，缩写为 SEM），简称扫描电镜，是一种电子显微镜，其通过用聚焦电子束扫描样品的表面来产生样品表面的图像。

电子与样品中的原子相互作用，产生包含关于样品的表面测绘学形貌和组成的信息的各种信号。电子束通常以光栅扫描图案扫描，并且光束的位置与检测到的信号组合以产生图像。扫描电子显微镜可以实现分辨率优于 1 纳米。样品可以在高真空，低真空，湿条件（用环境扫描电子显微镜）以及宽范围的低温或高温下观察到。

3. TEM：透射电子显微镜（英语：Transmission electron microscope，缩写：

第四章 深入高校实验室

TEM、CTEM），简称透射电镜，是把经加速和聚集的电子束投射到非常薄的样品上，电子与样品中的原子碰撞而改变方向，从而产生立体角散射。散射角的大小与样品的密度、厚度相关，因此可以形成明暗不同的影像，影像将在放大、聚焦后在成像器件（如荧光屏、胶片、以及感光耦合组件）上显示出来。

4. AFM：原子力显微镜（atomic force microscope，简称 AFM）是在纳米尺度操作材料，及其成像和测量最重要的工具。信息是通过微悬臂感受和悬臂上尖细探针的表面的“感觉”来收集的，而压电元件可以控制样品或扫描器非常精确的微小移动，用导电悬臂（cantilever）和导电原子力显微镜附件则可以测量样品的电流偏压；更高级的仪器则可以测试探针上的电流来测试样品的电导率或下表面的电子的移动，不过这种测试是非常艰难的，只有个别实验室报道了一致的数据。[1]利用微悬臂感受和放大悬臂上尖细探针与受测样品原子之间的作用力，从而达到检测的目的，具有原子级的分辨率。由于原子力显微镜既可以观察导体，也可以观察非导体，从而弥补了扫描隧道显微镜的不足。

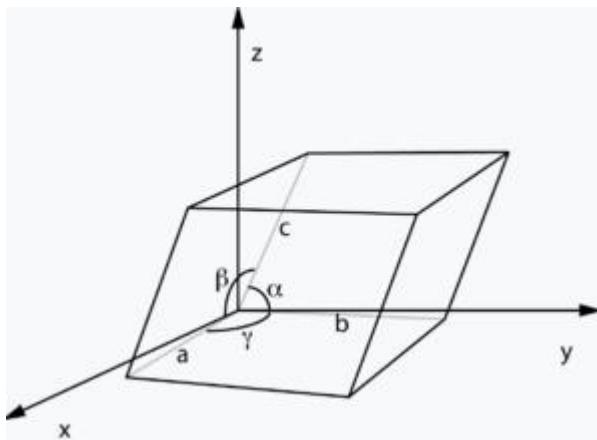
5. EDX：能量色散 X 射线光谱仪 是借助于分析试样发出的元素特征 X 射线波长和强度实现的，根据不同元素特征 X 射线波长的不同来测定试样所含的元素。通过对不同元素谱线的强度可以测定试样中元素的含量。通常 EDX 结合电子显微镜使用，可以对样品进行微区成分分析。

第一性原理：根据原子核和电子相互作用的原理及其基本运动规律，运用量子力学原理，从具体要求出发，经过一些近似处理后直接求解薛定谔方程的算法，习惯上称为第一性原理。

第一性原理通常是跟计算联系在一起的，是指在进行计算的时候除了告诉程序你所使用的原子和他们的位置外，没有其它的实验的，经验的或者半经验的参数，且具有很好的移植性。作为评价事物的依据，第一性原理和经验参数是两个极端。第一性原理是某些硬性规定或推演得出的结论，而经验参数则是通过大量实例得出的规律性的数据，这些数据可以来自第一性原理（称为理论统计数据），也可以来自实验（称为实验统计数据）。

晶格常数：晶格常数（英语：lattice constant）是指晶格中晶胞的物理尺寸。

三维空间中的晶格一般有 3 个晶格常数，分别用 a, b 和 c 来表示。



一些问题：

Ag 的核聚变：Ag 原子序数过大，难以发生核聚变

EDX 中的 Cu 为何出现：盛放粉末仪器或仪器上的

孟越活动报告

时间：9月22日 地点：南开大学第五教学楼

内容：了解荧光粉制备的实验和基本知识

一. 概述：以溶胶凝胶法制备以 ZnO 为基质的荧光粉，在 ZnO 中掺杂 Mg 增强其红光发射，掺杂 Ag，利用银的等离子体共振效应增强发光，比较掺杂不同用量 Ag 的样本的结构，表征和发光性能等得出掺杂 0.1%时增强效果最好的结论。

二. 知识点整理

★ 局域表面等离子体共振效应

当光线入射到由贵金属构成的纳米颗粒上时，如果入射光子频率与贵金属纳米颗粒整体震动频率相匹配时，纳米颗粒会对光子能量产生很强的吸收作用，会发生 LSPR 现象

★ 激发峰：带状的荧光激发光谱中的一个或数个峰值

发射峰：以激发光谱中的激发波长扫描发射光谱，得到光谱中的峰值

★ 可见光波长在 400~760 纳米之间，其中红光波长最长，紫光最短

★ 制备荧光粉的几种方法

①水热法

在密封压力容器中以高温高压水溶液使难溶或不溶物质溶解并反应

优点：不需煅烧操作简便，晶体粒度小分布均匀

缺点：对设备要求高，可制得的材料有限

②分子束外延法

超高真空腔内，原材料产生分子束流，生长成膜

优点：可实现精确控制，得到的薄膜性能良好

缺点：生长速度慢，设备费用高

③溶胶凝胶法

将原料溶解在有机物中得到溶胶，胶粒聚合形成三维网格结构的凝胶，煅烧得

到荧光粉

优点：混合均匀，所需温度较低

缺点：有些有机物对身体有害，制备所需时间长

5、

1) 干涉

两列或几列光波在空间相遇时相互叠加在某些区域加强，某些区域削弱，形成稳定的强弱分布现象，证实光具有波动性。

2) 衍射

光在传播中遇到障碍物时偏离直线传播而绕到障碍物后面传播的现象，证实光具有波动性。

3) 散射

光通过不均匀介质时一部分一部分光偏离原方向传播的现象。

①瑞利散射：散射光波长与入射光波长相同，强度与波长 λ 的四次方成反比的散射。条件：散射微粒线长度小于波长。

②拉曼散射：入射光与介质的分子运动间相互作用而引起的频率发生改变的散射。

$$\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$

康普顿散射： θ 为散射角。

④米氏散射：大气中粒子的直径与辐射的波长相当时发生的散射。

★ 布拉格方程

对于射线衍射，当光程差等于波长的整数倍时，晶面的散射将加强，此时有 $2d \sin \theta = n\lambda$ ，其中：d---晶面间距， θ ：入射线/反射线与反射晶面的夹角， λ 波长，n 为反射级数。

★ 荧光光谱仪

又称荧光分光光度计，通过荧光光谱仪检测可以获得物质的激发光谱、发射光谱、量子产率、荧光强度、荧光寿命、斯托克斯位移、荧光偏振与去偏振特性以及

荧光的淬灭方面的信息。

★ 显微镜

★ SEM---扫描电子显微镜

利用二次电子信号成像来观察样品的表面形态，即用极狭窄的电子束扫描样品，通过电子束与样品的相互作用产生二次电子发射。

★ TEM---透射电子显微镜

把经过加速和聚集的电子束投射到非常薄的样品上，电子与样品中的原子碰撞产生立体角散射。其分辨率 $0.1\text{--}0.2\text{nm}$ ，放大倍数：几万至几百万倍。

★ AFM---原子力显微镜

原子间距减小到一定程度以后原子间的作用力迅速上升，由显微镜探针受力大小可直接换算出样品表面高度，从而获得样品表面形貌的信息。

★ EDX---能量色散 X 射线光谱仪

原子受高能射线激发会发射出特征 X 射线光谱线，每一元素都有固定波长的特征谱线。测定 X 射线荧光光谱线的波长，可知道何种元素，测定某一元素分析谱线的强度则可知该元素含量。

★ 发射增强 发射光强度增大

 激发增强 激发光强度增大

★ 核聚变 在超高温和高压等条件下才能发生，需要巨大能量。

三. 总结与思考

此次，通过师姐对论文的讲解，我进一步了解了研究过程并学习了相关知识。

我明白了科学研究需要高度的严谨，对实验中出现的每一个问题都不能放过。

设计实验前应充分学习，应有创新思维，整个过程中要思路清晰。

牛厚朴实验学习报告

何为干涉？
波的叠加引起强度在空间中的重新分布。

何为衍射？
当波受到障碍物限制时，偏离直线传播规律。

何为散射？
当光通过不均匀介质时，部分光偏离原方向传播的现象。

拉曼散射：一定频率的激光照射到样品表面，物质中的分子吸收部分能量发生振动，然后散射出较低频的光。
康普顿散射： $\Delta\lambda = \frac{2h}{mc}(1 - \cos\theta)$ θ 是散射角（光子和电子）
米氏散射：大气中粒子尺度与辐射波长相当时发生的散射。

扫描电子显微镜(SEM)：利用聚焦得非常细的高能电子束在试样上扫描，激发出各种物理信息。通过对这些信息的放大和接收，显示成像，获得测试试样表面形貌。

透射电子显微镜(TEM)：把经加速和聚集的电子束投射到非常薄的样品上，电子与样品中的原子碰撞而改变方向，从而产生立体角散射。

原子力显微镜(AFM)：由显微探针受力的大小可以直接换算出样品表面的高度，从而获得样品表面形貌的信息。

荧光光谱仪：可以获得物质的激发光谱，发射光谱，量子产率，荧光强度，荧光寿命等。原子受高能射线激发发射出特征X射线光谱线，每一元素都有本身固定波长的特征谱线。测定X射线荧光光谱线的波长，可知道是何种元素；测定某一元素分析谱线的强度，可知道该元素的含量。

缺陷能级：半导体中的间隙式杂质和替位式杂质产生的附加势场使严格的周期性禁带遭到破坏，从而在禁带中引入允许电子具有的能量状态。

E_c —————— ↑ E₀ —————— ↓ E_f
E_V

第一性原理：不需要参数，通过一些基本的物理常量，得到体系基本的基本性质的原理。

发射增强：发射光强度增大
激发电增强：激发光强度增大

↑ 荧光强度
↓ 荧光激发光谱
↑ 激发光
↓ 激发光波长

↑ 发射光强度
↓ 荧光激发光谱、发射光
↓ 激发光波长

水热法：在密封的压力容器中，以水作为溶剂，粉末经粉碎和再结晶的制备方法。

分子束外延法：在超高真空中，源材料通过高温蒸发、辉光放电、气体裂解、电子束加热蒸发等方法，产生分子束流，与衬底交接能后，经表面吸附、迁移、成核，生成膜。

溶液、凝胶法：用含高化学活性组分的化合物作前驱体，在液相下将这些原料均匀混合，并进行水解、缩合化学反应，在溶液中形成稳定的透明溶液体系。凝胶经过干燥、烧结并固化制备出分子乃至纳米亚结构的材料。

核聚变的条件：大量核聚变需依靠热核反应，温度需达到上百万开。

4.4 激光原理

耿浩然英才计划活动报告

指导教师：杨洁导师，任杨阳导师，宋峰教授

4) 激光

激光是 20 世纪以来继核能、电脑、半导体之后，人类的又一重大发明，被称为“最快的刀”、“最准的尺”、“最亮的光”。原子受激辐射的光，故名“激光”。光是原子中的电子吸收能量后，从低能级跃迁到高能级，再从高能级回落到低能级，回落的时候释放的能量以光子的形式放出。而激光，就是被引诱（激发）出来的光子队列，这光子队列中的光子们，光学特性一样，步调极其一致。打个比方就是，普通光源，比如电灯泡发出来的光子各不同，而且会各个方向乱跑，很不团结，但是激光中的光子们则是心往一处想，劲往一处使，这导致它们所向披靡，威力很大。激光应用很广泛，主要有激光打标、激光焊接、激光切割、光纤通信、激光光谱、激光测距、激光雷达、激光武器、激光唱片、激光指示器、激光矫视、激光美容、激光扫描、激光灭蚊器等等。

5) 相关问题

1. 激光发展史

激光的理论基础是 1917 年爱因斯坦提出的受激辐射光放大理论。1951 年，美国物理学家查尔斯·哈德·汤斯设想如果用分子，而不用电子线路，就可以得到波长足够小的无线电波。他和他的学生阿瑟·肖洛在 1953 年成功制成装置，实现了受激辐射微波放大。1958 年，肖洛和汤斯发现，将氖光灯泡所发射的光照在一种稀土晶体上时，晶体的分子会发出鲜艳的、始终会聚在一起的强光。根据这一现象，他们提出了“激光原理”，即物质在受到与其分子固有振荡频率相同的能量激发时，都会产生这种不发散的强光——激光。他们对此发表了论文并获得 1964 年的诺贝尔物理学奖。1960 年 5 月 15 日，西奥多·梅曼宣布获得了波长为 0.6943 微米的激光，这是人类有史以来获得的第一束激光。1960 年 7 月 7 日，梅曼制成世界上第一台激光器，工作物质为红宝石。前苏联科学家尼

第四章 深入高校实验室

古拉·巴索夫于 1960 年发明了半导体激光器。1961 年：激光首次在外科手术中用于杀灭视网膜肿瘤。1962 年：发明半导体二极管激光器，这是今天小型商用激光器的支柱。1969 年：激光用于遥感勘测，激光被射向阿波罗 11 号放在月球表面的反射器，测得的地月距离误差在几米范围内。1971 年：激光进入艺术世界，用于舞台光影效果，以及激光全息摄像。英国籍匈牙利裔物理学家 Dennis Gabor 凭借对全息摄像的研究获得诺贝尔奖。1974 年：第一个超市条形码扫描器出现。1975 年：IBM 投放第一台商用激光打印机。1978 年：飞利浦制造出第一台激光盘（LD）播放机。1982 年：第一台紧凑碟片（CD）播放机出现。1983 年：里根总统发表了“星球大战”的演讲，描绘了基于太空的激光武器。1988 年：北美和欧洲间架设了第一根光纤，用光脉冲来传输数据。1990 年：激光用于制造业，包括集成电路和汽车制造。1991 年：第一次用激光治疗近视，海湾战争中第一次用激光制导导弹。1996 年：东芝推出数字多用途光盘（DVD）播放器。2008 年：法国神经外科学家使用广导纤维激光和微创手术技术治疗了脑瘤。2010 年：美国国家核安全管理局（NNSA）表示，通过使用 192 束激光来束缚核聚变的反应原料、氢的同位素氘（质量数 2）和氚（质量数 3），解决了核聚变的一个关键困难。2011 年 3 月，研究人员研制的一种牵引波激光器能够移动物体，未来有望能移动太空飞船。2013 年 1 月，科学家已经成功研制出可用于医学检测的牵引光束。2014 年 6 月 5 日美国航天局利用激光束把一段时长 37 秒、名为“你好，世界！”的高清视频，只用了 3.5 秒就成功传回，相当于传输速率达到每秒 50 兆，而传统技术下载需要至少 10 分钟。

三. 激光器种类

按工作介质分气体激光器、固体激光器、半导体激光器、光纤激光器和染料激光器 5 大类，近来还发展了自由电子激光器。

探究：激光器通过调 Q，锁模（锁定频率）可使光强增大，如何调 Q，锁模？

调 Q 技术又叫 Q 开关技术，是将一般输出的连续激光能量压缩短到宽度极窄的脉冲中发射，从而使光源的峰值功率可以提高几个数量级的技术。主要分为电光调 Q，声光调 Q，饱和吸收调 Q，转镜调 Q，色心调 Q.

$Q=2\pi v$ 储存在腔内的能量/每秒损耗的能量，描述实现激光震荡的难易程度。在简单激光谐振腔中加入 Q 开关，Q 开关关闭时被激发到高能级上的粒子得以被保存，粒子数达到最大值时打开开关，由于此时高能级粒子数远大于粒子反转数，此时增益很高，可形成强激光脉冲。

锁模技术就是采用一定的调制方法，使激光振荡不同频率各纵模之间有确定的相位关系，即各纵模相邻频率间隔相等并固定为 $\Delta v = c/2nL$ ，故锁模也称为锁相。锁模分为①主动锁模：周期性调制谐振腔的损耗或光程 n；②被动锁模：利用可饱和吸收体的非线性吸收特性，对腔内激光的吸收是随光场强度而变化的；③自锁模：激活介质本身的非线性效应能够保持各个纵模频率的等间隔分布，并有确定的初相位关系；④同步泵浦锁模：周期性调制谐振腔的增益。

3. 激光的应用

工业：切割，加工，焊接等工艺

医学：可用来治疗眼科，牙科，血管瘤等疾病，可作内窥镜，可用于美容

军事：高能激光束可拦截导弹，打击远处目标，小型激光枪，激光狙击等

光通讯：由于波长缩小 10000 倍，光束聚焦比微波好得多。因此在接收器处可获得提高了数量级的功率密度。在卫星通信技术中，只需要较小的望远镜和较低的发射功率就能实现光的自由空间传输并获得极高的数据率传输。由于光经过大气层会产生衰减，所以光通信的优点在卫星间通信方面首先得到充分利用

核聚变：我国著名物理学家王淦昌院士 1964 年就提出了激光核聚变的初步理论，从而使我国在这一领域的科研工作走在当时世界各国的前列。1974 年，

第四章 深入高校实验室

我国采用一路激光驱动聚氘乙烯靶发生核反应，并观察到氘氘反应产生的中子。此外，著名理论物理学家于敏院士在 20 世纪 70 年代中期就提出了激光通过入射口、打进重金属外壳包围的空腔、以 X 光辐射驱动方式实现激光核聚变的概念。1986 年，我国激光核聚变实验装置“神光”研制成功。

第四章 深入高校实验室

耿逸然英才计划活动报告

指导教师：杨洁导师，任杨阳导师，宋峰教授

激光

激光是 20 世纪以来继核能、电脑、半导体之后，人类的又一重大发明，被称为“最快的刀”、“最准的尺”、“最亮的光”。原子受激辐射的光，故名“激光”。光是原子中的电子吸收能量后，从低能级跃迁到高能级，再从高能级回落到低能级，回落的时候释放的能量以光子的形式放出。而激光，就是被引诱（激发）出来的光子队列，这光子队列中的光子们，光学特性一样，步调极其一致。打个比方就是，普通光源，比如电灯泡发出来的光子各不同，而且会各个方向乱跑，很不团结，但是激光中的光子们则是心往一处想，劲往一处使，这导致它们所向披靡，威力很大。激光应用很广泛，主要有激光打标、激光焊接、激光切割、光纤通信、激光光谱、激光测距、激光雷达、激光武器、激光唱片、激光指示器、激光矫视、激光美容、激光扫描、激光灭蚊器等等。

相关问题

1. 激光发展史

激光的理论基础是 1917 年爱因斯坦提出的受激辐射光放大理论。1951 年，美国物理学家查尔斯·哈德·汤斯设想如果用分子，而不用电子线路，就可以得到波长足够小的无线电波。他和他的学生阿瑟·肖洛在 1953 年成功制成装置，实现了受激辐射微波放大。1958 年，肖洛和汤斯发现，将氖光灯泡所发射的光照射在一种稀土晶体上时，晶体的分子会发出鲜艳的、始终会聚在一起的强光。根据这一现象，他们提出了“激光原理”，即物质在受到与其分子固有振荡频率相同的能力激发时，都会产生这种不发散的强光——激光。他们对此发表了论文并获得 1964 年的诺贝尔物理学奖。1960 年 5 月 15 日，西奥多·梅曼宣布获得了波长为 0.6943 微米的激光，这是人类有史以来获得的第一束激光。

激光器种类

按工作介质分气体激光器、固体激光器、半导体激光器、光纤激光器和染料激光器 5 大类，近来还发展了自由电子激光器。

探究：激光器通过调 Q，锁模（锁定频率）可使光强增大，如何调 Q，锁模？

调 Q 技术又叫 Q 开关技术，是将一般输出的连续激光能量压缩短到宽度极窄的脉冲中发射，从而使光源的峰值功率可以提高几个数量级的技术。主要分为电光调 Q，声光调 Q，饱和吸收调 Q，转镜调 Q，色心调 Q.

$Q=2\pi v$ 储存在腔内的能量/每秒损耗的能量，描述实现激光震荡的难易程度。

在简单激光谐振腔中加入 Q 开关，Q 开关关闭时被激发到高能级上的粒子得以被保存，粒子数达到最大值时打开开关，由于此时高能级粒子数远大于粒子反转数，此时增益很高，可形成强激光脉冲。

锁模技术就是采用一定的调制方法，使激光振荡不同频率各纵模之间有确定的相位关系，即各纵模相邻频率间隔相等并固定为 $\Delta v = c/2nL$ ，故锁模也称为锁相。锁模分为①主动锁模：周期性调制谐振腔的损耗或光程 n；②被动锁模：利用可饱和吸收体的非线性吸收特性，对腔内激光的吸收是随光场强度而变化的；③自锁模：激活介质本身的非线性效应能够保持各个纵模频率的等间隔分布，并有确定的初相位关系；④同步泵浦锁模：周期性调制谐振腔的增益。

3. 激光的应用

工业：切割，加工，焊接等工艺

医学：可用来治疗眼科，牙科，血管瘤等疾病，可作内窥镜，可用于美容

军事：高能激光束可拦截导弹，打击远处目标，小型激光枪，激光狙击等

光通讯：由于波长缩小 10000 倍，光束聚焦比微波好得多。因此在接收器处可获得提高了数量级的功率密度。在卫星通信技术中，只需要较小的望远镜和较低的发射功率就能实现光的自由空间传输并获得极高的数据率传输。由于光经过大气层会产生衰减，所以光通信的优点在卫星间通信方面首先得到充分利用

核聚变：我国著名物理学家王淦昌院士 1964 年就提出了激光核聚变的初步理论，从而使我国在这一领域的科研工作走在当时世界各国的前列。1974 年，我国采用一路激光驱动聚氘乙烯靶发生核反应，并观察到氘氘反应产生的中子。此外，著名理论物理学家于敏院士在 20 世纪 70 年代中期就提出了激光通过入射口、打进重金属外壳包围的空腔、以 X 光辐射驱动方式实现激光核聚变的概念。1986

年，我国激光核聚变实验装置“神光”研制成功。

激光

激光是 20 世纪以来，继原子能、计算机、半导体之后，人类的又一重大发明，被称为“最快的刀”、“最准的尺”、“最亮的光”和“奇异的激光”。

激光的原理早在 1916 年已被著名的美国物理学家爱因斯坦发现，但直到 1960 年激光才被首次成功制造。激光是在有理论准备和生产实践迫切需要的背景下应运而生的，它一问世，就获得了异乎寻常的飞快发展，激光的发展不仅使古老的光学科学和光学技术获得了新生，而且导致整个一门新兴产业的出现。激光可使人们有效地利用前所未有的先进方法和手段，去获得空前的效益和成果，从而促进了生产力的发展。我国激光产业的下游需求主要是激光加工、光通讯、激光测量、激光器、激光元部件、激光医疗，其市场份额分别为 43.5%、25.7%、14.3%、6.1%、4.8%、3.7%。

基本特性

纤绿激光器

光与物质的相互作用，实质上是组成物质的微观粒子吸收或辐射光子，同时改变自身运动状况的表现。

微观粒子都具有特定的一套能级（通常这些能级是分立的）。任一时刻粒子只能处在与某一能级相对应的状态（或者简单地表述为处在某一个能级上）。与光子相互作用时，粒子从一个能级跃迁到另一个能级，并相应地吸收或辐射光子。光子的能量值为此两能级的能量差 ΔE ，频率为 $v = \Delta E/h$ (h 为普朗克常量)。

1. 受激吸收（简称吸收）

处于较低能级的粒子在受到外界的激发（即与其他的粒子发生了有能量交换的相互作用，如与光子发生非弹性碰撞），吸收了能量时，跃迁到与此能量相对应的较高能级。这种跃迁称为受激吸收。

2. 自发辐射

粒子受到激发而进入的激发态，不是粒子的稳定状态，如存在着可以接纳粒子的较低能级，即使没有外界作用，粒子也有一定的概率，自发地从高能级激发

态 (E2) 向低能级基态 (E1) 跃迁，同时辐射出能量为 $(E_2 - E_1)$ 的光子，光子频率 $\nu = (E_2 - E_1) / h$ 。这种辐射过程称为自发辐射。众多原子以自发辐射发出的光，不具有相位、偏振态、传播方向上的一致，是物理上所说的非相干光。

3. 受激辐射、激光

1917 年爱因斯坦从理论上指出：除自发辐射外，处于高能级 E2 上的粒子还可以另一方式跃迁到较低能级。他指出当频率为 $\nu = (E_2 - E_1) / h$ 的光子入射时，也会引发粒子以一定的概率，迅速地从能级 E2 跃迁到能级 E1，同时辐射一个与外来光子频率、相位、偏振态以及传播方向都相同的光子，这个过程称为受激辐射。

可以设想，如果大量原子处在高能级 E2 上，当有一个频率 $\nu = (E_2 - E_1) / h$ 的光子入射，从而激励 E2 上的原子产生受激辐射，得到两个特征完全相同的光子，这两个光子再激励 E2 能级上原子，又使其产生受激辐射，可得到四个特征相同的光子，这意味着原来的光信号被放大了。这种在受激辐射过程中产生并被放大的光就是激光。

爱因斯坦 1917 提出受激辐射，激光器却在 1960 年问世，相隔 43 年，为什么？主要是，普通光源中粒子产生受激辐射的概率极小。当频率一定的光射入工作物质时，受激辐射和受激吸收两过程同时存在，受激辐射使光子数增加，受激吸收却使光子数减小。物质处于热平衡态时，粒子在各能级上的分布，遵循平衡态下粒子的统计分布律。按统计分布规律，处在较低能级 E1 的粒子数必大于处在较高能级 E2 的粒子数。这样光穿过工作物质时，光的能量只会减弱不会加强。要想使受激辐射占优势，必须使处在高能级 E2 的粒子数大于处在低能级 E1 的粒子数。这种分布正好与平衡态时的粒子分布相反，称为粒子数反转分布，简称粒子数反转。如何从技术上实现粒子数反转是产生激光的必要条件。

理论研究表明，任何工作物质，在适当的激励条件下，可在粒子体系的特定高低能级间实现粒子数反转。若原子或分子等微观粒子具有高能级 E2 和低能级 E1，E2 和 E1 能级上的布居数密度为 N2 和 N1，在两能级间存在着自发发射跃迁、受激发射跃迁和受激吸收跃迁等三种过程。受激发射跃迁所产生的受激发射光，

与入射光具有相同的频率、相位、传播方向和偏振方向。因此，大量粒子在同一相干辐射场激发下产生的受激发射光是相干的。受激发射跃迁几率和受激吸收跃迁几率均正比于入射辐射场的单色能量密度。当两个能级的统计权重相等时，两种过程的几率相等。在热平衡情况下 $N_2 \approx N_1$ ，这种状态称为粒子数反转状态。在这种情况下，受激发射跃迁占优势。光通过一段长为 L 的处于粒子数反转状态的激光工作物质（激活物质）后，光强增大 eG_1 倍。 G_1 为正比于 $(N_2 - N_1)$ 的系数，称为增益系数，其大小还与激光工作物质的性质和光波频率有关。一段激活物质就是一个激光放大器。如果，把一段激活物质放在两个互相平行的反射镜（其中至少有一个是部分透射的）构成的光学谐振腔中（图 1），处于高能级的粒子会产生各种方向的自发发射。其中，非轴向传播的光波很快逸出谐振腔外；轴向传播的光波却能在腔内往返传播，当它在激光物质中传播时，光强不断增长。如果谐振腔内单程小信号增益 G_{01} 大于单程损耗 δ (G_{01} 是小信号增益系数)，则可产生自激振荡。原子的运动状态可以分为不同的能级，当原子从高能级向低能级跃迁时，会释放出相应能量的光子（所谓自发辐射）。同样的

定向发光

普通光源是向四面八方发光。要让发射的光朝一个方向传播，需要给光源装上一定的聚光装置，如汽车的车前灯和探照灯都是安装有聚光作用的反光镜，使辐射光汇集起来向一个方向射出。激光器发射的激光，天生就是朝一个方向射出，光束的发散度极小，大约只有 0.001 弧度，接近平行。1962 年，人类第一次使用激光照射月球，地球离月球的距离约 38 万公里，但激光在月球表面的光斑不到两公里。若以聚光效果很好，看似平行的探照灯光柱射向月球，按照其光斑直径将覆盖整个月球。天文学家相信，外星人或许正使用闪烁的激光作为一种宇宙灯塔来尝试与地球进行联系。

亮度极高

在激光发明前，人工光源中高压脉冲氙灯的亮度最高，与太阳的亮度不相上下，而红宝石激光器的激光亮度，能超过氙灯的几百亿倍。因为激光的亮度极高，

所以能够照亮远距离的物体。红宝石激光器发射的光束在月球上产生的照度约为 0.02 勒克斯（光照度的单位），颜色鲜红，激光光斑肉眼可见。若用功率最强的探照灯照射月球，产生的照度只有约一万亿分之一勒克斯，人眼根本无法察觉。激光亮度极高的主要原因是定向发光。大量光子集中在一个极小的空间范围内射出，能量密度自然极高。

激光的亮度与阳光之间的比值是百万级的，而且它是人类创造的。

激光的颜色

激光的颜色取决于激光的波长，而波长取决于发出激光的活性物质，即被刺激后能产生激光的那种材料。刺激红宝石就能产生深玫瑰色的激光束，它应用于医学领域，比如用于皮肤病的治疗和外科手术。公认最贵重的气体之一的氩气能够产生蓝绿色的激光束，它有诸多用途，如激光印刷术，在显微眼科手术中也是不可缺少的。半导体产生的激光能发出红外光，因此我们的眼睛看不见，但它的能量恰好能“解读”激光唱片，并能用于光纤通讯。但有的激光器可调节输出激光的波长。

激光分离技术

激光分离技术主要指激光切割技术和激光打孔技术。激光分离技术是将能量聚焦到微小的空间，可获得 $10^5\text{--}10^{15}\text{W/cm}^2$ 极高的辐照功率密度，利用这一高密度的能量进行非接触、高速度、高精度的加工方法。在此如此高的光功率密度照射下，几乎可以对任何材料实现激光切割和打孔。激光切割技术是一种摆脱传统的机械切割、热处理切割之类的全新切割法，具有更高的切割精度、更低的粗糙度、更灵活的切割方法和更高的生产效率等特点。激光打孔方法作为在固体材料上加工孔方法之一，已成为一项拥有特定应用的加工技术，主要运用在航空、航天与微电子行业中。

颜色极纯

光的颜色由光的波长（或频率）决定。一定的波长对应一定的颜色。太阳辐射出的可见光段的波长分布范围约在 0.76 微米至 0.4 微米之间，对应的颜色从红色到紫色共 7 种颜色，所以太阳光谈不上单色性。发射单种颜色光的光源称为

第四章 深入高校实验室

单色光源，它发射的光波波长单一。比如氪灯、氦灯、氖灯、氢灯等都是单色光源，只发射某一种颜色的光。单色光源的光波波长虽然单一，但仍有一定的分布范围。如氖灯只发射红光，单色性很好，被誉为单色性之冠，波长分布的范围仍有 0.00001 纳米，因此氖灯发出的红光，若仔细辨认仍包含有几十种红色。由此可见，光辐射的波长分布区间越窄，单色性越好。

激光器输出的光，波长分布范围非常窄，因此颜色极纯。以输出红光的氦氖激光器为例，其光的波长分布范围可以窄到 μm 级别，是氪灯发射的红光波长分布范围的万分之二。由此可见，激光器的单色性远远超过任何一种单色光源。

孙勣举英才计划活动报告

一、 激光

1. 理论基础：爱因斯坦提出的受激辐射理论。
2. 第一台激光器：1960年，世界上第一台红宝石激光器问世。
3. 特性：单色性好，方向性好，亮度高。简并度高。
4. 应用：工业、军事、医学、信息存储、光通讯、核聚变等。

二、 原子结构

1. 能级：电子不同轨道上电子所具有的不同能量值，这个能量值就叫能级。
另外，将一个电子所在的最低能级称为基态，高于基态的能级称为激发态。
2. 跃迁：
 - ①辐射跃迁：发射或吸收光子的跃迁
 - ②非辐射跃迁：不发射或吸收光子的跃迁
3. 激发态的平均寿命 τ ： $10^{-7} \sim 10^{-9}$ s
4. 亚稳态：平均寿命较长的激发态，平均寿命 τ 可达 10^{-3} s

三、 自发辐射、受激吸收、受激辐射

1. 自发辐射：没有任何外界作用下激发态电子自发从高能级向低能级跃迁
2. 受激吸收：基态原子吸收光子的能量跃迁到高能级。
3. 受激辐射：处于激发态的原子受到能量为 $E=h\nu=E_2-E_1$ 的外来光子激励，由高能级跃迁到低能级，同时辐射出与入射光子全同的光子，光子数增多，光强增强，实现光放大。
4. 通常情况下受激辐射概率很小，要实现激光发射，需要实现集居数反转，即使 E_2 上的粒子数 n_2 大大多于 E_1 上的粒子数 n_1 ，使受激辐射占优势。

四、 二能级系统、三能级系统、四能级系统

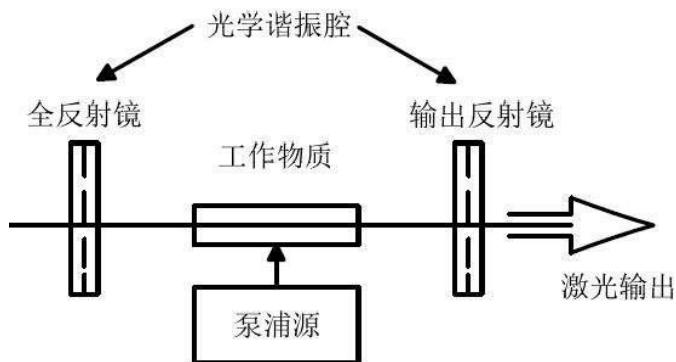
1. 二能级系统：无论怎样激励， n_1 总是大于 n_2 ，不能实现粒子数反转
2. 三能级系统：需要很强的激励才能使 n_2 大于 n_1 。世界上第一台红宝石激光器就是三能级系统

3. 四能级系统：拥有四个能级，E3 为亚稳态，E3 与 E2 之间的粒子数反转比三能级系统容易实现

五、激光器

1. 激光振荡条件：增益大于损耗

2. 基本组成



活动后问题

一、激光器历史

1. 1917 年：爱因斯坦提出“受激发射”理论，一个光子使得受激原子发出一个相同的光子。
2. 1953 年：美国物理学家 Charles Townes 用微波实现了激光器的前身：微波受激发射放大（英文首字母缩写 maser）
3. 1957 年：Townes 的博士生 Gordon Gould 创造了“laser”这个单词，从理论上指出可以用光激发原子，产生一束相干光束，之后人们为其申请了专利，相关法律纠纷维持了近 30 年。
4. 1957 年，王大珩等在长春建立了我国第一所光学专业研究所——中国科学院（长春）光学精密仪器机械研究所。
5. 1960 年，美国加利福尼亚州休斯实验室的科学家西奥多·梅曼（T. H. Maiman）在量子电子学发展成果的基础上发明了世界上第一台红宝石固态激光器（Ruby Laser）。

第四章 深入高校实验室

-
6. 1961 年，中国第一台激光器诞生于王大珩领导的长春光机所。
 7. 1961 年，德若凡发明了第一台（氦氖）气体激光器。
 8. 1961 年，激光首次在外科手术中用于杀灭视网膜肿瘤。
 9. 1962 年，前苏联科学家尼古拉-巴索夫发明半导体二极管激光器，这是今天小型商用激光器的支柱。
 10. 1963 年，帕特尔 (C. Patel) 发明了第一台 CO₂ 激光器。
 11. 1964 年，我国著名物理学家王淦昌院士提出了激光核聚变的初步理论，从而使我国在这一领域的科研工作走在当时世界各国的前列。
 12. 1965 年，在工业领域，激光打孔机成功用于拉丝模打孔生产；医疗领域，激光视网膜焊接器进行动物临床试验；国防领域，研制成功激光漫射测距机（精度为 10m/10km）。
 13. 1965 年，贝尔实验室发明了第一台 YAG 激光器。
 14. 1966 年，研制出遥控脉冲激光多普勒测速仪。
 15. 1968 年，开始发展高功率 CO₂ 激光器。
 16. 1970 年，出现的室温连续振荡 780nm 波长近红外 AlGaAs 双异质结构半导体激光器，为半导体激光器在光盘存储领域的广泛应用奠定了基础。
 17. 1971 年，出现了第一台商用 1KWC02 激光器。
 18. 1971 年，激光进入艺术世界，用于舞台光影效果，以及激光全息摄像。英国籍匈牙利裔物理学家 Dennis Gabor 凭借对全息摄像的研究获得诺贝尔奖。
 19. 1974 年，美国通用汽车公司所属的萨基诺厂将汽车操纵器外壳的激光热处理正式应用于生产上。
 20. 1975 年，IBM 投放第一台商用激光打印机。
 21. 1976 年，由中科院长春光机所、长春第一汽车制造厂轿车分厂等单位合作研制的 CO₂ 激光切割机成功的应用于“红旗”牌轿车覆盖件的切割上。
 22. 1978 年，中科院长春光机所采用本所研制的 500W CO₂ 激光器对工业上用的数种金属材料较为系统的激光热处理研究实验。
 23. 1979 年，由中国机械工程学会热处理学会发布的“钢与铸铁的热处理”研

究报告引起了专家学者广泛关注。

24. 1980 年，长春召开了“全国电子束与激光束热处理学术交流会”第一次全国性专业会议，“高密度热处理技术委员会及”“激光加工专业技术委员会成立”。
25. 1982 年，激光加工列为“七五”“十五”国家科技重点攻关内容。
26. 1982 年，日本先锋公司用夏普公司制造半导体激光器，作为光盘读出光源的时代正式开始了。
27. 1983 年，“全国热处理学术交流会与攻关方案论证会”在武汉召开，包括激光器及激光热处理工艺等若干项目通过方案论证，正式列入国家“六五”科技攻关课题。
28. 1983 年，里根总统发表了“星球大战”的演讲，描绘了基于太空的激光武器。
29. 1988 年，北美和欧洲间架设了第一根光纤，用光脉冲来传输数据。
30. 1988 年，美国麻省宝丽来公司的 Elias Snitzer 和 Hong Po 等人最早提出了双包层光纤激光器的构想。
31. 1988 年，巴西宣布研制成功一种便携式半导体激光大气通信系统。使用时，一方将双筒镜对准另一方即可实现通信，通信距离为 1 千米，如果将光学天线固定下来，通信距离可达 15 千米。
32. 1990 年，俄罗斯研制成功了大功率半导体激光器。激光用于制造业，包括集成电路和汽车制造。
33. 1991 年，激光首次用于人体治疗近视；海湾战争中首次使用激光制导导弹。
34. 1991 年，全球最大的光纤激光制造商 IPG Photonics 由 Valentin Gapontsev 博士创建，总部设在美国东部麻省。于 2006 年在美国纳斯达克上市。
35. 1991 年，第一次用激光治疗近视，海湾战争中第一次用激光制导导弹。
36. 1993 年，德国首次出现了商用机载激光雷达系统。
37. 1994，我国第一台激光陀螺工程化样机在国防科技大学诞生，继美俄法之后，我国成为世界上第四个能够独立研制“激光陀螺”的国家。

第四章 深入高校实验室

38. 1995 年，机载激光雷达技术从实验室走向商业化及产业化。
39. 1996 年，东芝推出数字多用途光盘播放器，就是我们常说的 DVD 碟机。
40. 1996 年，大族激光成立。并于 2004 年成功在深圳证券交易所上市。大族激光的主导产品产销量目前位居世界第一。
41. 1998 年，全国激光产品生产单位突破 100 家，从业人员 6400 余人，产值由 1988 年的 1 亿元到 1998 年的 8 亿元，出口 1120 万美元。
42. 1999 年，华工科技成立。形成了激光装备制造产业、激光全息防伪和物联网科技产业、敏感电子元器件和传感器技术产业、光通信及无源器件产业等四大板块。
43. 2000 年，SPI 公司成立，光纤激光器产品发展迅速，产品涵盖 400W 以内连续光纤激光器和 40W 以内脉冲光纤激光器。
44. 2001 年，CO₂ 激光器及 YAG 激光器已有系列化产品并具备产业化条件。
45. 2002 年，激光标记、激光切割、激光焊接、激光热处理、激光打孔已广泛用于电子工业、汽车工业、机械制造业、钢铁冶金、石油化工、轻工等。
46. 2007 年，武汉锐科成立。打破了我国光纤激光器全部依赖国外技术封锁和价格垄断。填补了国内空白，迫使同类进口产品价格下降 50%。
47. 2008 年，法国神经外科学家使用广导纤维激光和微创手术技术治疗了脑瘤。
48. 2010 年，美国国家核安全管理局（NNSA）表示，通过使用 192 束激光来束缚核聚变的反应原料、氢的同位素氘（质量数 2）和氚（质量数 3），解决了核聚变的一个关键困难。
49. 2012 年，德克萨斯大学奥斯汀分校的物理学家与台湾和中国的同事们共同研究开发出了世界上最小的半导体激光器。
50. 2012 年，华工科技与武汉锐科共同研制出 4kW 光纤激光器，成为全球第三个拥有此项技术的光纤激光器企业。
51. 2013 年，美国始终无法生产高强度、大尺寸的激光成形钛合金构件。王华明团队的“飞机钛合金大型复杂整体构件激光成形技术”解决了制造过程中钛合金变形、断裂的技术难题。

第四章 深入高校实验室

-
- 52. 2014 年，国防科技大学激光陀螺技术创新团队构建了具有独立知识产权的高水平激光陀螺全闭环研发体系，研发与应用水平达到了国际先进、国内领先水平。
 - 53. 2015 年，中科院上海光机所研制的 10PW（千万亿瓦，拍瓦）级超强超短激光装置，实现了 1PW 激光脉冲输出。
 - 54. 2016 年，中国首次实现了“高功率光纤激光器”核心器件全国产化目标，汽车制造中的高质高效激光焊接、切割关键工艺及成套装备”项目，打破了 40 多年的国外垄断。
 - 55. 2017 年，激光技术基本做到了在我国军事领域及民用领域应用全覆盖。

二、激光器的应用

世界上第一台激光器诞生于 1960 年，中国于 1961 年研制出第一台激光器，40 多年来，激光技术与应用发展迅猛，已与多个学科相结合形成多个应用技术领域，比如光电技术，激光医疗与光子生物学，激光加工技术，激光检测与计量技术，激光全息技术，激光光谱分析技术，非线性光学，超快激光学，激光化学，量子光学，激光雷达，激光制导，激光分离同位素，激光可控核聚变，激光武器等等。这些交叉技术与新的学科的出现，大大地推动了传统产业和新兴产业的发展。

日常生活中，激光可以用于激光指示，通常在会报、教学、讲解人员都会激光指示器用它来投映一个光点或一条光线指向物体，但它可能会破坏或影响导览物的场所，例如艺术馆（有些画作怕光）、动物园等都不宜使用。激光加工技术是利用激光束与物质相互作用的特性对材料(包括金属与非金属)进行切割、焊接、表面处理、打孔、微加工以及做为光源，识别物体等的一门技术。 还可以用于激光加工，激光加工技术是利用激光束与物质相互作用的特性对材料(包括金属与非金属)进行切割、焊接、表面处理、打孔、微加工以及做为光源，识别物体等的一门技术。

二、 激光器分类

第四章 深入高校实验室

固体激光器种类及应用				
增益介质	振荡波段	优点	缺点	应用领域
红宝石	可见	结构简单, 荧光寿命长	工作时发热量大, 转换效率低	医学、工业以及众多科研领域
钛蓝宝石	紫外-红外	重复频率高、功率相对高, 波长可调	荧光寿命和受激发射截面乘积小, 导致激光器稳定性较低	飞秒分光、非线性光学、白色光发生、太赫兹波发生
Nd:YAG	红外	热导率好, 可获得大功率脉冲, 输出功率高	能量使用率偏低	军事、工业和医疗(五官科、妇科、外科应用较多)
Yb:YAG		量子效率高, 荧光寿命长, 可发生、放大皮秒以下的脉冲	存在下能级损耗, 需要强泵浦; 脉冲放大场合可能发生光损伤	LD泵浦的高功率Yb-YAG固体激光器成为新的研究热点, 并被视为发展高效、高功率固体激光器的一个主要方向
Ho:YAG		处于对人眼安全波段的范围内, 穿透深度非常浅	对冷却和干燥度有严格的要求	光通信, 雷达和医学应用
Er:YAG		输出2.9μm的波长, 能被水吸收	晶体主要吸收可见光和紫外光, 所以光腔反射镜的材料多使用高反射的铝和银	主要应用在医学中, 对激光外科和血管外科有很大的应用潜力

气体激光器种类及应用				
增益介质	振荡波段	优点	缺点	应用领域
HeNe	可见-红外	稳定性高, 寿命长	功率低, 效率低	水中照明、干涉仪、光学显微镜、流速流量测量等精密测量领域
惰性气体(Ar+/Kr+)	紫外-可见	连续输出功率高, 稳定性高, 寿命长	需要大电流制作惰性气体才能振荡	激光表演、激光显示、半导体材料加工、拉曼光谱、全息、非线性光学、医疗诊断
金属蒸汽(Cu)	可见	平均功率高、重复频率高	运行成本高	染料激光器的泵浦源, 高速闪光照相、大屏幕投影电视及材料加工等
CO ₂	远红外	效率高, 光束质量好, 能连续和脉冲输出, 稳定性好, 易被生物组织吸收应用范围广	柔性化程度低, 成本高, 需定期维护	金属/非金属(纸张、木材、玻璃、家纺)材料加工, 科研, 国防, 牙科、医美等
准分子	紫外	增益大, 转换效率高, 调谐范围宽, 频率高, 能量大, 加工分辨率高	光束品质不高, 基本是多模	分离同位素, 高分辨率全息术, 激光武器, 光通信, 遥感, LASIK手术、ELCA等医学应用
化学(HF、CO等)	红外	输出功率极高	化学反应释放大量卤化物; 需使用散热装置才能保证反应持续进行, 且反应缓慢	核聚变炉、火箭推进、弹道导弹防卫

第四章 深入高校实验室

其他常用激光器种类及应用				
增益介质	振荡波段	优点	缺点	应用领域
染料	紫外-红外	光谱范围较宽，波长可调	介质寿命短，输出功率受限，目前基本被钛蓝宝石等波长可调的固体激光器取代	激光分光、大红脸症治疗
半导体	紫外-红外	体积小，价格低，效率高，使用寿命长，功耗低	早期的半导体激光器方向性、单色性和相干性等方面较差。但目前已达到很高水平，光束质量也有很大提高。	光盘、激光打印机、激光笔、光通信、激光电视、小型激光投影仪
光纤	红外	小型轻量化，光束品质好，内光路无需维护，长期稳定性好，容易实现大功率化，可长距离传输，加工效率高	容易发生非线性光学效应，不适合高强度脉冲工作，光纤成本高	光纤通讯、激光空间远距通讯、金属加工、大型工业、军事国防
自由电子	紫外-红外	高功率、高效率、波长可大范围调谐、超短脉冲的时间结构	价格非常高	物理学研究、激光武器、激光聚变、光化学、光通讯等领域均有可观前景

四、激光器通过调 Q，锁模（锁定频率）可使光强增大

所谓调 Q 就是指调节激光器的 Q 值的技术。在激光器泵浦的初期，把谐振腔的 Q 值调得很低，使激光器暂时不满足振荡条件，在泵浦脉冲的激励下获得很高的粒子数密度时，再迅速调大谐振腔的 Q 值，此时反转粒子数密度远大于阈值反转粒子数密度，激光振荡迅速建立并达到很高的峰值功率，同时反转粒子数迅速被耗尽，脉冲很快结束，这样就获得了具有窄脉冲宽度和大峰值功率的激光脉冲。利用调 Q 技术能够建立纳秒脉冲的输出。

锁模(mode locking)是激光器产生超短脉冲的重要技术。激光器光腔内存在多种模式的激光脉冲，当这些模式相互间的相位实现相长干涉时才产生激光超短脉冲或称锁模脉冲输出。锁模一般分为两类：一类是主动锁模，另一类是被动锁模。前者是从外部向激光器输入信号周期性地调制激光器的增益或损耗，达到锁模；后者则采用饱和吸收器(例如一片薄的半导体膜)，利用其非线性吸收达到锁定相对相位，产生超短脉冲输出。

孟越英才计划活动报告

指导教师：宋峰教授 时间：10月14日 地点：南开大学第五教学楼

内容：激光基础知识

一. 简介

1. 激光，英文 LASER(Light amplification by stimulated emission of radiation)，即受激辐射光放大。
2. 其理论基础是爱因斯坦提出的受激辐射理论。
3. 1960年，世界上第一台红宝石激光器问世。
4. 特点：单色性好，方向性好，亮度高。即具有很高的量子简并度。
5. 应用：工业、军事、医学、信息存储、光通讯、核聚变等。（详见问题探究）

二. 基本原理

1. 能级：不同轨道上电子所具有的不同能量值

将一个电子所在的最低能级称为基态，高于基态的能级称为激发态

2. 跃迁

辐射跃迁：发射或吸收光子的跃迁

非辐射跃迁：不发射或吸收光子的跃迁

3. 激发态平均寿命：电子处于激发态的平均时间，典型值 10^{-7} 至 10^{-9} 次方秒

*亚稳态 平均寿命较长的激发态，平均寿命可达 10^{-3} 次方秒

4. 爱因斯坦粒子模型

5. 自发辐射 没有任何外界作用下激发态电子自发从高能级向低能级跃迁

6. 受激辐射 处于激发态的原子受到能量为 $h\nu = E_2 - E_1$ 的外来光子激励，由高能级跃迁到低能级，同时辐射出与入射光子全同的光子，光子数增多，光强增强，实现光放大。

7. 受激吸收 基态原子吸收光子的能量跃迁到高能级。

通常情况下受激辐射概率很小，要实现激光发射，需要实现集居数反转，即使 E_2 上的粒子数大多于 E_1 上的粒子数，使受激辐射占优势。

-
- 8. 二能级系统 无论怎样激励 $n_1 > n_2$, 不能实现粒子数反转
 - 9. 三能级系统 需要很强的激励才能使 $n_2 > n_1$ 。红宝石为三能级系统
 - 10. 四能级系统 E_3 与 E_2 之间的粒子数反转比三能级系统容易实现
 - 9. 振荡条件: 增益大于损耗
 - 11. 激光器结构

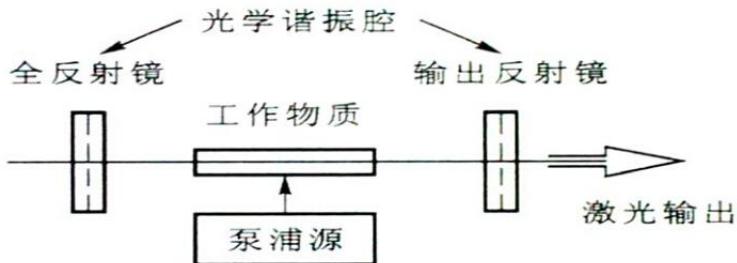


图 3.2 激光器的基本结构示意图

- 12. 三个条件 增益介质, 充当工作物质
 - 激励源实现粒子数反转, 做泵浦源
 - 谐振腔 使达到光学正反馈。
 - 激光具有空间相干性, 是相干光, 具有很好的方向性和高强度。
- 三. 查资料
- 1. 激光发展史
- 激光的理论基础是 1917 年爱因斯坦提出的受激辐射光放大理论。1951 年, 美国物理学家查尔斯·哈德·汤斯设想如果用分子, 而不用电子线路, 就可以得到波长足够小的无线电波。他和他的学生阿瑟·肖洛在 1953 年成功制成装置, 实现了受激辐射微波放大。1958 年, 肖洛和汤斯发现, 将氖光灯泡所发射的光照在一种稀土晶体上时, 晶体的分子会发出鲜艳的、始终会聚在一起的强光。根据这一现象, 他们提出了“激光原理”, 即物质在受到与其分子固有振荡频率相同的能量激发时, 都会产生这种不发散的强光——激光。他们对此发表了论文并获得 1964 年的诺贝尔物理学奖。1960 年 5 月 15 日, 西奥多·梅曼宣布获得了波长为 0.6943 微米的激光, 这是人类有史以来获得的第一束激光。1960 年 7

第四章 深入高校实验室

月 7 日，梅曼制成世界上第一台激光器，工作物质为红宝石。前苏联科学家尼古拉·巴索夫于 1960 年发明了半导体激光器。1961 年：激光首次在外科手术中用于杀灭视网膜肿瘤。1962 年：发明半导体二极管激光器，这是今天小型商用激光器的支柱。1969 年：激光用于遥感勘测，激光被射向阿波罗 11 号放在月球表面的反射器，测得的地月距离误差在几米范围内。1971 年：激光进入艺术世界，用于舞台光影效果，以及激光全息摄像。英国籍匈牙利裔物理学家 Dennis Gabor 凭借对全息摄像的研究获得诺贝尔奖。1974 年：第一个超市条形码扫描器出现。1975 年：IBM 投放第一台商用激光打印机。1978 年：飞利浦制造出第一台激光盘（LD）播放机。1982 年：第一台紧凑碟片（CD）播放机出现。1983 年：里根总统发表了“星球大战”的演讲，描绘了基于太空的激光武器。1988 年：北美和欧洲间架设了第一根光纤，用光脉冲来传输数据。1990 年：激光用于制造业，包括集成电路和汽车制造。1991 年：第一次用激光治疗近视，海湾战争中第一次用激光制导导弹。1996 年：东芝推出数字多用途光盘（DVD）播放器。2008 年：法国神经外科学家使用广导纤维激光和微创手术技术治疗了脑瘤。2010 年：美国国家核安全管理局（NNSA）表示，通过使用 192 束激光来束缚核聚变的反应原料、氢的同位素氘（质量数 2）和氚（质量数 3），解决了核聚变的一个关键困难。2011 年 3 月，研究人员研制的一种牵引波激光器能够移动物体，未来有望能移动太空飞船。2013 年 1 月，科学家已经成功研制出可用于医学检测的牵引光束。2014 年 6 月 5 日美国航天局利用激光束把一段时长 37 秒、名为“你好，世界！”的高清视频，只用了 3.5 秒就成功传回，相当于传输速率达到每秒 50 兆，而传统技术下载需要至少 10 分钟。

2. 激光的应用

工业：切割，加工，焊接等工艺

医学：可用来治疗眼科，牙科，血管瘤等疾病，可作内窥镜，可用于美容

军事：高能激光束可拦截导弹，打击远处目标，小型激光枪，激光狙击等

第四章 深入高校实验室

光通讯：由于波长缩小 10000 倍，光束聚焦比微波好得多。因此在接收器处可获得提高了数量级的功率密度。在卫星通信技术中，只需要较小的望远镜和较低的发射功率就能实现光的自由空间传输并获得极高的数据率传输。由于光经过大气层会产生衰减，所以光通信的优点在卫星间通信方面首先得到充分利用。

核聚变：我国著名物理学家王淦昌院士 1964 年就提出了激光核聚变的初步理论，从而使我国在这一领域的科研工作走在当时世界各国的前列。1974 年，我国采用一路激光驱动聚氘乙烯靶发生核反应，并观察到氘氘反应产生的中子。此外，著名理论物理学家于敏院士在 20 世纪 70 年代中期就提出了激光通过入射口、打进重金属外壳包围的空腔、以 X 光辐射驱动方式实现激光核聚变的概念。1986 年，我国激光核聚变实验装置“神光”研制成功。

3. 激光器种类

按工作介质分气体激光器、固体激光器、半导体激光器、光纤激光器和染料激光器 5 大类，近来还发展了自由电子激光器。

探究：激光器通过调 Q，锁模（锁定频率）可使光强增大，如何调 Q，锁模？

调 Q 技术又叫 Q 开关技术，是将一般输出的连续激光能量压缩短到宽度极窄的脉冲中发射，从而使光源的峰值功率可以提高几个数量级的技术。主要分为电光调 Q，声光调 Q，饱和吸收调 Q，转镜调 Q，色心调 Q.

$Q=2\pi v$ 储存在腔内的能量/每秒损耗的能量，描述实现激光震荡的难易程度。在简单激光谐振腔中加入 Q 开关，Q 开关关闭时被激发到高能级上的粒子得以被保存，粒子数达到最大值时打开开关，由于此时高能级粒子数远大于粒子反转数，此时增益很高，可形成强激光脉冲。

锁模技术就是采用一定的调制方法，使激光振荡不同频率各纵模之间有确定的相位关系，即各纵模相邻频率间隔相等并固定为 $\Delta v=c/2nL$ ，故锁模也称

第四章 深入高校实验室

为锁相。锁模分为①主动锁模：周期性调制谐振腔的损耗或光程 n ；②被动锁模：利用可饱和吸收体的非线性吸收特性，对腔内激光的吸收是随光场强度而变化的；③自锁模：激活介质本身的非线性效应能够保持各个纵模频率的等间隔分布，并有确定的初相位关系；④同步泵浦锁模：周期性调制谐振腔的增益。

第四章 深入高校实验室
牛厚朴英才计划活动报告

激光原理：

1960年梅曼制成了世界上第一台激光器——红宝石激光器。

激光单色性好，方向性好，亮度高，具有很高的量子简并度。

辐射跃迁：发射或吸收光子的跃迁

非辐射跃迁：不发射或吸收光子的跃迁

激发态平均寿命： $10^{-1} \sim 10^9 s$ 。 亚稳态： $10^{-3} s$

自发辐射：没有外界作用下激发态电子自发从高能级向低能级跃迁

受激辐射：处于激发态的电子受到能量 $h\nu = E_2 - E_1$ 的光子激励，跃迁到低能级，辐射出与入射光子相同的光子。

受激吸收：基态电子吸收光子的能量跃迁到高能级。

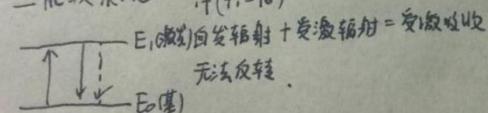
根据玻尔兹曼分布 $\frac{N_i}{N} = \frac{e^{-E_i/kT}}{\sum_j e^{-E_j/kT}}$ 则 $\frac{n_2}{n_1} = \frac{f_2}{f_1} e^{-\frac{E_2-E_1}{kT}}$

\therefore 一般情况下， $f_2 = f_1$

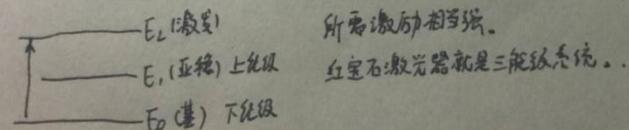
\therefore 使 $\frac{n_2}{n_1} > 1$ (基态数反转) 已上指数须大于0，称之为负温度状态。

这是形式上的一种说法，实际上通过泵浦源提供能量进行反转，并非热平衡。

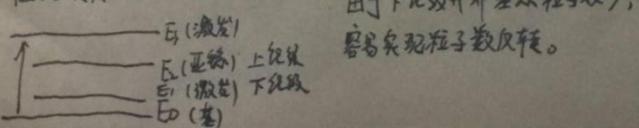
二能级系统 $f_1 = f_0$



三能级系统



四能级系统



光在谐振腔
 全反射光 \rightleftharpoons 部分反射光
 往返一次，放大倍量大于损耗的量，
 形成自激振荡。

$$V_B = g \frac{c}{2L} \quad (g \in N^*)$$

经腔内往返一周再回到原来位置，与初始出发波相干干涉。

作业：

1. 激光发展史

爱因斯坦光子理论 \rightarrow 汤斯激光原理 \rightarrow 梅曼红宝石激光器

2. 激光应用

激光打标、激光焊接等(见截图)

3. 激光器种类

按照工作介质可分为气体激光器、固体激光器、半导体激光器、光纤激光器和染料激光器。

4. 如何调Q、锁模：

Q即为品质因数，描述实现激光振荡的难易。是将一般输出的连续激光能量压缩到宽度极窄的脉冲中发射，提高光源的峰值功率。

锁模是光学里一种用于产生极短时间激光脉冲的技术。该技术的理论基础是在激光谐振腔的不同模式间引入固定的相位关系，这些模式间的干涉会使激光产生一系列脉冲。(通过振幅和相位调节使各频率脉冲模式发生相干叠加)。

4.5 量子力学

耿浩然英才计划活动报告

指导教师：宋峰教授，任杨阳导师，孙国庆导师

一、量子力学简介

英才计划活动报告—量子力学

一、量子力学概要：

1. 光电效应：

- ① 光照到电流出现时间 T 很短
- ② 光 ν 与电压 V 一定时 $i \propto I$ (光强)
- ③ $E_{min} = eV_0$, 截止电压
- ④ $h\nu = h\nu_0 + E_k$.
- $E = E_k + A$

2. X射线及其在晶体上的衍射

当 $a=b=c$ 的立方晶体

$$4a^2 \cos\theta \sin^2 \frac{\theta}{2} = (m_1^2 + m_2^2 + m_3^2) \lambda^2$$

$$\cos\phi = \cos\alpha \cos\beta + \cos\beta \cos\gamma + \cos\gamma \cos\alpha$$

$\Delta = 2ds \sin\theta = k\lambda$ ($k=1, 2, 3, \dots$) — 布拉格公式

3. X射线轫致辐射谱。

X射线谱连续分布 最短波长 λ 。

$$\lambda_0 V = \text{Const.}$$

$$I(\nu) = K Z(V_0 - V)$$

$$\Rightarrow h\nu = E_{k0} - E_k = eV - E_k.$$

$$\lambda_0 V = \frac{hc}{e}$$

4. 库普顿散射

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$$

5. 电子偶产生湮没

$$\gamma + A \rightarrow \gamma + e^+ + e^-$$

$$A + e^+ + e^- \rightarrow \gamma + A$$

6. 射线吸收

$$I = N h\nu$$

$$dN = -\mu N dx$$

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad I_0 = N_0 h\nu$$

$$\alpha = \frac{1}{\mu} \ln 2. \text{半吸收厚度}$$

7. 穆斯堡尔效应

$$E = E_r + E_k$$

$$P = P_r = \frac{E_r}{E}$$

$$E_k = \frac{P^2}{2m} \approx \frac{E_r^2}{2mc^2}$$

$$E'_r = E + E_k$$

多普勒下 $E'_r = E_r(1 - \frac{v}{c})$

$$\Delta E_r = \frac{h\nu}{c} \quad E_r < E'_r$$

8. 引力场中的光子

$$m \ddot{x}_0 = \frac{Gm}{c^2} \frac{d\nu}{dx}$$

$$h\nu_0 - \frac{GMh\nu_0 c^2}{R} = h\nu$$

$$\nu = \nu_0 (1 - \frac{GM}{cP})$$

$$\frac{d\nu}{\nu_0} = - \frac{GM}{c^2 R} = -2.12 \times 10^{-6}$$

$$h\nu_0 + \frac{h\nu_0}{c^2} g H = h\nu$$

$$\nu = \nu_0 (1 + \frac{gH}{c^2})$$

$$\frac{d\nu}{\nu_0} = \frac{gH}{c^2} = 2.46 \times 10^{-15}$$

9. 电磁波统计诠释。

$$(\omega = 2\pi\nu)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\tau = \frac{1}{h}\omega$$

$$P = \hbar k$$

$$A = A_0 e^{i(kr - \omega t)}$$

$$= A_0 e^{i(p \cdot r - Et)/\hbar}$$

波粒二象性

10 不确定关系:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta t \Delta E \geq \frac{\hbar}{2}$$

11. 波函数

$$\psi(r, t) = C e^{i(p \cdot r - Et)/\hbar}$$

$$P \propto |\psi(r, t)|^2$$

三、波动方程

二. 波动方程.

$$A(r,t) = A_0 e^{i(k \cdot r - \omega t)}$$

满足 $\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} A - \nabla^2 A = 0$

$$\frac{\omega^2}{c^2} = k^2 \Rightarrow \frac{E^2}{c^2} = p^2$$

$$E = i \hbar \frac{\partial}{\partial t}$$

$$P = -i \hbar \nabla$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \nabla^2$$

$$\frac{E^2}{c^2} = P^2 + m^2 c^2$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \varphi = \nabla^2 \varphi - \left(\frac{mc}{\hbar} \right)^2 \varphi$$

$$\lambda = \frac{\hbar}{mc}$$

薛定谔方程

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \hat{H} \psi$$

三，其他问题

1、量子力学 (Quantum Mechanics) 是研究物质世界微观粒子运动规律的物理学分支，主要研究原子、分子、凝聚态物质，以及原子核和基本粒子的结构、性质的基础理论。它与相对论一起构成现代物理学的理论基础。量子力学不仅是

现代物理学的基础理论之一，而且在化学等学科和许多近代技术中得到广泛应用。19世纪末，人们发现旧有的经典理论无法解释微观系统，于是经由物理学家的努力，在20世纪初创立量子力学，解释了这些现象。量子力学从根本上改变人类对物质结构及其相互作用的理解。除了广义相对论描写的引力以外，迄今所有基本相互作用均可以在量子力学的框架内描述（量子场论）。

2、五大假设

量子力学的理论框架是由下列五个假设构成的：

- (1) 微观体系的运动状态由相应的归一化波函数描述
- (2) 微观体系的运动状态波函数随时间变化的规律遵从薛定谔方程
- (3) 力学量由相应的线性厄米算符表示
- (4) 力学量算符之间有确定的对易关系，称为量子条件；坐标算符的三个直角坐标系分量与动量算符的三个直角坐标系分量之间的对应关系称为基本量子条件；力学量算符由其相应的量子条件确定
- (5) 全同的多粒子体系的波函数对于任意一对粒子交换而言具有对称性：玻色子系的波函数是对称的，费米子系的波函数是反对称的。

3、单电子衍射

电子波（具有一定能量的电子）落到晶体上时，被晶体中原子散射，各散射电子波之间产生互相干涉现象。晶体中每个原子均对电子进行散射，使电子改变其方向和波长。在散射过程中部分电子与原子有能量交换作用，电子的波长发生变化，此时称非弹性散射；若无能量交换作用，电子的波长不变，则称弹性散射。在弹性散射过程中，由于晶体中原子排列的周期性，各原子所散射的电子波在叠加时互相干涉，散射波的总强度在空间的分布并不连续，除在某一定方向外，散射波的总强度为零。

第四章 深入高校实验室
耿逸然英才计划活动报告

指导教授:宋峰教授 导师:任杨阳导师 孙国庆老师

时间: 10月26日 地点: 南开大学第五教学楼

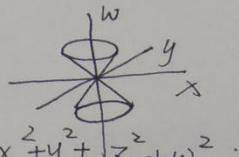
英才计划活动报告

一、近代三次物理革命: 狭义相对论(1905) 广义相对论(1916) 量子力学(1925)

① 狹義相對論:

1. 四維时空: 阿爾夫斯基空间

 世界几何学 $s^2 = x^2 + y^2 + z^2 + w^2$



2. 相对性原理
光速不变原理 } 洛伦兹变换

3. 相对论质能关系 $E=mc^2$

② 广義相對論: 等效原理

③ 量子力学:
1. 发现天然放射性, X射线及阴极射线
2. 波粒二象性
3. 宏观: 拉普拉斯决定论的因果关系
微观 无法精确预言, 只有概率

4. 作用量 $S = \int_{t_1}^{t_2} L(q, \dot{q}, t) dt$ 其中 L 为拉氏量
当 $S \gg \hbar$ 时 才能忽略量子效应

二、近代物理学划分.

	低速 ($v \ll c$)	高速 ($v \approx c$)
$S \gg \hbar$ 宏观	经典物理学	相对论物理学
$S \sim \hbar$ 微观	非相对论性量子物理	相对论性量子物理

三、波函数的统计划分

a. 波粒二象性

- ① 阴极射线即电子束，将质子加速得的粒子束称为粒子束
- ② 粒子及粒子性：研究对象有一定质量和电荷及其他一些固定不变的性质且与其它物质相互作用时具有的能动量满足守恒定律。且只在有限空间有作用
- ③ 波及波动性：一个过程在空间中无限展开，能用波长频率等描述且满足叠加原理及干涉衍射现象就说它是一个波，有波动性。

为描述波粒二象性，引出波函数

b. 波函数的统计诠释

D 德布罗意平面波 $\psi(\vec{r}, t) = C e^{i(\vec{p} \cdot \vec{r} - Et)/\hbar}$

② 波强度及波函数模平方，正比于在t时刻在r处找到 e^- 的概率

$$P \propto |\psi(\vec{r}, t)|^2$$

c. 统计性因果关系，与经典“拉普拉斯决定论因果关系”对应，是近代物理又一根源性历程。

c. 测不准原理：(海森堡不确定关系)

$$\Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2} \quad \Delta E \geq \frac{\hbar}{2}$$

推论：平均寿命 \bar{T} 与能量展宽 ΔE 的关系

$$\bar{T} \sim \Delta E$$

孟越英才计划活动报告

时间：10月26日 地点：南开大学第五教学楼

内容：量子力学简介

一. 量子力学五大假设

1. 波函数假设：微观物理系统的状态由相应的波函数描述

波函数是粒子位置和时间的复函数，当一个微观系统的波函数得确定时，该系统的全部性质都可以由此得出，即波函数表征了系统的量子态。为了保证波函数具有物理意义，它必须满足连续性、有限性和单值性条件。

2. 量子态演化假设：量子系统的状态随时间的演化满足薛定谭方程。

它是将物质波的概念和波动方程相结合建立的二阶偏微分方程，可描述微观粒子的运动，每个微观系统都有一个相应的薛定谔方程式，通过解方程可得到波函数的具体形式以及对应的能量，从而了解微观系统的性质。薛定谔方程表明量子力学中，粒子以概率的方式出现，具有不确定性，宏观尺度下失效可忽略不计。

3. 算符假设：量子力学中的可观测量由厄米算符来表示。

这里的可观测量就是指可通过物理实验得到测量结果的量，它对应于经典理论中的力学量。算符是指作用到一个函数上得到另一个函数的运算符号。

量子力学中的态空间由多个本征态构成，本征态是一个基本的量子态，简称基本态或基矢。态空间是一个线性的复向量空间，即希尔伯特空间，也就是说希尔伯特空间可以表示量子系统的各种可能的量子态。如果算符 描述对应于力学量，那么当系统处于 的某个本征态时，力学量 有确定值。

4. 量子测量假设：当对一个量子体系进行某一力学量的测量时，测量结果一定为该力学量算符的本征值当中的某一个，测量结果为 $|k\rangle$ 的概率为 $|\langle k | \Psi \rangle|$ ，当测量完成后，该量子体系塌缩至 $|k\rangle$ ，（即不管再对该量子态重新测量多少次，测得的该力学量的值一定为第一次所测得的值 k）

第四章 深入高校实验室

量子测量还导致了一个量子系统特有性质的出现，即量子纠缠，当两个子系统处于量子纠缠态时，其最显著的表现就是：两个子系统的状态都依赖于对方但各自却处于一种不确定的状态。也就是说当未对两个子系统做出测量时，两个系统都分别处于各自的叠加态。而当对两个子系统中的一个进行测量，使该系统从叠加态塌缩到一个本征态时，虽然并对另一子系统产生直接的作用，但事实上是却包含了另一子系统的信息，并在瞬时改变了另一子系统的描述。

5. 粒子全同性假设：在量子系统中，存在内禀属性完全相同的粒子，对任意两个这样的粒子进行交换，不会改变系统的状态。

在一个由多个全同粒子构成的量子系统中，假如我们能够对它们进行标识的话，那么交换任意两个粒子被标识的粒子，系统的概率分布不变，而概率幅至多会有正负号的改变。

二. 单电子双缝干涉实验

一个一个地发射电子，后面屏幕上也会出现干涉图案。干涉条纹应是两个缝隙之中的电子互相干涉的产物，而这个光子自己和自己干涉，也就是说，这一个光子，同时通过了两个缝隙。用其他粒子做这个实验，结果也是如此。

然而，在其中一个缝的外面安装探测器，干涉条纹消失。观测会破坏量子叠加态，即“波函数塌缩”。

三. 量子力学的应用

量子力学在很多方面，如激光、电子显微镜、原子钟到核磁共振的医学图像显示装置，都关键地依靠了量子力学的原理和效应。对半导体的研究导致了二极管和三极管的发明，最后为现代的电子工业铺平了道路。在核武器的发明过程中，量子力学的概念也起了一个关键的作用。

董欣田才计划活动报告

时间：10.27 地点：南开大学第五教学楼 407 主讲人：孙国庆

1. 波函数的物理意义

为人们所接受的对于波函数的解释是由玻恩首先提出来的。

波函数模的平方代表某时刻在某处粒子出现的几率密度。

(物质波是一种几率波，它反映微粒粒子运动的统计规律。)

假定认为只要知道了一个粒子的波函数，则我们就可以得到此粒子的一切属性。

2. 算符公设

任意可观测的力学量都可以用相应的线性厄米算符来表示。

厄米算符：表达自伴算子的矩阵是埃尔米特矩阵。厄米算符表达了一个厄米矩阵。

3. 平均值公设

四. 量子测量公设(平均值公设)，
将体系的状态波函数 ψ 用算符 A 的本征函数 ϕ_n

$$A\phi_n = A_n \phi_n \quad (A\phi_\lambda = A_\lambda \phi_\lambda) \text{ 展开}$$

$$\psi = \sum a_n \phi_n + \int a_\lambda \phi_\lambda d\lambda \quad \begin{matrix} \text{在 } \psi \text{ 态中测量力学量 } A \\ \text{得到结果为 } A_n \text{ 的几率是 } |a_n|^2 \\ \text{的几率 } |a_\lambda|^2 d\lambda \end{matrix}$$

测得结果在 $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$ 求A的平均值

4. 全同粒子体系

量子力学中把属于同一类的具有完全相同的内禀属性的粒子称为全同粒子

5. 前沿应用：

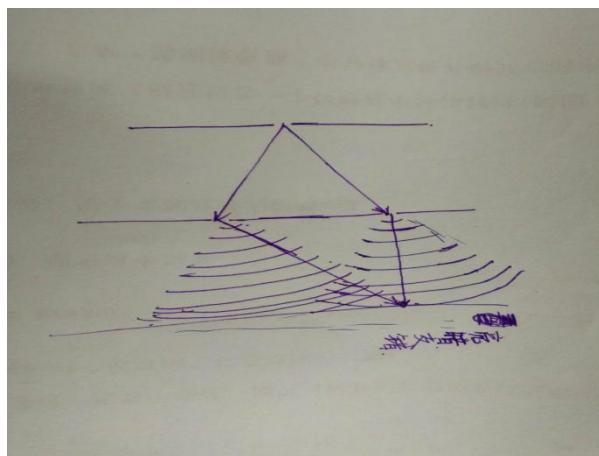
量子信息：用量子力学的理论来解决信息理论与技术中的问题。

分子量子理论：属物理化学，用量子力学理论来解释化学反映中的问题。

量子信息学是量子力学与信息科学相结合的产物，以量子力学的态叠加原理为基础，研究信息处理的一门新兴前沿科学。量子信息学包括量子密码术、量子通信、量子计算机等几个方面。另外，用量子力学的方法可以模拟材料中电子的行为，因此，量子力学是应用于计算材料和分子性质最精确的理论基础。一个很具体的例子，扫描隧道显微镜就是根据量子力学的原理研制的。医学上的核心共振成像技术也是根据量子理论产生的。还有很多例子，比如现代军事中的原子弹、氢弹的研制和爆炸原理，都很大程度依赖于量子力学。

6. 杨氏双缝：双缝实验（double-slit experiment）是一种演示光子或电子等等微观物体的波动性与粒子性的实验。

假若光束是由经典粒子组成，将光束照射于一条狭缝，通过狭缝后，冲击于探测屏，则在探测屏应该会观察到对应于狭缝尺寸与形状的图样。可是，假设实际进行这单缝实验，探测屏会显示出衍射图样，光束会被展开，狭缝越狭窄，则展开角度越大。如图所示，在探测屏会显示出，在中央区域有一块比较明亮的光带，旁边衬托著两块比较暗淡的光带。类似地，假若光束是由经典粒子组成，将光束照射于两条相互平行的狭缝，则在探测屏应该会观察到两个单缝图样的总和。但实际并不是这样，如右图所示，在探测屏显示出一系列明亮条纹与暗淡条纹相间的图样。由于亮度分布可以用波的相长干涉与相消干涉这



两种干涉机制来解释，意味着光是一种振动波，这促使光波动说被广泛接受



一. 发展进程

二. 主要内容

三. 前沿应用

《量子物理史话》

1. 光是什么?

① “波动学说” — 惠更斯

② “微粒说” — 牛顿

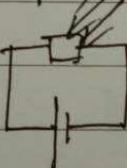
杨氏双缝

三次微波战争

$$E = h\nu \rightarrow$$

(min 能量单元)

光电效应



$$\frac{1}{2}mv^2 = E - A$$

吸收
就出来

$$\text{德布罗意 } P = \frac{n}{\lambda}$$

罗氏几何

破 ~

量子力学五大假设

4.6 光纤激光器

耿逸然英才计划活动报告

光导纤维及光纤激光器的学习报告

姓名： 时间 2018 年 11 月 指导教师： 张康导师 宋峰教授

一、光导纤维简介

微细的光纤封装在塑料护套中，使得它能够弯曲而不至于断裂。通常，光纤的一端的发射装置使用发光二极管（light emitting diode, LED）或一束激光将光脉冲传送至光纤，光纤的另一端的接收装置使用光敏元件检测脉冲。

在日常生活中，由于光在光导纤维的传导损耗比电在电线传导的损耗低得多，光纤被用作长距离的信息传递。

通常光纤与光缆两个名词会被混淆。多数光纤在使用前必须由几层保护结构包覆，包覆后的缆线即被称为光缆。光纤外层的保护层和绝缘层可防止周围环境对光纤的伤害，如水、火、电击等。光缆分为：光纤，缓冲层及披覆。光纤和同轴电缆相似，只是没有网状屏蔽层。中心是光传播的玻璃芯。

在多模光纤中，芯的直径是 $50 \mu m$ 和 $62.5 \mu m$ 两种，大致与人的头发的粗细相当。而单模光纤芯的直径为 $8 \mu m \sim 10 \mu m$ ，常用的是 $9/125 \mu m$ 。芯外面包围着一层折射率比芯低的玻璃封套，以使光线保持在芯内。再外面的是一层薄的塑料外套，用来保护封套。光纤通常被扎成束，外面有外壳保护。纤芯通常是由石英玻璃制成的横截面积很小的双层同心圆柱体，它质地脆，易断裂，因此需要外加一保护层。

二、原理铺垫

1. 光是一种电磁波

可见光部分波长范围是:390~760nm(纳米)。大于760nm部分是红外光,小于390nm部分是紫外光。光纤中应用的是: 850nm, 1310nm, 1550nm三种。

2. 光的折射, 反射和全反射。

因光在不同物质中的传播速度是不同的, 所以光从一种物质射向另一种物质时, 在两种物质的交界面处会产生折射和反射。而且, 折射光的角度会随入射光的角度变化而变化。当入射光的角度达到或超过某一角度时, 折射光会消失, 入射光全部被反射回来, 这就是光的全反射。不同的物质对相同波长光的折射角度是不同的(即不同的物质有不同的光折射率), 相同的物质对不同波长光的折射角度也是不同。光纤通讯就是基于以上原理而形成的。

三、光线具体特征

1. 光纤结构:

光纤裸纤一般分为三层: 中心高折射率玻璃芯(芯径一般为50或62.5μm), 中间为低折射率硅玻璃包层(直径一般为125μm), 最外是加强用的树脂涂层。

2. 数值孔径:

入射到光纤端面的光并不能全部被光纤所传输, 只是在某个角度范围内的入射光才可以。这个角度就称为光纤的数值孔径。光纤的数值孔径大些对于光纤的对接是有利的。不同厂家生产的光纤的数值孔径不同(AT&TCORNING)。

3. 光纤的种类:

光纤的种类很多, 根据用途不同, 所需要的功能和性能也有所差异。但对于有线电视和通信用的光纤, 其设计和制造的原则基本相同, 诸如: ①损耗小; ②有一定带宽且色散小; ③接线容易; ④易于成缆; ⑤可靠性高; ⑥制造比较简单; ⑦价廉等。光纤的分类主要是从工作波长、折射率分布、传输模式、原材料和制造方法上作一归纳的, 兹将各种分类举例如下。

(1) 工作波长: 紫外光纤、可观光纤、近红外光纤、红外光纤(0.85μm、1.3μm、1.55μm)。

(2) 折射率分布: 阶跃(SI)型光纤、近阶跃型光纤、渐变(GI)型光纤、其它(如三角型、W型、凹陷型等)。

(3) 传输模式：单模光纤（含偏振保持光纤、非偏振保持光纤）、多模光纤。

光导纤维传感器（简称光纤传感器）是 20 世纪七十年代迅速发展起来的一种新型传感器。光纤最早用于通讯，随着光纤技术的发展，光纤传感器得到进一步发展。光纤传感器较传统的传感器相比有许多特点：灵敏度高；结构简单；体积小；耗电量少；耐腐蚀；绝缘性好；光路可弯曲；便于实现远调。光纤传感器技术是一门多学科性科学，它涉及知识面广泛，如纤维光学、光电技术、弹性力学、电磁学、电子技术和微型计算机应用等。

四、光纤传感器的应用

磁、声、压力、温度、加速度、陀螺、位移、液面、转矩、光声、电流和应变等物理量的测量。此外，光纤传感器还可以应用在高电压、强电磁场干扰的场合。

五、光纤传感器的分类

从传感器的机理上来说，光纤传感器可分为振幅型（强度型）和相位型（干涉型）两种。
振幅型传感器

原理：待测的物理扰动与光纤连接的光纤敏感元件相互作用，直接调制光强。

优点：这类传感器的优点是结构简单、具有与光纤技术的相容性，信号检测也比较容易，但是灵敏度较低。

相位型传感器

原理：在一段单模光纤中传输的相干光，因待测物理场的作用，产生了相位调制。

优点：理论上，相位型传感器的灵敏度要比现有的传感器高出几个数量级，并可通过改变光纤上的涂层来改变其传感的物理量。
缺点：结构复杂，检测也需要复杂的手段。另外需要研制对某种物理量敏感的特种光纤。

六、谈调 Q

激光单元技术之一。是为压缩激光器输出脉冲宽度和提高脉冲峰值功率而采取的一种特殊技术；这种技术的基础是一种特殊的关键元件——快速腔内光开关，一般称为激光调 Q 开关，或简称为 Q 开关。

激光单元技术之一。是为压缩 激光器输出脉冲宽度和提高脉冲峰值功率而采取的一种特殊技术；这种技术的基础是一种特殊的关键元件——快速腔内光开关，一般称为激光调 Q 开关，或简称为 Q 开关。共振腔的 Q 值大小，是由腔内损耗和反射镜光学反馈能力两个因素所决定的；Q 值愈高，所需要的泵浦阈值就越低，亦即激光愈容易起振。在一般的脉冲固体激光器的情况下，若不采用特殊的技
术措施，脉冲激光在腔内的振荡持续时间，与光泵脉冲时间（毫秒量级左右）大致相同，因此输出激光的脉冲功率水平亦总是有限的。如果采用一种特殊的技术，使光泵脉冲开始后相当长一段时间内，有意降低共振腔的 Q 值而不产生激光振荡，则工作物质内的粒子数反转程度会不断通过光泵积累而增大；然后在某一特殊选定的时刻，突然快速增大共振腔的 Q 值，使腔内迅速发生激光振荡，积累到较高程度的反转粒子数能量会集中在很短的时间间隔内快速释放出来，从而可获得很窄脉冲宽度和高峰值功率的激光输出。为实现以上目的，最常用的方法是在共振腔内引入一个快速光开关——Q 开关，它在光泵脉冲开始后的一段时间内处于“关闭”或“低 Q”状态，此时腔内不能形成振荡而粒子数反转不断得到增强；在粒子数反转程度达到最大时，腔内 Q 开关突然处于“接通”或“高 Q”状态，从而在腔内形成瞬时的强激光振荡，并产生所谓的调 Q 激光脉冲输出到腔外。

七、谈锁模

1、锁模激光器

锁模技术就是采用一定的调制方法，使激光振荡不同频率各纵模之间有确定的相位关系，即各纵模相邻频率间隔相等并固定为 $\Delta v = c/2nL$ ，故锁模也称为锁相。目的：获得窄脉宽、高峰值功率的超短脉冲激光。

2、基本内容

如果在激光谐振腔内不加入任何选模装置，那么激光器的输出谱线是由许多分立的，纵横纵横确定的频谱组成的。激光跃迁线宽把具有足够大增益的振荡模的数目限制在一定数量。只有那些激光介质的增益超过谐振腔损耗的波长的光才形成激光辐射。通常用带宽纵模数量以及相干长度等术语来描述激光的谱线

特性。在自由运转激光器中，纵模及横模是在无任何固定的振幅及相位关系下同时振荡的，这种激光器的输出是按时间平均统计平均值的。在一般谐振腔内，处于激光介质的增益大于谐振腔损耗频率范围内的纵模有几百个。在频域范畴内，激光辐射由许多纵模间隔为 $C/2L$ 的谱线组成。这些模彼此互不相关地进行振荡，其相位随机地分布在 $-\pi$ 到 π 之间。其时域输出特征类似热噪声。但是，如果迫使振荡模彼此之间的相位关系保持固定，那么激光输出将以完全确定的形式变化。此时，我们说激光是锁模或锁相的。

锁横激光器的输出为高斯分布(频率对振幅)，并且相位完全一样。在时域内，激光输出为高斯脉冲串，因此锁模相当于使谱线的振幅及相位相关。

第四章 深入高校实验室
孙勣举英才计划活动报告

时间：2018.11.11 导师：宋峰教授 主讲人：张康老师

一、 内容总结

1. 光纤简介：

光导纤维（Optical fiber），简称光纤，是一种由玻璃或塑料制成的纤维，利用光在这些纤维中以全内反射原理传输的光传导工具。微细的光纤封装在塑料护套中，使得它能够弯曲而不至于断裂。通常光纤的一端的发射装置使用发光二极管或一束激光将光脉冲传送至光纤中，光纤的另一端的接收装置使用光敏元件检测脉冲。包含光纤的线缆称为光缆。

由于信息在光导纤维的传输损失比电在电线传导的损耗低得多，更因为主要生产原料是硅，蕴藏量极大，较易开采，所以价格很便宜，促使光纤被用作长距离的信息传递媒介。

2. 光纤激光器：

光纤激光器，固体激光器的一种，其工作原理与前几次活动所学的激光器基本原理相同，其工作介质为掺杂稀土元素的光纤。本次介绍的激光器中使用的是掺杂铒的光纤，用波长 980nm 的光激发，得到 1050nm 波长的发射光。

3. 无源锁模与可饱和吸收体：

无源锁模不需要向激光器引入外部信号（如调制器的驱动信号等等）来产生脉冲，它们通常是使用激光腔中的光波来引起激光腔内某个元件的变化，而这个元件的变化又会引起腔内光的变化。通常使用的元件是一个饱和吸收体。这个元件会在是一种透射率与光强相关的器件。这意味着这个器件会在光线通过时依据光线的不同强度而有不同的表现。

对于无源锁模来说，理想的饱和吸收体会将低强度的光吸收，而在光强足够高时让其穿过。

当将饱和吸收体放置在激光腔中的时候，低强度的激光会被衰减，然而

由于未锁模的激光的强度具有随机变化，随机产生的光强会足够大从而能够透射出饱和吸收体。由于光在激光腔中振荡，这个过程不停地重复，使得高强度的激光被放大，而低强度的光被吸收。振荡很多次以后，就会产生一系列的光脉冲，而激光也被锁模。

二、 预留问题

1. 调 Q 技术：

所谓调 Q 就是指调节激光器的 Q 值(品质因数 Q 是表征激光谐振腔质量的参数，与激光谐振腔的损耗成反比，Q 值越高，越容易产生激光振荡。)的技术。在激光器泵浦的初期，把谐振腔的 Q 值调得很低，使激光器暂时不满足振荡条件，在泵浦脉冲的激励下获得很高的粒子数密度时，再迅速调大谐振腔的 Q 值，此时反转粒子数密度远大于阈值反转粒子数密度，激光振荡迅速建立并达到很高的峰值功率，同时反转粒子数迅速被耗尽，脉冲很快结束，这样就获得了具有窄脉冲宽度和大峰值功率的激光脉冲。利用调 Q 技术能够建立纳秒脉冲的输出。

2. 锁模技术：

尽管激光被称为最纯色的光，它仍然不是一种具有单一频率或波长的光。所有激光器产生的激光都有自己的带宽，也就是频率范围。工作中的激光带宽主要由产生激光的增益介质决定，而可以产生激光的频率范围也被称作增益带宽。例如，典型的氦氖气体激光器的增益带宽为 1.5 吉赫，亦即中心波长 633 纳米，波长范围仅 0.002 纳米，而钛掺杂蓝宝石固体激光器的带宽为 128 太赫，亦即中心波长 800nm，波长范围 300nm。

第二个影响发射激光频率的因素是激光器的共振腔。在最简单的激光器中，激光器的共振腔是在增益介质的两端面对面的摆放两块平面镜，这种设计也被称为法布里-珀罗腔。由于光是一种波，它在共振腔两端的平面镜之间反射的时候自身会产生相生和相消干涉，从而在平面镜之间形

成驻波，也被称为模式。

这些驻波会产生离散的频率，被称为激光腔的纵模。这些模式是激光共振腔所能允许自发产生并在其间振荡的光波的频率，所有其它频率的光波都因相消干涉而被压制。对于简单的平面镜共振腔来说，共振腔的长度需要是模式对应光波半波长的整数倍，亦即 $L = q \lambda / 2$ ，其中 q 是一个整数，被称为模式的阶数。

在实际应用中，镜面间距 L 通常要远远大于波长 λ ，因此对应的模式阶数 q 非常大，通常在 105 至 106。通常我们对相邻的两个模式 q 和 $q+1$ 之间的频率间隔非常感兴趣，对与长度为 L 的线性共振腔来说，这个频

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L}$$

率间隔 $\Delta\nu$ 为

其中 c 为光速，约为 3×10^8 米/秒。

采用上面的公式，我们可以计算出对于一个镜面间距为 30 厘米的小型激光器，其纵模间的频率间隔为 0.5 吉赫。因此，在上文中给出的两个激光器中，氦氖激光器的带宽为 1.5 吉赫，因此可以允许 3 个纵模；而钛掺杂蓝宝石固体激光器的带宽为 128 太赫，因此可以允许接近 250000 个纵模。当多于一个纵模的激光被激发的时候，激光器处在多模工作状态，而如果只有一个纵模的激光被激发，激光器被称为处在单模工作状态。

每一个单独的纵模也有其自身的带宽，其频率仍然处在一个很窄的区间上。这个带宽由共振腔的品质因数决定，通常远远小于模式间的频率间隔。

3. 可饱和吸收体与光纤结合方式：

- a) 以邻二氯苯（DCB）为溶剂，以石墨烯、聚乙烯醇（PVA）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）为溶质的溶液。采用光诱导沉积法将石墨烯附于光纤端面，并将其作为可饱和吸收体构建到光纤激光器环形腔

中。(GB/T 7714 王晓龙. 基于石墨烯可饱和吸收体的被动调 Q 光纤激光器[J]. 中国激光, 2013, 40(6):114-119.)

b) Yong-Won Song 全光纤结构 (□ 陈海燕. 基于碳纳米管饱和吸收体的光纤激光器[J]. 光通信技术, 2008, 32(12):5-7.)

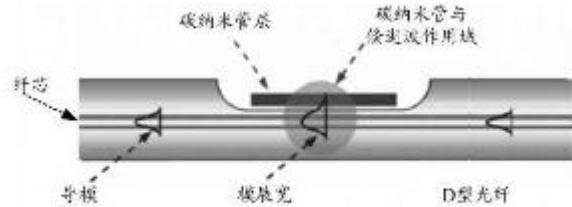
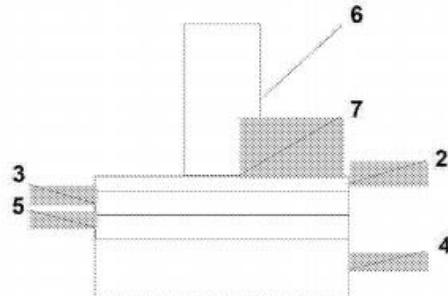


图4 碳纳米管与D型光纤结构简图

c) 发明专利 (授权公告号: CN103368059B)

(57) 摘要

本发明公开了一种全新的基于石墨烯的反射型可饱和吸收体及制备方法。本发明获得的可饱和吸收体包括可饱和吸收层、反射膜层、基底层。制备方法如下:在生长于铜箔上的石墨烯薄膜上镀金膜,并将其倒置过来使金膜朝下,与上表面镀金膜的硅基底粘合,平整的光纤端面与石墨烯平整接触,并将光纤与可饱和吸收体固定并封装在一起。石墨烯作为可饱和吸收体具有饱和强度低、超快速的恢复时间、调制深度可调、与波长无关以及低成本等优点,结合这种反射型可饱和吸收体所特有的结构优势,实现了一种实用型的,简单高效,工作性能稳定,光损伤阈值高,且便于大规模生产的新型可饱和吸收体。



第四章 深入高校实验室
孟越英才计划活动报告

时间：11月11日 地点南开大学第五教学楼

导师：宋峰教授 主讲人：张康老师

一. 内容总结

1. 激光器结构

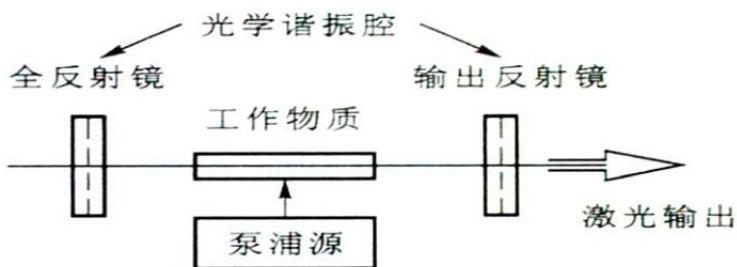


图 3.2 激光器的基本结构示意图

三个条件 增益介质，充当工作物质

激励源实现粒子数反转，做泵浦源

谐振腔 使达到光学正反馈。

6) 本次介绍的激光器中使用掺杂铒的光纤，以波长980nm的光激发，得到1050nm波长的发射光。

7) 激光器调制方式包括调Q和锁模，这两种方法可产生脉冲。

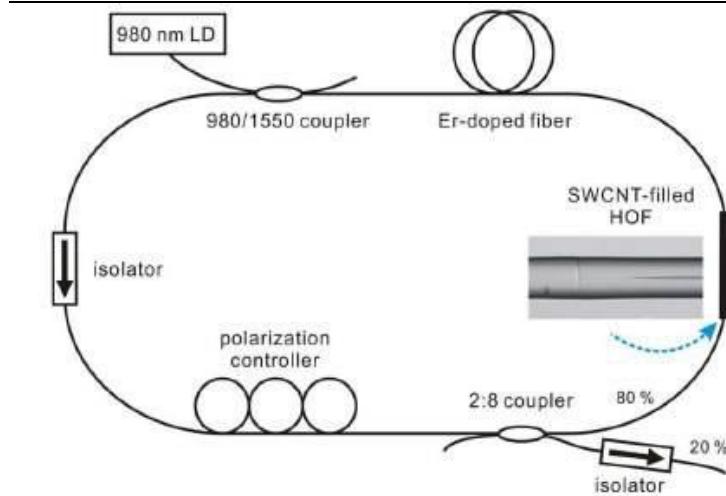
8) 运用可饱和吸收体可进行被动锁模。

可饱和吸收体(saturable absorber, 简称SA)，是激光谐振腔内调Q技术中使用的一种开关晶体材料。饱和吸收体对微光的吸收系数随入射光强增大而减小，当达到饱和值时对激光呈现透明，利用其这种饱和吸收特性对激光腔内的损耗(Q值)进行调制，并发射脉冲，产生的脉冲宽度在几纳秒甚至几十皮秒量级。

9) 拉曼光谱

10) 在MgF₂薄膜上放置直径8微米的上述光纤，以PtSe₂和PDMS覆盖，作调Q开关

11) 本次介绍的激光器大致结构接近下图



凭借此装置可实现脉冲。

四. 调 Q 与锁模

★ 调 Q

调 Q 技术也叫做 Q 开关技术，是一种获得高峰值功率、窄脉宽激光脉冲的技术。调 Q 技术的工作原理如下：在光泵浦初期设法将谐振腔的 Q 值调高，从而抑制激光振荡的产生，使工作物质上能量粒子数得到积累。随着光泵的继续激励，上能级粒子数逐渐积累到最大值。此时突然将谐振腔的 Q 值调低，那么积累在上能级的大量粒子便雪崩式地跃迁到激光下能级，在极短的时间内将储存的能量释放出来，从而获得峰值功率极高的激光脉冲输出。在普通激光器中加入调 Q 元件即构成调 Q 激光器。根据调 Q 元件所采用的介质及其工作方式的不同，调 Q 激光器可分为电光调 Q、声光调 Q 、可饱和吸收调 Q 与机械转镜调 Q 四类。其中，电光调 Q 和声光调 Q 是目前应用较为广泛的调 Q 技术。

电光调 Q 是利用某些晶体所具有的线性电光效应实现 Q 值突变的，具有开关时间短、效率高、调 Q 的时刻可以精确控制、系统工作稳定、重复频率高、输出脉宽窄（ $10\text{~}20\text{ ns}$ ）、峰值功率高（几十兆瓦以上）等优点。

声光调 Q 是利用激光通过声光介质中的超声场时发生衍射效应，造成光束的偏折来控制谐振腔的损耗，从而实现 Q 值突变的。它具有性能稳定、重复频率高（ $1\sim 20\text{kHz}$ ）、调制电压低（一般 $<200\text{V}$ ）等优点，适用于中小功率、高重频的脉冲激光器。

电光调 Q 或声光调 Q 都是人为地利用光通过在电场或声波场作用下的电光或声光介质所发生的各种物理效应，从而控制腔内的反射损耗来实现 Q 值突变的，是一种主动式的调 Q 方法。

而可饱和吸收调 Q 技术，则是利用可饱和吸收体本身的吸收特性（即它是一种非线性吸收介质，在比较强的激光作用下，它的吸收系数会随光强的增加而逐渐减小直至饱和，对光呈现出透明的特性），通过控制腔内的吸收损耗来调节 Q 值的，是一种被动式的调 Q 方法，它具有结构简单、方便实用的特点。

2. 锁模

锁模是光学里一种用于产生极短时间激光脉冲的技术，脉冲的长度通常在皮秒（ $10\sim 12$ 秒）甚至飞秒（ $10\sim 15$ 秒）。该技术的理论基础是在激光共振腔中的不同模式间引入固定的相位关系，这样产生的激光被称为锁相激光或锁模激光。这些模式之间的干涉会使激光产生一系列的脉冲。根据激光的性质，这些脉冲可能会有极短的持续时间，甚至可以达到飞秒的量级。

随着科学的发展，很多应用技术（例如激光热核反应、激光同位素分离、精密测距等）要求能够获得超短脉冲，即脉宽达到纳秒以下量级的光脉冲。此时单纯适用调 Q 的方法，受腔长和调 Q 器件等条件的限制，已无法进一步压窄脉宽。

锁模作为一种新的压缩脉宽的途径，又被称为超短脉冲技术。它的定义包含两方面内容：各振荡纵模初相位锁定；各振荡纵模频率间隔相等且固定为 $c/2nL$ (L 为腔长)。按照锁模的工作原理，实现锁模的方法分为主动锁模、被动锁模、

同步泵浦锁模、自锁模和碰撞锁模等多种形式。主动锁模采用周期性调制谐振腔参量的方法，其基本原理是：在谐振腔中插入一个受外界信号控制的调制器，用一定的调制频率周期性的改变腔内振荡模的振幅或相位。主动锁模的实现多采用声光或电光调制器。

被动锁模是将可饱和吸收体放在谐振腔内加以实现的，其原理主要是利用可饱和吸收体的非线性吸收效应。被动锁模方法和被动 Q 开关二者之间的区别主要表现在：被动锁模要求可饱和吸收体上能级的寿命非常短。

五. 可饱和吸收体与光纤结合的方式

★ 可饱和吸收体包括石墨烯，过渡金属硫化物，黑磷等。

★ 结合方式

覆盖：制作方法较常见，但效率有待提高

全表面包裹：可提高光与材料作用的效率，提升器件性能。缺点是损耗较大材料浪费及包裹不完全。

化学气相沉积法：易控制薄膜厚度形状，但制备条件要求高。

耿浩然英才计划活动报告

时间 2018 年 11 月 指导教师：张康导师 宋峰教授

一、光导纤维简介

光导纤维简称光纤，是一种能高质量传导光的玻璃纤维。光纤传导光的能力非常强，利用光缆通讯，能同时传播大量信息。例如一条光缆通路同时可容纳十亿人通话，也可同时传送多套电视节目。光纤的抗干扰性能好，不发生电辐射，通讯质量高，能防窃听。光缆的质量小而细，不怕腐蚀，铺设也很方便，因此是非常好的通讯材料。目前许多国家已使用光缆作为长途通讯干线。我国也开始生产光导纤维，并在部分地区和城市投入使用。随着时代的进步和科学的发展，光纤通讯必将大为普及。

光纤除了可以用于通讯外，还用于医疗、信息处理、传能传像、遥测遥控、照明等许多方面。例如，可将光导纤维内窥镜导入心脏，测量心脏中的血压、温度等。在能量和信息传输方面，光导纤维也得到了广泛的应用。

实质是二氧化硅，用全反射的原理，折射率 $n_{\text{内}}$ 大于 $n_{\text{外}}$

二、原理铺垫

1. 光是一种电磁波

可见光部分波长范围是：390~760nm(纳米)。大于760nm部分是红外光，小于390nm部分是紫外光。光纤中应用的是：850nm, 1310nm, 1550nm三种。

2. 光的折射，反射和全反射。

因光在不同物质中的传播速度是不同的，所以光从一种物质射向另一种物质时，在两种物质的交界面处会产生折射和反射。而且，折射光的角度会随入射光的角度变化而变化。当入射光的角度达到或超过某一角度时，折射光会消失，入射光全部被反射回来，这就是光的全反射。不同的物质对相同波长光的折射角度是不同的（即不同的物质有不同的光折射率），相同的物质对不同波长光的折射角度也是不同。光纤通讯就是基于以上原理而形成的。

三、光线具体特征

1. 光纤结构:

光纤裸纤一般分为三层：中心高折射率玻璃芯（芯径一般为 50 或 $62.5 \mu\text{m}$ ），中间为低折射率硅玻璃包层（直径一般为 $125 \mu\text{m}$ ），最外是加强用的树脂涂层。

2. 数值孔径:

入射到光纤端面的光并不能全部被光纤所传输，只是在某个角度范围内的入射光才可以。这个角度就称为光纤的数值孔径。光纤的数值孔径大些对于光纤的对接是有利的。不同厂家生产的光纤的数值孔径不同（AT&TCORNING）。

3. 光纤的种类:

光纤的种类很多，根据用途不同，所需要的功能和性能也有所差异。但对于有线电视和通信用的光纤，其设计和制造的原则基本相同，诸如：①损耗小；②有一定带宽且色散小；③接线容易；④易于成缆；⑤可靠性高；⑥制造比较简单；⑦价廉等。光纤的分类主要是从工作波长、折射率分布、传输模式、原材料和制造方法上作一归纳的，兹将各种分类举例如下。

(1) 工作波长：紫外光纤、可观光纤、近红外光纤、红外光纤 ($0.85 \mu\text{m}$ 、 $1.3 \mu\text{m}$ 、 $1.55 \mu\text{m}$)。

(2) 折射率分布：阶跃 (SI) 型光纤、近阶跃型光纤、渐变 (GI) 型光纤、其它（如三角型、W型、凹陷型等）。

(3) 传输模式：单模光纤（含偏振保持光纤、非偏振保持光纤）、多模光纤。

光导纤维传感器（简称光纤传感器）是 20 世纪七十年代迅速发展起来的一种新型传感器。光纤最早用于通讯，随着光纤技术的发展，光纤传感器得到进一步发展。光纤传感器较传统的传感器相比有许多特点：灵敏度高；结构简单；体积小；耗电量少；耐腐蚀；绝缘性好；光路可弯曲；便于实现远调。光纤传感器技术是一门多学科性科学，它涉及知识面广泛，如纤维光学、光电技术、弹性力学、电磁学、电子技术和微型计算机应用等。

四、光纤传感器的应用

磁、声、压力、温度、加速度、陀螺、位移、液面、转矩、光声、电流和

应变等物理量的测量。此外，光纤传感器还可以应用在高电压、强电磁场干扰的场合。

五、光纤传感器的分类

从传感器的机理上来说，光纤传感器可分为振幅型（强度型）和相位型（干涉型）两种。
振幅型传感器

原理：待测的物理扰动与光纤连接的光纤敏感元件相互作用，直接调制光强。

优点：这类传感器的优点是结构简单、具有与光纤技术的相容性，信号检测也比较容易，但是灵敏度较低。

相位型传感器

原理：在一段单模光纤中传输的相干光，因待测物理场的作用，产生了相位调制。

优点：理论上，相位型传感器的灵敏度要比现有的传感器高出几个数量级，并可通过改变光纤上的涂层来改变其传感的物理量。
缺点：结构复杂，检测也需要复杂的手段。另外需要研制对某种物理量敏感的特种光纤。

六、调 Q

激光单元技术之一。是为压缩激光器输出脉冲宽度和提高脉冲峰值功率而采取的一种特殊技术；这种技术的基础是一种特殊的关键元件——快速腔内光开关，一般称为激光调 Q 开关，或简称为 Q 开关。

激光单元技术之一。是为压缩 激光器输出脉冲宽度和提高脉冲峰值功率而采取的一种特殊技术；这种技术的基础是一种特殊的关键元件——快速腔内光开关，一般称为激光调 Q 开关，或简称为 Q 开关。共振腔的 Q 值大小，是由腔内损耗和反射镜光学反馈能力两个因素所决定的；Q 值愈高，所需要的泵浦阈值就越低，亦即激光愈容易起振。在一般的脉冲固体激光器的情况下，若不采用特殊的技
术措施，脉冲激光在腔内的振荡持续时间，与光泵脉冲时间（毫秒量级左右）大致相同，因此输出激光的脉冲功率水平亦总是有限的。如果采用一种特殊的技术，使光泵脉冲开始后相当长一段时间内，有意降低共振腔的 Q 值而不产生激光振荡，则工作物质内的粒子数反转程度会不断通过光泵积累而增大；然后在

第四章 深入高校实验室

某一特殊选定的时刻，突然快速增大共振腔的 Q 值，使腔内迅速发生激光振荡，积累到较高程度的反转粒子数能量会集中在很短的时间间隔内快速释放出来，从而可获得很窄脉冲宽度和高峰值功率的激光输出。为实现以上目的，最常用的方法是在共振腔内引入一个快速光开关——Q 开关，它在光泵脉冲开始后的一段时间内处于“关闭”或“低 Q”状态，此时腔内不能形成振荡而粒子数反转不断得到增强；在粒子数反转程度达到最大时，腔内 Q 开关突然处于“接通”或“高 Q”状态，从而在腔内形成瞬时的强激光振荡，并产生所谓的调 Q 激光脉冲输出到腔外。

七、锁模

锁模激光器

锁模技术就是采用一定的调制方法，使激光振荡不同频率各纵模之间有确定的相位关系，即各纵模相邻频率间隔相等并固定为 $\Delta v = c/2nL$ ，故锁模也称为锁相。目的：获得窄脉宽、高峰值功率的超短脉冲激光。

4.7 可饱和吸收体

孟越英才计划活动报告

时间： 11月25日 地点：南开大学第五教学楼

导师：宋峰教授 主讲人：张康老师

一、内容总结

1. 概述

可饱和吸收体需要有较强的光调制能力，可靠性，快速恢复能力，以及低成本，可控，可批量制备等特点。最早在1990年有人提出SESAM，即半导体可饱和吸收镜，但其工艺要求高，成本高。而2D纳米材料成本低且具有较好性能。

2. 制备

主要包括液相剥离法，化学气相沉积法，物理气相沉积法和喷墨打印法等

二、问题

1. 化学气相沉积法原理

化学气相沉积技术是应用气态物质在固体上阐述化学反应并产生固态沉积物的一种工艺，它大致包含三步：

- (1) 形成挥发性物质；
- (2) 把上述物质转移至沉积区域；
- (3) 在固体上产生化学反应并产生固态物质。

最基本的化学气相沉积反应包括热分解反应、化学合成反应以及化学传输反应等集中。

原理分别如下

a) 高温分解反应

其原理主要是固态化合物升温到一定温度会分解为固态目标产物和气态副产物。操作步骤一般是向真空或惰性气氛下的单温区管式炉导入反应气体，将炉温升至化合物的分解温度使之发生分解，在基片上沉积得到目标产物。

b) 化学合成反应

其主要涉及到多种反应气体在基片表面相互反应沉积生成固体薄膜的过程，因此称为化学合成反应，CVD 沉积反应大多都属于此类。一般是将多种反应气体通入向真空或惰性气氛下的单温区管式炉中，炉温升至合适的温度使之在基片上发生合成反应得到目标产物。

c) 化学传输反应

化学输运反应将目标产物作为挥发源，借助于平衡反应来沉积目标产物，其借助于气体与之反应生成气态化合物，生成的气态化合物经载气运输到与挥发区温度不同的沉积区发生逆向反应，在基底上生成源物质。

2. SESAM 工作原理

半导体可饱和吸收镜（SESAM）的基本结构就是把反射镜与半导体可饱和吸收体结合在一起。底层一般为半导体反射镜，其上生长一层半导体可饱和吸收体薄膜，最上层可能生长一层反射镜或直接利用半导体与空气的界面作为反射镜，这样上下两个反射镜就形成了一个法布里-珀罗腔，通过改变吸收体的厚度以及两反射镜的反射率，可以调节吸收体的调制深度和反射镜的带宽。

孙勣举英才计划活动报告

时间：2018.11.11 导师：宋峰教授 主讲人：张康老师

一、 内容总结：

1. 可饱和吸收体：激光谐振腔内调 Q 技术中使用的一种开关晶体材料。饱和吸收体对微光的吸收系数随入射光强增大而减小，当达到饱和值时对激光呈现透明，利用其这种饱和吸收特性对激光腔内的损耗 (Q 值) 进行调制，并发射脉冲，产生的脉冲宽度在几纳秒甚至几十皮秒量级。可饱和吸收体需要有较强的光调制能力，可靠性，快速恢复能力，低成本
2. 2D/纳米材料的优势：宽带工作、成本低廉
3. 制备方法
 - a) 液相外延生长 (LPE)
 - b) 化学气相沉积 (CVD) : 可用于制备薄膜、粉末、纤维，具有高晶格质量、层数可控、较大面积等优势
 - c) 物理气相沉积 (PVD) : 可用于制备薄膜、粉末、纤维，具有成膜面积较大的优势
 - d) 喷墨打印法
4. 近些年的可饱和吸收体的制备进展：2015 PVD 法制备 WS₂-SA, 2017 PVD 法制备 WS₂-MoS₂-WS₂，超晶格继承式 SA, 2018 PVD 法制备 MoTe₂-SA

二、一些问题

1. 化学气相沉积法 (CVD) 工作原理：

CVD 是利用气态物质在固体表面进行化学反应，生成固态沉积物的工艺过程。它一般包括三个步骤：

- (1) 产生挥发性物质；
- (2) 将挥发性物质输运到沉积区；
- (3) 于基体上发生化学反应而生成固态产物。

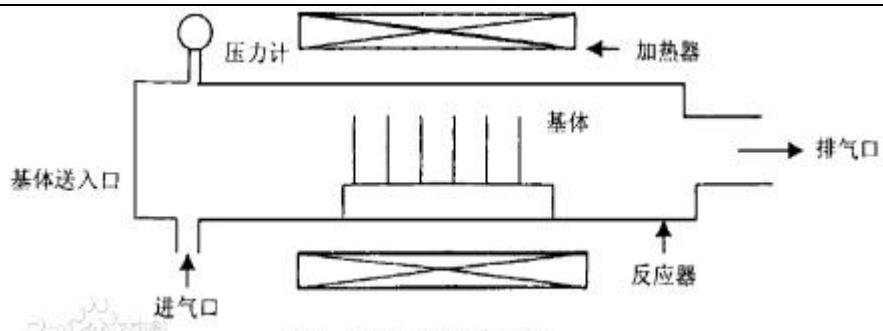


图1 CVD 反应系统示意图

2. 半导体可饱和吸收镜（SESAM）的作用及工作原理：

半导体可饱和吸收镜（SESAM）的基本结构就是把反射镜与半导体可饱和吸收体结合在一起。底层一般为半导体反射镜，其上生长一层半导体可饱和吸收体薄膜，最上层可能生长一层反射镜或直接利用半导体与空气的界面作为反射镜，这样上下两个反射镜就形成了一个法布里-珀罗腔，通过改变吸收体的厚度以及两反射镜的反射率，可以调节吸收体的调制深度和反射镜的带宽。

4.8 光纤中信号传输

耿浩然英才计划活动报告

地点：南开大学五教 407 指导教师：张康导师 任杨阳导师 宋锋教授

一、主要内容：

光纤的传输特性主要是指光纤的损耗特性、色散特性和非线性特性。

(一) 光纤的损耗特性：

光波在光纤中传输，随着传输距离的增加，而光功率强度逐渐减弱，光纤对光波产生衰减作用，称为光纤的损耗（或衰减）。光纤的损耗限制了光信号的传播距离。光纤的损耗主要取决于吸收损耗、散射损耗、弯曲损耗三种损耗。

吸收损耗

吸收损耗是由制造光纤材料本身以及其中的过渡金属离子和氢氧根离子(OH⁻)等杂质对光的吸收而产生的损耗，包括：

1. 本征吸收损耗
2. 杂质吸收损耗
3. 原子缺陷吸收损耗

散射损耗

空气中浮游着无数的烟雾、尘粒，光照射到这些微粒上，微粒把光朝四面八方散射，微粒越多，光柱越亮，光的散射损耗越大，照射的距离也就越短。这种散射叫分子散射。一切物质都由分子构成，光纤材料也不例外，所以散射损耗不可避免。另有一种散射是由光纤材料的内部结构不完整所引起，比如光纤中有气泡、杂质，粗细不均匀，特别是纤芯包层的界面不平滑，光传输到这里，也会被散射到各个方面。

弯曲损耗

光纤的弯曲有两种形式：一种是曲率半径比光纤的直径大得多的弯曲，我们习惯称为弯曲或宏弯；另一种是光纤轴线产生微米级的弯曲，这种高频弯曲

习惯称为微弯。

(二) 光纤的色散特性

色散的概念

当日光通过棱镜或水雾时会呈现按红橙黄绿青蓝紫顺序排列的彩色光谱。这是由于棱镜材料（玻璃）或水对不同波长（对应于不同的颜色）的光呈现的折射率 n 不同，从而使光的传播速度不同和折射角度不同，最终使不同颜色的光在空间上散开。

光脉冲中的不同频率或模式在光纤中的群速度不同，这些频率成分和模式到达光纤终端有先有后，使得光脉冲发生展宽，这就是光纤的色散。色散一般用时延差来表示，所谓时延差，是指不同频率的信号成分传输同样的距离所需要的时间之差。

色散的分类：

模式色散：不同模式不同传输速度（仅多模光纤有）

材料色散：不同频率不同折射率

波导色散：不同频率不同模场分布

偏振模色散：不同偏振态不同传输速度

二、思考题：色散与带宽的关系：既然脉冲展宽、色散和带宽描述着光纤的同一个特性，那么它们之间必然存在着一定的联系。

光纤的色散导致脉冲展宽，光纤的色散特性使得光信号在传输过程中脉冲展宽。色散大，光脉冲展宽就严重，在接收端就可能因脉冲展宽而出现相邻脉冲重叠造成误码。由于色散的存在，限制了光纤带宽，在高速光线系统中还限制了中继距离的延长。

材料色散引起的脉冲展宽与光源的谱线宽度和材料色散系数及光纤长度成正比。光纤传输的模式越多，脉冲展宽就越严重，对光纤传输带宽的限制也越严重。

光纤的色散和带宽描述的是光纤的同一特性。其中色散特性是在时域中的表现形式，即光脉冲经过光纤传输后脉冲在时间坐标轴上展宽了多少；而带宽

第四章 深入高校实验室

特性是在频域中的表现形式，在频域中对于调制信号而言，光纤可以看作是一个低通滤波器，当调制信号的高频分量通过光纤时，就会受到严重衰减。

耿浩然英才计划活动报告

地点：南开大学五教 407 指导教师：张康导师 任杨阳导师 宋锋教授

一、内容提要：

光纤的传输特性主要是指光纤的损耗特性、色散特性和非线性特性。

1. 光纤的损耗特性：

光波在光纤中传输，随着传输距离的增加，而光功率强度逐渐减弱，光纤对光波产生衰减作用，称为光纤的损耗（或衰减）。光纤的损耗限制了光信号的传播距离。光纤的损耗主要取决于吸收损耗、散射损耗、弯曲损耗三种损耗。

a 吸收损耗

吸收损耗是由制造光纤材料本身以及其中的过渡金属离子和氢氧根离子(OH⁻)等杂质对光的吸收而产生的损耗，包括：

1. 本征吸收损耗
2. 杂质吸收损耗
3. 原子缺陷吸收损耗

b 散射损耗

空气中浮游着无数的烟雾、尘粒，光照射到这些微粒上，微粒把光朝四面八方散射，微粒越多，光柱越亮，光的散射损耗越大，照射的距离也就越短。这种散射叫分子散射。一切物质都由分子构成，光纤材料也不例外，所以散射损耗不可避免。另有一种散射是由光纤材料的内部结构不完整所引起，比如光纤中有气泡、杂质，粗细不均匀，特别是纤芯包层的界面不平滑，光传输到这里，也会被散射到各个方面。

c 弯曲损耗

光纤的弯曲有两种形式：一种是曲率半径比光纤的直径大得多的弯曲，我们习惯称为弯曲或宏弯；另一种是光纤轴线产生微米级的弯曲，这种高频弯曲习惯称为微弯。

2. 光纤的色散特性

色散的概念

当日光通过棱镜或水雾时会呈现按红橙黄绿青蓝紫顺序排列的彩色光谱。这是由于棱镜材料（玻璃）或水对不同波长（对应于不同的颜色）的光呈现的折射率 n 不同，从而使光的传播速度不同和折射角度不同，最终使不同颜色的光在空间上散开。

光脉冲中的不同频率或模式在光纤中的群速度不同，这些频率成分和模式到达光纤终端有先有后，使得光脉冲发生展宽，这就是光纤的色散。色散一般用时延差来表示，所谓时延差，是指不同频率的信号成分传输同样的距离所需要的时间之差。

二、思考题：色散与带宽的关系：既然脉冲展宽、色散和带宽描述着光纤的同一个特性，那么它们之间必然存在着一定的联系。

光纤的色散和带宽描述的是光纤的同一特性。其中色散特性是在时域中的表现形式，即光脉冲经过光纤传输后脉冲在时间坐标轴上展宽了多少；而带宽特性是在频域中的表现形式，在频域中对于调制信号而言，光纤可以看作是一个低通滤波器，当调制信号的高频分量通过光纤时，就会受到严重衰减。

光纤的色散导致脉冲展宽，光纤的色散特性使得光信号在传输过程中脉冲展宽。色散大，光脉冲展宽就严重，在接收端就可能因脉冲展宽而出现相邻脉冲重叠造成误码。由于色散的存在，限制了光纤带宽，在高速光线系统中还限制了中继距离的延长。

材料色散引起的脉冲展宽与光源的谱线宽度和材料色散系数及光纤长度成正比。光纤传输的模式越多，脉冲展宽就越严重，对光纤传输带宽的限制也越严重。

孟越英才计划活动报告

时间 12月8日 地点 南开大学第五教学楼

导师 宋峰教授 主讲人 张康老师 报告人

一、内容总结

1. 光信号在光纤中会发生衰减，导致失真。

光纤的传输特性包括损耗特性、色散特性和非线性特性。

2. 损耗特性，即光功率随传输距离增大而减小。损耗包括吸收损耗、散射损耗、弯曲损耗等。

(1) 吸收损耗包括本征吸收损耗、杂质吸收损耗和原子缺陷吸收损耗。

本征吸收损耗，即材料的紫外吸收和红外吸收，由材料特性决定。

杂质吸收损耗，由于混入杂质导致的损耗。可通过提高材料纯度减小。

原子缺陷吸收损耗，共价键断裂产生原子缺陷导致的损耗。

(2) 散射损耗是由于光纤材料组份中原子密度微起伏或光纤波导结构缺陷等使光功率耦合出或泄露出纤芯外所造成的损耗。

本征散射损耗是材料固有的，不能消除。其中包括的瑞利散射损耗与之前的本征吸收损耗之和为损耗的理论极限值。

非线性散射有受激布里渊散射和受激拉曼散射。

(3) 弯曲损耗是光纤轴弯曲所引起的损耗。任何肉眼可见的光纤轴线对于直线的偏移称作弯曲或宏弯曲。另一类损耗是光纤轴产生随机的微米级的横向位移状态所成的，称作微弯损耗。

3. 损耗系数 $\alpha = \frac{10}{L} \log \left[\frac{P_{in}}{P_{out}} \right] \text{ (dB/Km)}$

单模光纤的低损耗波段为 1310 和 1550nm

4. 色散特性

光纤色散的产生基于两个方面的因素，一是进入光纤中的光信号不是单色光（光

第四章 深入高校实验室

源发出的光不是单色或是调制信号具有一定的带宽)；二是光纤对光信号的色散作用。

由于光纤中所传信号的不同频率成分，或信号能量的各种模式成分，在传输过程中，因群速度不同互相散开，引起传输信号波形失真，脉冲展宽的物理现象称为色散。

光纤色散分为材料色散，波导色散和模式色散。

5. 非线性特性

二、问题

色散与带宽的关系？

光纤的色散和带宽描述的是光纤的同一特性。其中色散特性是在时域中的表现形式，即光脉冲经过光纤传输后脉冲在时间坐标轴上展宽了多少；而带宽特性是在频域中的表现形式。在频域中对于调制信号而言，光纤可以看作是一个低通滤波器，当调制信号的高频分量通过光纤时，就会受到严重衰减。色散导致了脉冲展宽。

通常把调制信号经过光纤传播后，光功率下降一半时频率的大小定义为带宽。

光纤的色散导致脉冲展宽，光纤的色散特性使得光信号在传输过程中脉冲展宽。色散大，光脉冲展宽就严重，在接收端就可能因脉冲展宽而出现相邻脉冲重叠造成误码。由于色散的存在，限制了光纤带宽，在高速光线系统中还限制了中继距离的延长。

材料色散引起的脉冲展宽与光源的谱线宽度和材料色散系数及光纤长度成正比。光纤传输的模式越多，脉冲展宽就越严重，对光纤传输带宽的限制也越严重。

孙勣举英才计划活动报告

时间：2018.12.08 导师：宋峰教授 主讲人：张康老师

一、 内容总结

1. 损耗特性

(1) 吸收损耗

吸收损耗包括：本征吸收损耗、杂质吸收损耗、原子缺陷吸收损耗

本征吸收损耗，即材料的紫外吸收和红外吸收，由材料特性决定。

杂质吸收损耗，由于混入杂质导致的损耗。可通过提高材料纯度减小。

原子缺陷吸收损耗，共价键断裂产生原子缺陷导致的损耗。

(2) 散射损耗

线性散射损耗

瑞利散射：粒子尺度远小于入射光波长时（小于波长的十分之一），其各方向上的散射光强度是不一样的，该强度与入射光的波长四次方成反比，这种现象称为瑞利散射。

波导散射损耗（米氏散射）：当微粒半径的大小接近于或者大于入射光线的波长 λ 的时候，大部分的入射光线会沿着前进的方向进行散射，这种现象被称为米氏散射。

非线性散射损耗

受激拉曼散射

受激布里渊散射

2. 光纤损耗系数

$$\alpha = \frac{10}{L} \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) (\text{dB / km})$$

其中 P_1 和 P_2 分别为输入和输出功率， L 为光纤长度

单模光纤的第损耗区域为 1310nm 和 1550nm 附近

3. 色散特性

第四章 深入高校实验室

由于光纤中所传信号的不同频率成分，或信号能量的各种模式成分，在传输过程中，因群速度不同互相散开，引起传输信号波形失真，脉冲展宽的物理现象称为色散。

光纤色散分为材料色散、波导色散和极化色散

二、课后问题

色散与带宽的关系？、

光纤的色散和带宽描述的是光纤的同一特性。其中色散特性是在时域中的表现形式，即光脉冲经过光纤传输后脉冲在时间坐标轴上展宽了多少；而带宽特性是在频域中的表现形式

比如说有个接收器分辨率是 1s，根据传过来的信号强度在 1s 内的均值是否超过某个高度来识别这个信号记为 0 或者 1，但是模间色散也就是光线中的色散会将一个持续 1s 的脉冲拉伸成 2s 的，而且遗憾的是强度也超过了那个接收器设定的阈值，于是这个接收器就会认为收到了两个 1 而不是发送端原本只想发送的一个 1。为了解决这个问题，一个途径就是让接受器的分辨率变低，变成 2s，于是单位时间内传送的信息量受到限制，带宽也就减小了。

第五章 自主设计实验

5.1 含不同金属离子的荧光粉的制备及性能探究实验设计

实验操作人： 孟越 指导教师： 宋峰教授

一、实验目的

- 1、探究含有铕（Eu）金属离子的硅酸盐发光性能与离子浓度、煅烧温度、煅烧时间的关系；
- 2、探究含不同种金属离子对硅酸盐荧光粉的影响。

二、实验材料及器材

1、实验材料

GaSiO₃:Eu³⁺红色荧光粉、分析纯的硝酸钙【Ga(NO₃)₂.4H₂O】、硝酸铕【Eu(NO₃)₃.6H₂O】、正硅酸乙酯（TEOS）、硝酸锂（LiNO₃）、HNO₃、无水乙醇、去离子水。

2、实验器材

玛瑙研钵、电子天平、管式电子炉、X射线衍射仪（型号、参数将根据实际使用实验室的设备确定）、样品的发光性能测试采用荧光分光光度计（型号、参数将根据实际使用实验室的设备确定）。

三、实验原理

- 1、硅酸盐由于其特殊的晶体结构，在某些特定的波长的光的激发下可以发出荧光；
- 2、在发光主体材料硅酸盐（基质）中加入金属离子的主要作用是充当激活剂和敏化剂，通过煅烧使硅酸盐基质形成结晶，同时使激活剂进入基质中形成发光中心；
- 3、不同的煅烧时间、煅烧温度、不同的金属离子及同一离子的不同浓度等因素都会影响硅酸盐晶体结构，进而影响其发光性能。

四、实验方法

第五章 自主设计实验

-
- 1、硅酸盐荧光粉的制备采用溶胶-凝胶法；
 - 2、利用衍射原理进行物相分析；
 - 3、采用荧光分光光度计测试荧光样品的发射光谱及激发光谱。
 - 4、煅烧时间、煅烧温度、不同的金属离子及同一离子的不同浓度各影响因素的分析采用控制变量法。

五、实验步骤

- 1、以分析纯的硝酸钙 $[\text{Ga}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 、硝酸铕 $[\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 、正硅酸乙酯 (TEOS)、硝酸锂 (LiNO_3)、 HNO_3 、无水乙醇、去离子水为实验原料。先将 $\text{Ga}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 按化学计量比溶解在无水乙醇和去离子水体积比为 3: 1 的混合液中，并搅拌均匀。再向溶液中滴加一定量的稀 HNO_3 ，调节溶液 pH 值约为 2.5，最后将正硅酸乙酯加入到溶液中，搅拌 2h 至澄清，再放入 60°C 的水浴中加热 4h，得到干凝胶，将干凝胶在 120°C 下干燥 12h 得到前驱体，最后将前驱体放在管式炉中，在氮气气氛下，1250°C 煅烧 3h，获得 $\text{GaSiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉。采用 X 射线衍射仪分析 $\text{GaSiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉样品的物相组成，荧光分光光度计测试荧光样品的发射光谱及激发光谱。
- 2、其他条件不变，只改变煅烧温度，温度梯度分别为 750°C、850°C、950°C、1050°C，分析不同煅烧温度下 $\text{GaSiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉样品的物相组成，发射光谱及激发光谱。
- 3、其他条件不变，只改变 Eu^{3+} 离子的掺杂浓度，分别为 0.5%、0.7%、0.9%、1.2% 分析不同 Eu^{3+} 离子的掺杂浓度对 $\text{GaSiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉样品的物相组成，发射光谱及激发光谱的影响。
- 4、其他条件不变，只改变煅烧时间，煅烧时间梯度分别为 1h、2.5h、4h、5h，分析不同煅烧时间对 $\text{GaSiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉样品的物相组成，发射光谱及激发光谱的影响及变化。
- 5、将硅酸盐荧光粉 $\text{GaSiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 中的金属离子 Eu^{3+} 更换成其他金属离子，分别制备出含其他金属离子的硅酸盐荧光粉，分别分析掺杂不同金属离子硅酸盐荧光粉样品的物相组成，发射光谱及激发光谱。

第五章 自主设计实验

6、实验结果整理与分析。

六、实验结果整理与分析

1、 Eu^{3+} 的掺杂浓度为 1% 硅酸盐荧光粉的 X 射线衍射谱图

2、不同 Eu^{3+} 浓度对 $\text{CaSiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉发光性能的影响

1) 不同 Eu^{3+} 浓度的 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的发射光谱

2) 不同 Eu^{3+} 浓度的 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的激发光谱

3) 不同 Eu^{3+} 浓度的 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的色坐标图表

表 1 不同 Eu^{3+} 浓度的 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的色坐标

$\text{Eu}^{3+}/\%$	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2
色坐标 (X、Y)					

3、不同煅烧温度对 $\text{CaSiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉发光性能的影响

1) 不同煅烧温度对 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的发射光谱

2) 不同煅烧温度对 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的激发光谱

3) 不同煅烧温度下 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的 X 射线衍射谱图

4、不同煅烧时间对 $\text{CaSiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉发光性能的影响

1) 不同煅烧时间对 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的发射光谱

2) 不同煅烧时间对 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的激发光谱

3) 不同煅烧时间下 $\text{CaSiO}_3:x\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的 X 射线衍射谱图

5、用其它的金属离子替换铕 (Eu) 离子后硅酸盐发光性能的变化

5.2 无线路由器的摆放对信号的影响

无线路由器的不同摆放方式对其覆盖的影响

孙勋举

摘要：本文以家庭常用的无线路由器探究了其不同摆放位置、天线角度摆放高度对其在家中的覆盖的情况的影响，以及家庭情况下。实验结果为：天线角度与接收天线角度的越接近损耗越小，天线高度对传播影响较小，天线竖直摆放水平覆盖面积更大。

1 引言

互联网的不断发展，物联网的出现，无线网络连接也就显得越发重要。在家庭中大量的物品（如冰箱，扫地机器人，手机，笔记本电脑）需要网络连接，因此无线网络的覆盖情况如何就显得很重要。无线信号在传播过程中由于不同障碍物的影响会发生不同程度的反射、散射、被吸收等物理现象，信号会发生能量损耗。无线信号在家庭环境下传播路径随机性较大，难以预测。所以本文采用控制变量的方法确定天线角度、摆放位置对无线信号的覆盖影响，并测量了常见的建筑材料对信号的削弱。

2 实验

2.1 实验仪器

无线路由器（TP-LINK TL-WDR7300）、天线（TP-LINK TL-WDN5200H）

2.2 常见的建筑材料对信号的削弱

2.2.1 实验操作

将无线路由器放置在一面开放的金属盒子中，开放一侧放置接收天线，将实验材料紧贴在金属盒子开放面，测量遮挡前后的信号强度。

2.2.2 实验数据

材料	厚度 cm	无遮挡时强度 dBm	遮挡时强度 dBm	损耗 dBm

第五章 自主设计实验

矿棉板	1.8	-15	-16	1
瓦楞纸板	0.6	-15	-15	0
石膏板	2.0	-15	-17	2
PVC 板	0.8	-15	-16	1
石棉	2.0	-15	-20	5
胶合板	4	-15	-18	3
木门	5	-15	-19	4
混凝土墙	25	-15	-32	17

2.2 天线角度和摆放高度对信号的影响

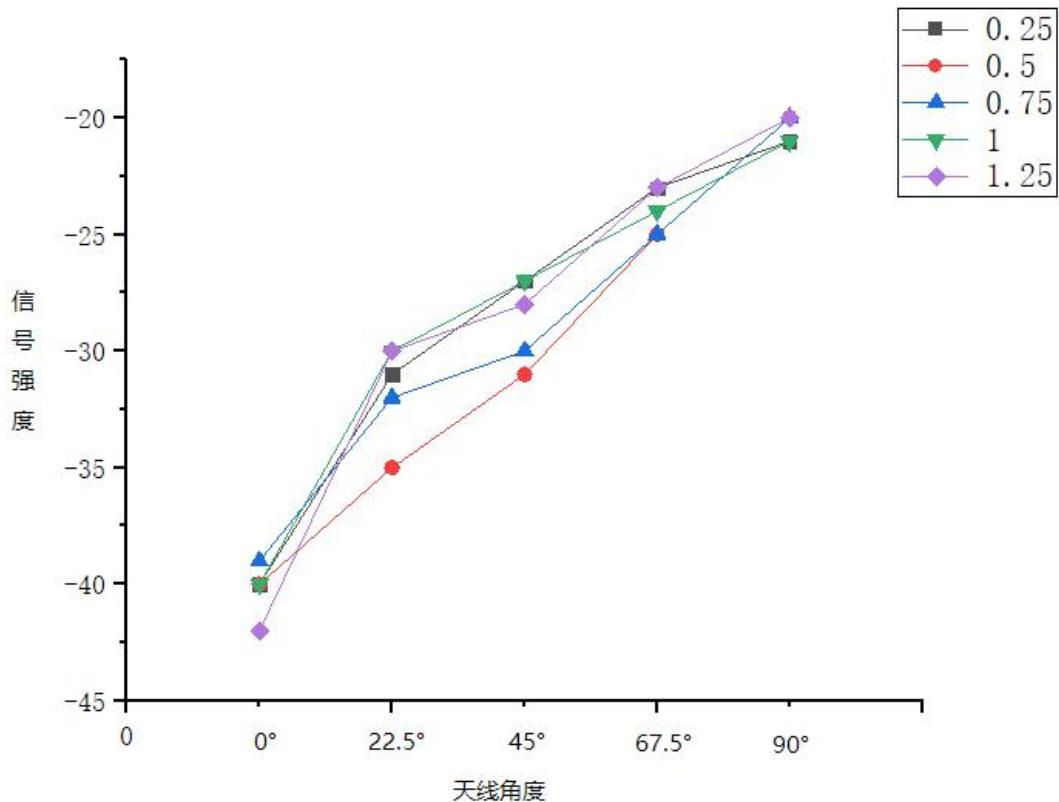
2.2.1 实验操作

将无线路由器放置于距地面的 0.75m 处，将接收天线竖直摆放，路由器天线与接受天线相距 2m，分别与地面成 0°、22.5°、45°、67.5°、90° 分别与 0.25m、0.5m、0.75m、1m、1.25m 处测量信号强度。

2.2.2 实验数据

高度 m 角度	0.25	0.5	0.75	1	1.25
0°	-40	-40	-39	-40	-42
22.5°	-31	-35	-32	-30	-30
45°	-27	-31	-30	-27	-28
67.5°	-23	-25	-25	-24	-23
90°	-21	-20	-20	-21	-20

2.2.3 结果处理



由数据和图像可以看出接收天线与路由器天线角度角度越接近，信号强度越高，而由于接收高度造成的影响不很明显。

2.3 在实际情况下无线路由器摆放方式对信号覆盖的影响

2.3.1 实验操作

(1) 将无线路由器摆放于二楼中央处地面，分别以侧放和正放天线，在一楼测量覆盖结果。

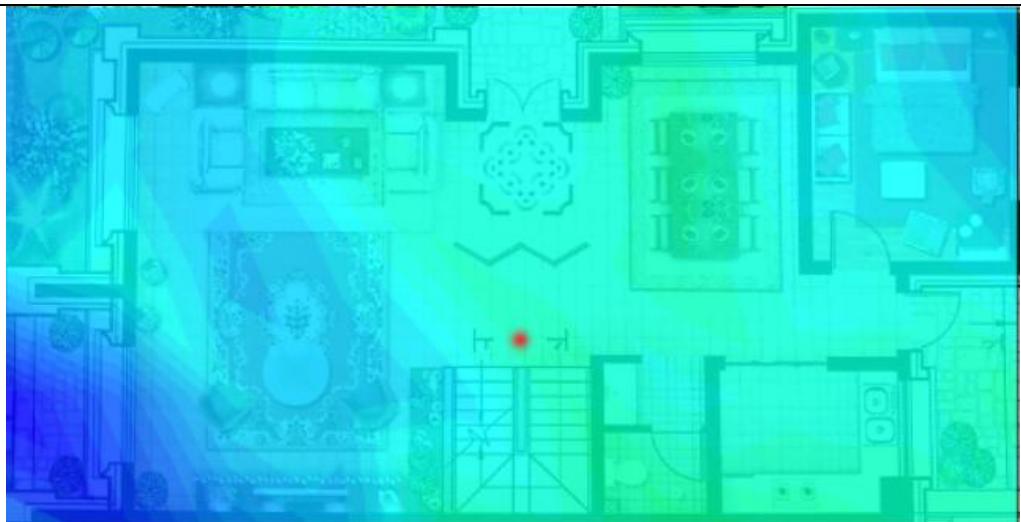
(2) 将无线路由器摆放于二楼中央处地面，分别在一楼和二楼测量覆盖结果。

(1) 将无线路由器摆放于二楼中央处和角落处的地面，分别以侧放和正放天线，在二楼测量覆盖结果。

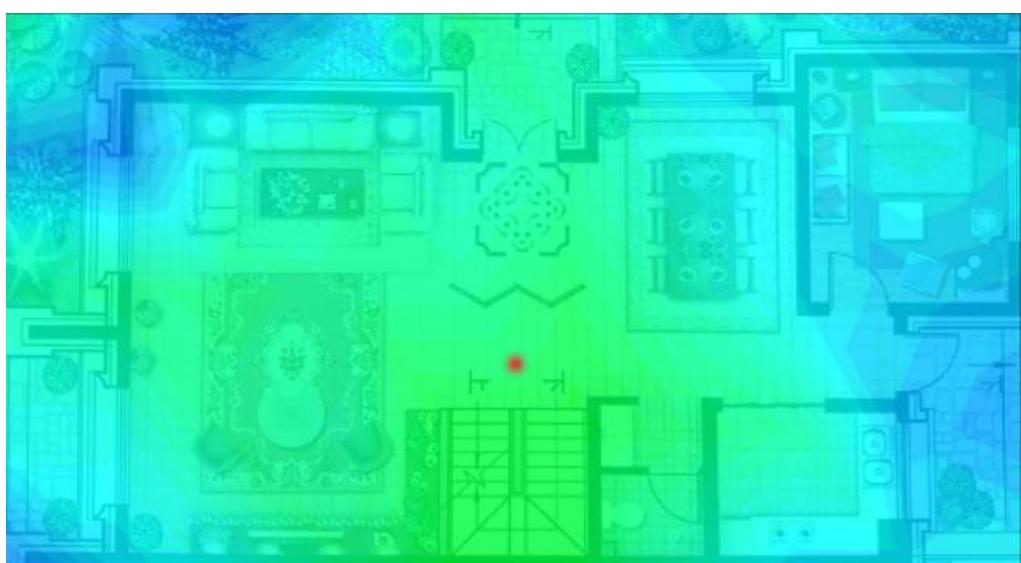
2.3.2 实验结果

(图中与周围颜色有明显区别的点为俯下的路由器的摆放位置)

第五章 自主设计实验

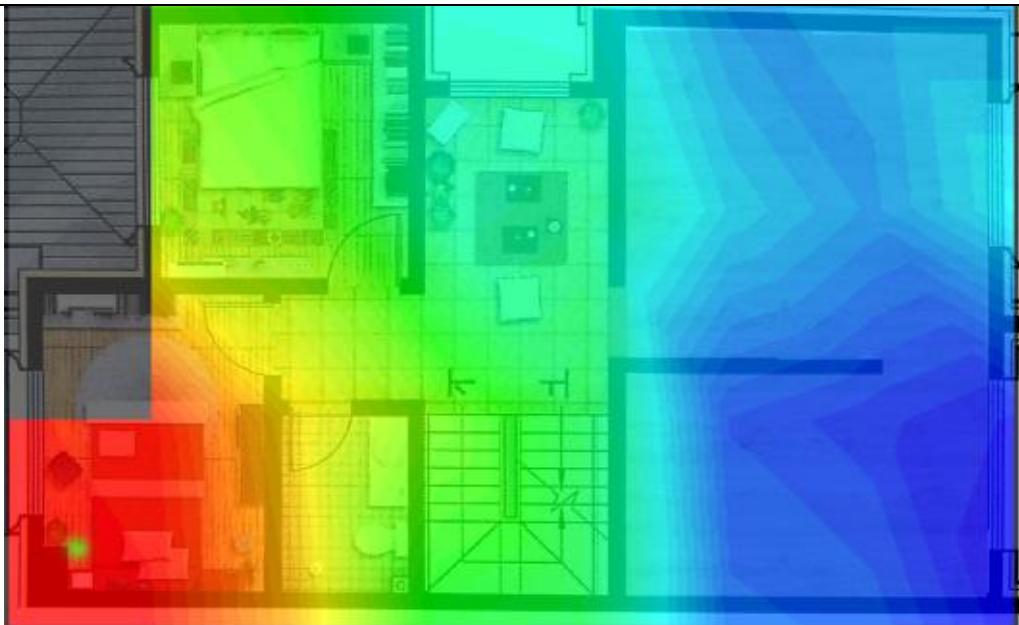


侧放一楼

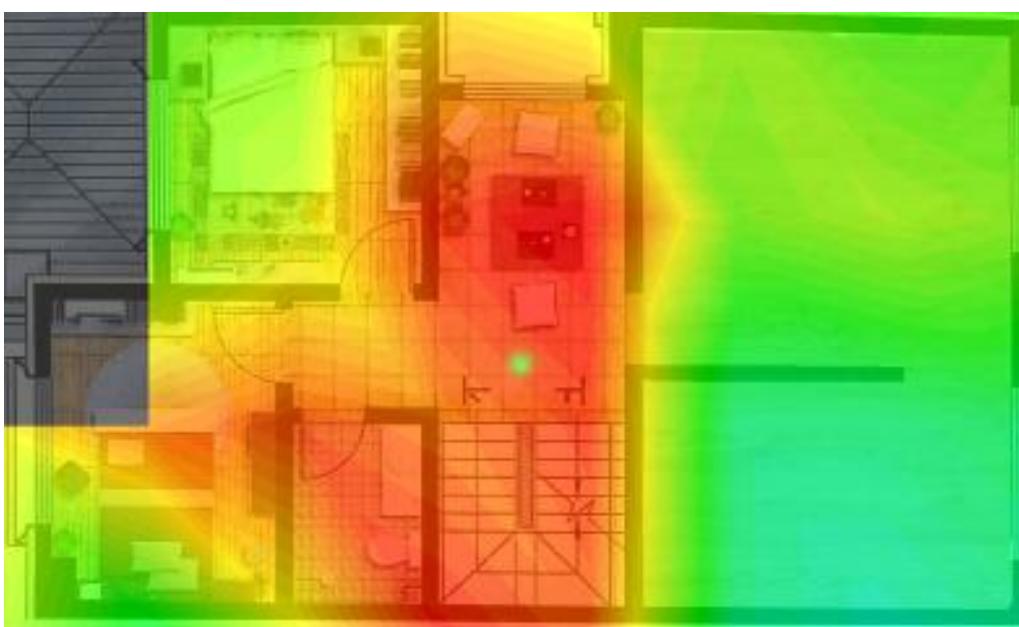


正放一楼

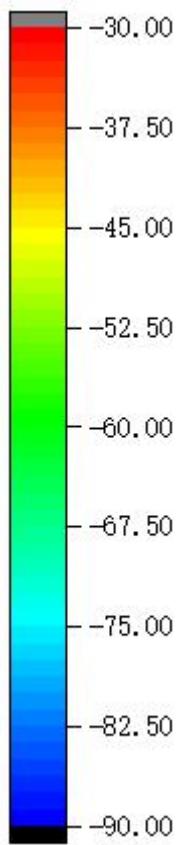
第五章 自主设计实验



角落二楼



正放二楼中央



图例

2.3.3 分析

在正放和侧放天线的情形下，正放天线不仅强度更高而且低强度死角较少。

在正放天线的情形下，一楼和二楼的总体分布趋势相同，但强度更低，说明主要是由于楼层吸收了辐射

在正放天线的情形下，路由器放置在角落和放置在中央时，靠近路由器的位置信号强度相似，但放置与角落时的覆盖情况明显不如放置与中央时。

3 结论

接收天线与路由器天线角度角度越接近，信号强度越高，而由于接收高度造成的影响不很明显。摆放于房屋中央更利于信号覆盖。正放天线更利于信号覆盖。同楼层放置要远好于放置于其他楼层。

参考文献

- [1] 梁尧. WLAN 室内定位系统中无线信号传播的统计建模与应用 [D]. 哈尔滨工业大学, 2009.
- [2] 陈一天, 余爱民. 2.4GHz 无线局域网在室内外传播的路径损耗分析 [J]. 电讯技术, 2005, 45(1):36-40.

第六章 冬令营及素拓

6.1 冬令营活动总结

2018 物理冬令营总结收获与感想

—— 董欣田

本次冬令营历时 5 天，总计专家报告 7 场，专家面对面交流活动 2 场，参观活动 4 次，动手实验 2 次。下面我对几次印象最深的活动进行着重介绍：（其中每场活动的核心收获用红色标注）

第一天的破冰活动中，STEM 课程的老师让我们初步了解什么是科学家，并通过“制作投石机实验”让我们体会科学家完成实验的前提：一是注重实验安全，二是遵循伦理规则。我们在为未出现的职业学习，保持批判性思维。

武向平院士的大师报告围绕天体物理展开，他初步介绍了宇宙的年龄身高重量出生何处去等内容，引出两大未解之谜—暗物质与暗能量。知道了更多宇宙的知识，我对宇宙更加向往与好奇。

郑波教授的讲座中提到成功的关键是要掌握远超于他人的本事。人的一生，就是不断放弃理想的过程，所以目标设的高一点儿，才可能多剩一点儿。郑教授在介绍计算物理时，讲到计算一条不规则曲线面积的方法：用方形将曲线圈起来，向方形中扔石头至均匀，根据投入曲线内的石头数量与整体投石数的比值求出面积。这个方法拓宽了我的思维。

之前的几场报告都是让我们对物理学科有更全面的了解，对科学精神有初步体会。之后的报告大都围绕英才计划的介绍、选题与目标。

王莉萍校长就完成课题必备素质展开，特别强调创新，不循规蹈矩的重要性，还要能将想法付诸现实，高度集中注意力。

冯世猛教授提到选题应贴临生活，要善于从生活中寻找“为什么”，并且与所学知识结合，选题不用特别高深。

令我收获最大的是“专家面对面”环节。大家畅所欲言，与大师们请教，交流，并且在其中发现可能大家都存在的问题。也为我们解惑，关于参加英才

第六章 冬令营及素拓

计划对日常学习和高考影响。我们在一年的英才计划中，收获的是经历，增加的是见识，而作为未来的英才，应看淡高考，是金子总会发光。

总的来说，本次冬令营收获很大，让我们对英才计划有了更具体的了解，见到了许多大师和来自全国各地的热爱物理、善于发现的同学们，交到了好朋友。也培养了热爱生活的精神—善于时刻发现问题，对真理的向往与不断探索精神。在未来一年中，我们应该主动发现生活中的问题，并且敢想也敢做，珍惜这个平台。最后，我对为此次活动付出的所有老师和给我机会参加本次活动的老师说一声：“谢谢！”



图表 1 图为 STEM 课程中制作的投石机

第六章 冬令营及素拓



图表 2 图为武院士关于物理宇宙的报告



图表 3 图为参观的厦大实验室

第六章 冬令营及素拓



图表 4 图为参观厦大校史馆



图表 5 图为王院长的报告

第六章 冬令营及素拓

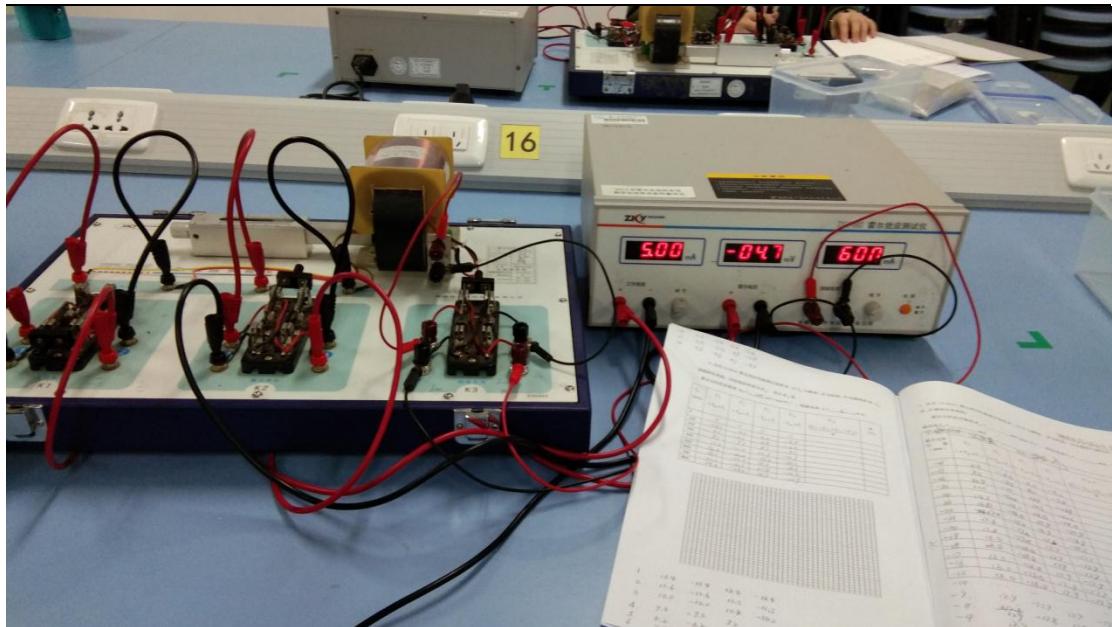


图表 6 图为冯教授的报告



图表 7 图为上届优秀学员经验指导

第六章 冬令营及素拓



图表 8 图为分组实验：霍尔效应



第六章 冬令营及素拓



图表 9 图为与武院士合影
图表 10 图为参观三安光电的无土栽培



图表 11 图为获得冬令营活动优秀营员证

2018 物理冬令营总结收获与感想

—— 孙勣举

二月六日下午我们入住酒店，当天晚上我们体验了一节 STEM（科学（Science），技术（Technology），工程（Engineering），数学（Mathematics））课程作为破冰活动。



Figure 1 教师讲解 STEM 课程

活动中我们分组合作尝试设计了投石机并尝试动手组装了一台投石车，从这个过程中向我们介绍了如何进行科学研究，还提到了进行研究的两个前提，即注重实验安全，遵循伦理道德。在回到酒店后我们和北京甘肃的同学还进行了投石机对战。



Figure 2 我向大家介绍我们组的方案

7日上午，我们进行了开营仪式，仪式上多位领导致辞。接着武向平院士从天体物理学角度以“宇宙和人类的命运”做了大师报告，讲述了暗物质和暗能量的历史，以及人类最终的命运：冻死即因能源消耗尽而死亡，宇宙的加速膨胀会加速这一进程，此外还介绍了中国正在尝试的“生物圈二号”实验，目前已经进行了半年，各方面良好。





下午，郑波教授以“物理与人生”为题做了报告，阐述了物理与人生的密切关系：

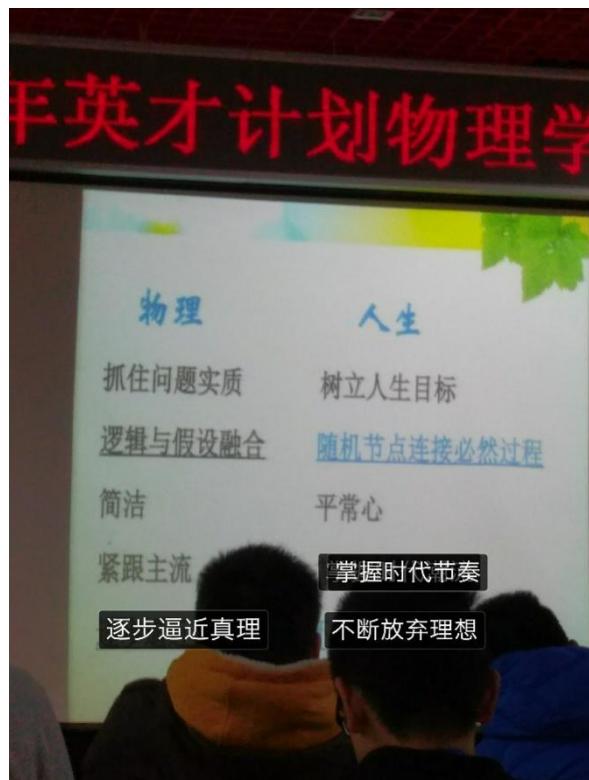


Figure 3 郑教授的总结

接着，我们进行了专家面对面活动，武院士提出了英才计划的三类学生：第一类是自己带着问题、课题，来到英才，获得环境来研究自己的课题，解决自

第六章 冬令营及素拓

己的问题；第二类是来到英才，跟着自己的导师，去做导师擅长方面的研究；第三类是来到英才，只来做做大学的实验，听听大学的课，写写读书笔记，一年下来什么收获都没有。他建议我们要争做第一类，不行的话做第二类，千万不要做第三类，来到英才要有收获。接着我们和大师们进行了面对面的交流，大家和大师们畅所欲言，交流了许多关于如何选题，如何做研究，如何分配时间的问题。



接下来几天，几场报告向我们介绍了英才计划的具体内容，如何选题：从生活出发题目就很好，与所学知识紧密结合，不必非去追求些高端前沿的课题，过度追求有时反而没有好的结果；所必备的素质：王莉萍校长强调了要有创新精神，并能把想法付诸实践，丑瑞华同学强调了不能拖沓，不能马虎，要有锲而不舍的精神。

此外，我们还参观了厦门大学的校史馆、党史官、图书馆、实验室，三安光电的展房，参加了尝试打高尔夫球等等活动。

在此次冬令营中，我更深入的认识了英才计划，了解了怎么选题目，怎么

第六章 冬令营及素拓

做科研，还结识了很多志趣相投的小伙伴，对我的各方面都有着很大帮助。

第六章 冬令营及素拓

附图：



Figure 4 石墨烯实验室里的研究员



Figure 5 测试投石车



Figure 6 厦大的咖啡



Figure 7 厦大的校园（图中所有房子都是厦大的）

第六章 冬令营及素拓



Figure 8 参观三安光电



Figure 9 参观石墨烯实验室

第六章 冬令营及素拓



Figure 10 相同小熊在不同色温的 LED 照射下



Figure 11 实验室做实验

第六章 冬令营及素拓



Figure 12 厦大图书馆前的合影

6.2 综合素质拓展训练活动

拓展活动感想

活动时间：2018年5月12日

活动地点：杨柳青庄园

在忙欢声笑语的大巴缓缓停下，我们来到了沐浴在阳光中的杨柳青庄园。在这里，我们要进行一上午紧张的活动。

一位亲切热情的老师带领我们做了最初的几个“破冰活动”。原本不熟悉的大家逐渐热络起来。开头的小游戏也教会了我，注意事情的每一个环节，细心观察，善始善终。

接下来，我们分成了三支队伍。今天，三支队伍将相互竞争，决出最终的胜者。

我们在庄园里飞跑向各个任务地点。第一个任务要求两个人从缠绕着的绳套中脱身。开始，我们进行得很不顺利，无数次尝试的结果只是将绳套越绕越紧。后来，集思广益，我们终于找出了正确的方法。我由此明白，遇到问题时不要人为将其复杂化，要抓住关键。

接下来，我们用钉子挖出了一个精美的结构后，来到了最后的任务：猜成语。每个队员用肢体语言向前面的人描述成语，最后的一个人猜。然而实际的挑战中，后来的动作在传递过程中一点点“扭曲”，最终难以辨认。每个人对事物的看法是不同的，应该尽力理解他人。

中午，在西青宾馆饱餐了一顿美食后，下午的活动又开始了。最让我难忘的是“矫治传书”活动，所有人坐成一排，要求后面的人将数字传到前面。前面的人不能回头，后面的人不得说话，我们队“设计”出一套相当完备的传递系统。主要部分是在前面的人后背上用手写字，除此之外，我们还约定好了根号平方甚至对数的表达方式。我们赢得了前两轮的胜利，但是，第二轮一个违反运算法则的 $3 \times 4=7$ 让大家都产生了怀疑。最终，三个队均未得分。最后一轮，所给数字尽是“0”！这么简单的数字令所有人迟疑了。最后我们团队以该项第二的成绩遗憾收场。

第六章 冬令营及素拓

一整天的活动后，大巴载着欢乐与收获驶上归途，这是充实的一天，我不仅收获了友情，快乐，同时也收获了感动与知识，明白了如何在一个团队里做好应做之事。我将把这一天的经历铭记在心，把收获的知识运用在今后的生活中。

2018 英才计划学员：孟越

2018年5月18日



第六章 冬令营及素拓



第六章 冬令营及素拓



第六章 冬令营及素拓



第七章 2018 年“英才计划”总结评估

为全面评价“英才计划”学生培养效果，检验工作实施成效，挖掘典型培养案例，总结先进工作经验，进一步探索有效促进青少年科技英才成长成才的培养模式，全国管理办公室开展了 2018 年总结评估工作。

评议包括网络评议和现场评议，综合得出年度评议成绩，择优提名部分学生参加了 11 月中下旬开展的分学科论坛。参加论坛学生以 PPT 形式进行了不超过 10 分钟的自由展示，并接受了专家现场辩问。

学生评议结果分为三个等级，分别为优秀、合格、不合格。现场评议出的优秀学生将获得由英才计划学科工作委员会主任签名，全国管理办公室颁发的荣誉证书；评议为合格的学生将获得由导师签名，全国管理办公室和培养高校共同颁发的培养证书。

经评议，2018 年英才计划天津入选 6 人，物理学科有 3 人，入选学科论坛名单如下：

地区	姓名	学校	学科
天津	谷晨阳	天津市第一中学	数学
天津	孟越	天津市第一中学	物理
天津	孙勣举	天津市新华中学	物理
天津	耿逸然	天津市第一中学	物理
天津	荆菁德蓉	天津市第一中学	生物
天津	刘浩	天津市第一中学	计算机

其中孟越获得优秀学员称号。

第七章 2018年“英才计划”总结评估



第七章 2018年“英才计划”总结评估



第七章 2018年“英才计划”总结评估



致谢

致谢

感谢一年以来天津科协李军老师、南开大学科技处张博老师、张玮光老师、南开大学物理科学学院宋峰老师、李磊老师和学生助教任杨阳、杨洁、巨丹丹、周爱华、张康、胡慧敏、孙国庆等对英才计划的大力支持，感谢六位英才计划学员董欣田、耿浩然、耿逸然、孟越、孙勣举和牛厚朴的不懈努力，希望各位学员继续保持活动中严谨认真的学习作风，祝各位老师、同学在未来的学习工作中更上一层楼！

二零一九年于南开大学