

大雾实验不完全指北

大雾指北项目组

成员（按姓氏笔画排序）

王卢逸	刘元彻	刘白羽
沈晨晔	张庆川	罗钰涵
施耀炜	韩宇坤	廖 荣

更新日志

2022.6	计划成型
2022.12.11	进入筹备阶段
2022.12.15	项目正式启动，各部分开始编写
2023.3.17	试读版开始内测
2023.3.26	试读版发布
2023.9.12	第一版发布
2024.3.5	更新三级实验，并根据不确定度分析的新要求删除过时内容

最后更新时间：2024 年 3 月 5 日

[点击查看最新版本](#)

本手册使用 CC BY-NC-ND 4.0 协议

您可以自由复制、散布、展示及演出本作品

您必须按照作者或授权人所指定的方式，保留其姓名标示

您不得为商业目的而使用本作品

您不得改变、转变或改作本作品

序

各位同学，首先我要恭喜大家获得了在中国数学物理大学学习的资格，这意味着你已经超越了绝大部分同龄人。你或许会在这里如鱼得水，或许会觉得这里的生活与你的期望相去甚远。无论如何，你将面临所有南七学子的共同挑战——大学物理实验。

大雾实验见证了几代科大人的成长，是远近闻名的精品课程。特别是 2005 年评审国家级实验教学示范中心以来，科大物理实验教学改革创新成果斐然，相关讨论可见于各大网络平台，其中更是不乏“大物实验我艹你妈”^[1]这样的传世经典。然而，虽然每一届都有同学积极参与相关讨论，却少有人留下能真正帮助后辈的建议，以张力学长为代表的一批 0X 级学长留下的资料至今仍是许多低年级同学写实验报告的重要参考，而它们比一教相当一部分的仪器都要老了。一届又一届的学生在物理实验上耗费大量时间而鲜有收获，我们必须打破现状。

编写本手册的想法成型于 2022 年 6 月初。彼时笔者方才完成一级大雾的最后一个实验，想到一学期做实验的经历和不久前作古的大雾群一代目的往事，觉得有必要编写一份大雾指南，以使后人免受大雾之苦。然而笔者此后一直忙于学业，只好搁置这个计划。12 月 7 日，合肥放宽防疫政策；次日，学校通知允许学生申请提前返乡。笔者本想考完 17、18 日的两场期末再离校，但观望两天后认为形势过于严峻，便抛下未完成的八场考试和两次大雾回了家。笔者一下子变得十分空闲，遂决定着手编写本手册。

本手册第一章简述了大雾实验“广受好评”的原因和应对大雾的方法；第二章介绍了不确定度的算法，并对大物实验教学中心要求的不确定度算法进行了一些讨论；第三章介绍了一、二级大雾的各个实验，将来会考虑增加高级实验。根据此前试读版发布后一学期的情况，我们作了一些改动。相对于试读版，正式的第一版的变化包括但不限于：删去大部分主观评价，以防造成误导；增加“不要将大雾实验‘妖魔化’”和“到底要不要编数据？”两小节，帮助大家正确对待大雾；更正若干错误等等。

感谢项目组的各位同学与我一同完成本手册的编写；感谢 18 级刘炜昊学长对本项目提出建议；感谢曾担任大雾助教的 20 级陈翔学长、牟一鹏学长提供内幕消息，对本手册进行试读并反馈宝贵意见；感谢 2018 年 CUPT 校队，他们编写的 CUPT Cookbook 是本手册部分章节的重要参考；还有许多同学在本手册编写过程中提出意见和建议，不能一一列出，在此一并表示感谢。

其实相比于一些“鸿篇巨著”，我们的工作并不值得一提。只是，在大雾实验人人喊打的情况下，竟从没有人编写过类似的指南，不得不说这是一件很奇怪的事情。这份手册远称不上完成，即使计划非常粗糙，我的目标也远远没有达到。不过，希望能抛砖引玉，吸引更多同学留下有价值的资料，或是加入我们，共同完善本手册。进一步，如果能对大雾实验课程的改革有那么一点点的推动作用，便再好不过了。

本手册涵盖了大雾中常见的困难及解决方案，希望对你有所帮助。我们的工作难免有疏漏，如果你有任何反馈或建议，请发邮件到 gfrwly@mail.ustc.edu.cn，谢谢！

祝你在科大度过一段愉快的时光！

少年班学院 2021 级 王卢逸

2023 年 9 月

目 录

序	iii
第 1 章 大雾是甚么?	1
1.1 大雾为什么是神	1
1.1.1 懂不懂全校通修课的含金量啊?	1
1.1.2 实验教学	2
1.1.3 关于不确定度	2
1.1.4 为什么要做大雾?	3
1.1.5 总结与展望	3
1.2 那么……在哪里才能买得到呢?	3
1.2.1 什么? 还可以逃?	3
1.2.2 蒙混过关的策略	5
1.2.3 不要将大雾实验“妖魔化”	6
1.2.4 到底要不要编数据?	6
1.2.5 物理实验预约选课系统介绍	7
1.2.6 L ^A T _E X 介绍	8
1.2.7 数据处理工具	13
1.2.8 绘图工具	16
1.2.9 报告格式	18
第 2 章 不确定度概述	21
2.1 不确定度的计算	21
2.1.1 公式总结	21
2.1.2 最小二乘法	21
2.1.3 示例	22
2.2 关于物理实验教学中心算法的若干讨论	22
2.2.1 “仪器允差”和“估计误差”应该“合成”吗?	22
2.2.2 不确定度应该先“扩展”再“合成”吗?	23
第 3 章 各实验介绍	25
3.1 一级实验	25
3.1.1 重力加速度的测量	25
3.1.2 质量和密度的测量	26
3.1.3 钢丝杨氏模量	26
3.1.4 显微镜的使用	26

3.1.5	衍射实验	27
3.1.6	磁力摆	28
3.1.7	数字体温计	28
3.1.8	切变模量	28
3.1.9	固体比热	30
3.1.10	匀加速运动	31
3.1.11	声速测量	31
3.1.12	半导体温度计	31
3.1.13	示波器的使用	31
3.1.14	粘滞系数	33
3.1.15	表面张力	33
3.1.16	光电效应	33
3.1.17	密立根油滴	34
3.1.18	硅光电池	34
3.1.19	RGB 配色	34
3.1.20	分光计	34
3.1.21	干涉法测微小量	35
3.1.22	透镜参数测量	35
3.1.23	直流电源特性	36
3.1.24	整流滤波	36
3.1.25	生活中的物理实验	37
3.1.26	IYPT 系列实验	37
3.2	二级实验	39
3.2.1	对切透镜的光学实验	39
3.2.2	测量金属丝的杨氏模量和泊松比	39
3.2.3	接触角仪	39
3.2.4	医学物理实验	40
3.2.5	超声系列实验	40
3.2.6	空气阻尼测定实验	40
3.2.7	数字表改装	40
3.2.8	双臂电桥	40
3.2.9	双光栅实验	41
3.2.10	光纤传导器	41
3.2.11	凯特摆	41
3.2.12	介电常数	42
3.2.13	传感器	42
3.2.14	F-H 实验	42
3.2.15	刚体转动惯量	42
3.2.16	导热系数	42
3.2.17	非平衡电桥	43
3.2.18	交流谐振电路	43
3.2.19	摄谱	43

3.2.20	电子小制作	43
3.2.21	霍尔效应	43
3.2.22	磁阻效应	44
3.2.23	迈氏干涉仪	44
3.2.24	偏振光	45
3.2.25	单色仪定标和光谱测量	45
3.2.26	IYPT 科技创新实验	46
3.3	三级实验	46
3.3.1	直流辉光等离子实验	46
3.3.2	低真空获得与测量	46
3.3.3	傅立叶光学	47
3.3.4	椭偏仪	47
3.3.5	液晶电光效应	47
3.3.6	表面等离激元共振	48
3.3.7	全息光栅	48
3.3.8	三维全息	48
3.3.9	单色仪定标与光谱测量	48
3.3.10	激光散斑测量	48
3.3.11	核磁共振	49
3.3.12	铁磁共振	49
3.3.13	β 吸收	49
3.3.14	γ 射线能谱	50
3.3.15	卢瑟福散射	50
3.3.16	塞曼效应	50
3.3.17	氦氖光谱	50
3.3.18	氦氖激光器原理与技术	50
3.3.19	太阳能电池特性实验	51
3.3.20	空气热机测试实验	51
3.3.21	微波光学实验	51
3.3.22	风力发电实验	51
3.3.23	关于期末考试	51
跋		53
参考文献		55

大雾是甚么？

中国科学技术大学物理实验教学中心是国家级实验教学示范中心，其开设的大学物理实验课程磨炼了一代又一代科大学生。为什么大雾实验相关话题在新世纪经久不衰？我们又该如何应对大雾的挑战？在本手册的开始，我们将初步回答这些问题。

1.1 大雾为什么是神

下面笔者将概述大雾实验课程存在的问题。

1.1.1 懂不懂全校通修课的含金量啊？

表 1.1: 大物实验全校必修情况

学院	专业	基础实验	综合实验	现代技术实验	研究性实验
物理学院	物理学 光电信息科学与工程 量子信息科学 天文学	A	A	√	
	应用物理学	A	A	√	√
核科学技术学院	核工程与核技术	A	A		
	工程物理 应用物理学	A	A	√	√
数学科学学院 化学与材料科学学院 环境科学与工程系 地球与空间科学学院 工程科学学院 信息与智能学部 生命科学与医学部		B	B		
人文与社会科学学院 管理学院		B			
少年班学院		A	同上，标红不要求必修		

在科大，几乎所有非物理专业的同学都必须做两学期的大雾实验，各专业的具体要求如表 1.1 所示。化、生等专业的同学或许有了解大雾相关知识的必要，但他们已经有本专业的实验需要完成，还要再做大雾实验，造成额外负担，影响其他课程的学习。更不用说信、计等专业甚至

管理学院的同学，大雾实验对他们来说完全是浪费时间。哪怕对于物理学院的同学，大雾实验的收获也是微乎其微。在大雾实验耗时巨大而收获甚微的情况下，糊弄过去也是一种选择，但这样就难免拿低分，对综合成绩造成影响。

1.1.2 实验教学

首先不得不提大家最关心的给分。实验课程评分方式比较特殊，主要是根据同学们的实验操作和实验报告评分，比较主观。实验课不会严格限制优秀率，但也不能给过多 85 以上的分数。得到 90 以上的分数通常比较困难，而 95 以上的分数需要老师或助教提出申请，通常需要苛刻的条件，例如完成拓展的实验设计。一学期的实验全部结束后，计算各实验的加权平均分，调整后给出总评。关于实验评分，并没有统一的标准，老师或助教会按自己的标准给分。如果恰好撞到老师或助教的雷点，得分就会比较低。一般来说每个实验室负责至少两个实验，如果两次遇到倾向于给低分的老师或助教，加权平均分就会大受打击，笔者就有过这样的经历。某些老师有时甚至会在操作和报告都没有大问题的情况下给 80 以下的分数。高分高不到哪去，低分却可以很低，得一次低分可能就意味着许多次实验的努力白费了。现在也有一些助教会给尽可能高的分数，但是这样对于低分的同学显然也是不公平的。想要彻底解决实验给分的各种问题，恐怕只有把实验课改为二等级制，但这样一来恐怕再也不会有人愿意认真对待大雾，一教就要倒闭了（笑）。

实验助教的培训要求并不严格，自己准备好后给老师进行一个汇报，就能获得助教资格。所以不止是给分，不同助教的实验讲解区别也很大，有些助教讲解很细致，有些助教的讲解就含糊不清。

大雾预约网站 <http://pems.ustc.edu.cn> 上会发布实验讲义。这些讲义内容质量参差不齐，有效信息密度很低，有时讲义与实验内容脱节，所以看讲义预习效率极低，时常做大量无用功。入门测理论上是根据实验讲义的内容编写的题目，但事实上，很多入门测中的题目超出了讲义的范围，有时甚至会出现答案与讲义不符的情况。

实验课上，老师或助教会讲解实验的背景与原理。对于物理专业的同学，这些知识要么已经在理论课程中学过，要么不难通过实验讲义和其他资料了解；而没有相关基础的同学往往难以理解这些内容，他们只想知道实验应该怎么做。这部分内容讲解每次都需要几十分钟时间，而同学们最需要的部分——实验要求和操作方法，介绍的时间相对较少，而这些部分常常不会在实验讲义中说清楚，有时讲义中的介绍甚至与实际不符。这就导致同学们在有些实验中无从下手。

在实验过程中，同学们也会遇到各种各样的问题。若实验中遇到困难，或实验仪器疑似有问题，可以向老师或助教求助，但这样可能损失操作分，导致同学不敢提问，甚至有老师因同学的问题涉及给分点而不愿回答。可是教学本就应该答疑解惑，囿于评分而影响教学，这样难道不是违背了课程设立的初衷吗？实验讲义叙述模糊不清、对老师的讲解理解错误或遇到老旧的实验仪器，都可能导致实验结果不符合预期。此时为了完成实验要求，就不得不编数据。所以常有人说“做大雾实验最大的收获是学会了编数据”，这显然也与课程的目标背道而驰。编造数据固然不应提倡，但我们无疑需要反思大雾教学中出现的问题。

1.1.3 关于不确定度

南七的不确定度的格局，是与别处不同的。一教要求的不确定度分析几乎是全国高校中最复杂的。然而，如此复杂的体系仅用四小时的绪论课匆匆过了一遍。很多公式只是一带而过，有些量甚至连名称也没有给出，所以靠绪论课基本搞不明白不确定度怎么算，反而会越听越糊涂。

网络上能查到的资料也很少能解释清楚，而且不同高校的不确定度算法区别很大，网络资源常常互相矛盾。事实上，一教的旧算法存在严重的错误，与国家标准并不符合，笔者也很想知道这样的算法究竟从何而来，又是怎样使用了数十年。不过 2024 年起，一教改用国标了，这或许也算是一个积极的改变吧。

1.1.4 为什么要做大雾？

大雾实验课程饱受诟病，可开这门课到底是为了什么？我们或许不知道自己将来会投身于什么领域，但我们无疑不会研究大雾中的一个实验。那做这些实验难道只是浪费时间吗？不应如此。我们本应从实验课程中得到科学的思想方法、严谨细致的态度和研究与创新的能力，可事实是我们有目共睹的。固然有人愿意完成额外任务，但在每个实验时间短而任务多、实验内容一成不变而存在标准答案、各实验间几乎没有联系的情况下，实验课对大部分人来说变成了抄答案和东拼西凑，实际会去做拓展内容的人也只是少数，创新自然无从谈起。

其实，大雾教学连一些很简单的目标都不能达到。例如第一个实验“单摆法测重力加速度”，可以看出很多问题。很多同学根本不会掐秒表，夸张一点的时间极差能达到 1 s；或是用钢卷尺时出现问题，长度极差达到 1 cm；也有同学少数一个周期或半个周期（小学生常做的经典爬楼问题）。很多操作问题说起来简单，但只有实际上手做了，才知道自己会不会犯错。然而这样的问题往往得不到纠正，草草做完实验了事，1 s 的极差也没有人管。当然，这也与助教的情况有关系，一个好的助教看到 1 s 的极差，肯定会指出问题要求重做的。除了操作问题，还有一些理论问题。大家往往不会思考实验为什么要这样做，好处在哪里，其他方法为什么不行。这就是老师没有做好引导。

1.1.5 总结与展望

大雾实验固然存在很多问题，但也在不断改进。笔者曾与一些实验课老师交流过，看得出来他们真心想把实验课上好。现在手写报告的要求已经取消，实验仪器故障频率并不像传说中那么高，实验给分也有了明显的改善。事实上，科大的实验课中，大雾几乎算是风评最好的了。如果大雾能再减少一些死板又无趣的实验要求，多设计一些有趣的实验，引导大家在实验中探究，或许就离培养创新能力的初衷更近了一些。让我们拭目以待吧。

1.2 那么……在哪里才能买得到呢？

本节介绍应对大雾的方法。

1.2.1 什么？还可以逃？

天无绝人之路，如果您实在不想学习大雾，这里有一教提供的两种免修方法。

1. 参加始于每年 9 月的 CUPT 比赛

CUPT 即中国大学生物理学术竞赛，对大一大二学生开放，参加者需要组队于主办方给定的创新/研究型选题（创新型选题即将取消）中选取数道，每个队伍每场需作为正方阐述自己的研究并对反方的质询做出回应，作为反方需对正方的阐述提出质询，以及作为评论方评价正反方的对峙过程。

我能得到什么?

1. 4.3/3.7 的免修绩点. 这可能是 CUPT 最吸引人的地方, 省一可以获取当学期大雾免修 4.3 (即无需做任何实验也能得到 4.3 的大雾绩点); 华东赛与国赛一等奖/特等奖整个队伍 (包括领队与场外人员) 可以获得当学期的免修 4.3; 国赛二等奖整个队伍可以获得当学期免修 3.7 (不可叠加, 所以最多免修两学期);
2. 巨大的物院评奖收益. CUPT 比赛曾作为转入严班的必要要求之一, 且在当年评奖时您可能可以拥有校赛省赛华东赛三层奖项, 对国奖评判会有巨大作用. 笔者参与 CUPT 的队伍里出现了两位当年同级物院国奖 (一共三位);
3. 部分科研与学术能力. CUPT 的题目不少是过去的科研问题, 对问题的探索本身可以让您在大学早日接触科研的雏形, 虽然不如进组, 但是结合其他收益性价比并不低, 您可能在这里稍微掌握 $\text{\LaTeX}$, Mathematica, MATLAB, COMSOL, Python, 查/读论文的技能, 以及自己探索未知的能力;
4. 良好的友谊. 由于 CUPT 需要团队合作且持续时间相当长 (到国赛可能为一年), 且很大程度上考察大家的配合, 您可能会收获过硬的友谊与交流的伙伴;
5. 些许的奖金. 各阶段的各种奖项都有不同的奖金, 当年金额可以咨询相关老师 (如带队老师);
6. 各类物理课程高绩. 即便没能成功免修大雾, 也能凭借 CUPT 的成果覆盖大物实验中的 IYPT, 拿到大雾课程高绩 (笔者即通过 IYPT 拿到满绩); 另外 CUPT 课题也是普物课程小论文的不错选题, 也可用于直接 cover 普物小论文拿到课程高绩, 每年的电磁学、光学小论文的一等奖都有同学直接使用 CUPT 成果.

我会付出什么?

1. 非常多的时间. CUPT 是一个非常花费时间精力的项目, 您可能需要花数周才能初步完成题目最低要求, 对其打磨更是困难, 临近比赛时还可能会出现连轴转的情况. 如果您早有安排 (如 30+ 学分的课程, 进组/大研), 笔者不推荐您打到省赛之后, 如果您非常想去, 可以考虑作为领队/场外, 但也仅仅是付出相对较少的时间;
2. 不小的压力. 首先是准备上, 困难的课题可能会带来不小的压力. 而比赛本身, 由于对手水平良莠不齐, 如果遇上泼脏水/嘴硬的对手, 裁判有可能会被误导从而给出低分. 要做好这种情况发生的准备与避免其发生的对策.

我该怎么做?

每年九月会组织相关的 CUPT 宣讲会, 通过加宣讲群可以获得报名的更详细的资料, 是一切的起点. 不同阶级比赛的规则不同, 这里不详细介绍, 不过题目上一般固定, 对每个参赛队伍而言, 题目数量要求为: 校赛选 5 道, 省赛选 6 道, 华东赛可放弃 5 道, 国赛可放弃 3 道). 而每个队伍于校赛与省赛有 5 人, 华东赛与国赛会多出 2 名领队, 实际上还会有场外人员参与, 这些人员都可能获得最终的红利.

校特/一等奖难度较为简单, 大约是前 60%, 获得后可以参加省赛 (实际上由于参加者较少, 说明意愿一般都可以去). 安徽省水平总体不高, 不过还是不能掉以轻心, 尤其是合工大, 对方对此的重视程度甚高, 可能做的并不差. 省赛后可以报名参加华东赛, 是自由报名, 此时您可能已经获得了当学期免修机会, 参与前还望仔细思考是否真的需要走下去. 华东赛会根据您之

前作为正方反方评方的得分以及题目完成度进行筛选, 笔者推荐主动申请场外/领队, 事情较少但也有荣誉. 国赛和华东赛人员配置基本相同, 可能会有微调.

由于笔者参与的时代较为特殊, 之前线上比赛的一些方法可能已不适用, 遂不再介绍.

2. 参加全国大学生物理实验竞赛 (创新赛)

此比赛可以叠加 CUPT 竞赛, 获得一等奖可以让您再次获得大雾免修, 但是实验性价比非常低, 过程相当麻烦, 给分也并不好 (一等奖相当困难), 推荐程度远远低于 CUPT. 此竞赛与 CUPT 的探究性竞赛性质不同, 本质是要求参赛者设计一较为高级的大学物理实验课程实验项目, 包括仪器制造与流程设计, 甚至要录制教学视频, 坐牢程度相比 CUPT 大大提升.

这下不得不做了

随着出国申请卷度日益提高, 大二进行校外交流的人数也在逐渐提升, 尽管全校培养方案在 2020 和 2021 年连续进行了两次修订优化, 但物理学院-应用物理学专业和核科学技术学院/少年班学院-工程物理专业依然保留了四级大物实验 (研究性实验) 的必修. 这对大二暑期交流造成了相当的不便, 除了避开这两个专业以外, 根据一教的政策, 只能参加此竞赛获得免修, 有相关需求的同学请早做打算.

正赛在每年 11 月举办, 但校赛 (校内选拔) 却在 6 月底进行, 这要求你在春季学期和暑假都要耗费大量精力. 如果只参加校赛, 只能获得免修占比 30% 的面上实验的优惠, 而且只有队伍被选拔进入正赛才能获得面上实验优秀 (85+) 的成绩. 总之除非迫不得已, 不推荐此路径. 笔者最终选择的解决方案是转专业, 比赛详情请咨询一教.

1.2.2 蒙混过关的策略

如果你觉得免修太麻烦, 想把大雾混过去, 这里有一些策略可以帮助你尽量平稳度过.

做实验之前, 一定要提前了解这个实验的情况. 一教的仪器状态不确定度比较大, 如果你提前得知要做的实验容易测得鬼畜数据, 建议做好编数据的准备. 不要临场乱编, 容易造成不确定度爆炸, 或测量结果误差显著大于不确定度等情况. 不同老师的要求可能不一样, 如果没有信心记住老师说的实验要求, 可以考虑录音. **实验结束后一定要将仪器归位!**



图 1.1: 警钟长鸣

请注意, 即使以混过去的心态对待大雾, 也要知道该完成什么东西, 不要连实验要求都搞不清楚. 做完实验才发现必要的数据没记, 还需要在群里问, 那也别怪大雾屑了 (图 1.1).

每次写实验报告都要处理数据，这确实显得很麻烦。有能力的同学可以尝试用 Python 等语言编写处理数据的小工具。但是，我们不建议大家直接使用网络上公开的自动生成工具来完成报告。此类工具生成的结果样式单一，如果老师或助教注意到许多人的报告长得都差不多，就可能被判为抄袭。网络上的工具也可能生成错误的结果。哪怕只有那么一两处错误，都很有可能引起老师的注意，因为你和其他人错得完全一样。更不用说有时会出现非常离谱的结果，例如算出**负的重力加速度**。据说在 2023 年春季学期，同一时间出现了很多结果很离谱的报告，使老师和助教大为光火。当然，先不说借助别人的工具，生成结果后自己都不检查一下，这些同学对大雾也过于敷衍了。

我们也不建议写思考题时过于依赖人工智能，其实这很容易被识破。

如果希望早日从大雾中解脱，也有速通的方法，即一周做多个实验。笔者就曾在 2023 年春季学期四周速通三级大雾（不含考试）。当然，这意味着你需要充足的时间和精力，建议谨慎考虑，不要把自己的日程搅得乱七八糟。详情请看 1.2.5。

我们注意到，许多同学看了痛斥大雾实验的评论后，视大雾实验为洪水猛兽，抽到评价不好的实验就提心吊胆，发现数据有一点点不符合自己的预期就想着编，这也是没有必要的。接下来的两小节讲讲如何正确对待大雾实验。

1.2.3 不要将大雾实验“妖魔化”

由于大雾实验长期以来广受差评，许多同学认为大雾实验非常可怕，抽到评价不好的实验就提心吊胆，发现数据有一点点不符合自己的预期就想着编。大雾实验不会吃人，完全没有必要过于担心。遇到评价差的实验，尽力去做就好了，编数据的问题下文将会提及。至于网络上提到的其他种种问题，其实大部分已有所改善。如果态度不太敷衍，最终分数也不会过低，不像某些理论课没有下限。而且实验课学分本来也不多，大可不必过于在意那一点分。

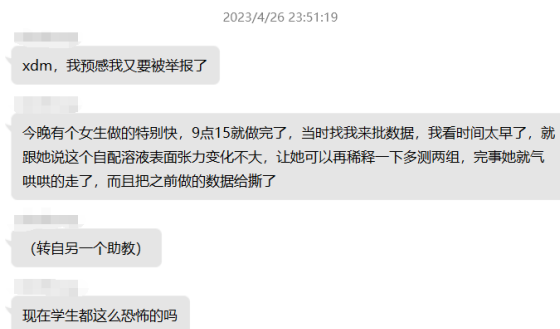


图 1.2: 某群聊天记录

我们也注意到，有些同学对大雾有过激反应。例如，图 1.2 中提到的同学显然认为助教是在刁难自己。这里要指出，尽管大雾实验和本科培养方案中的部分属于陈旧体制化的内容，但与同龄人的沟通大部分时候是有效的，不要对这种事情过于敏感，视大雾的一切如洪水猛兽，更不要把气撒在助教身上。

1.2.4 到底要不要编数据？

大雾实验中编造实验数据的情况在每一届学生，每一个实验中都屡见不鲜，这种“不符合科研精神”的行为存在巨大的争议。大雾实验的老师会反复强调一旦发现实验数据编造的行为，

本学期的大雾课程将会直接获得不及格成绩，但很多同学依然将编造数据作为完成实验的必要步骤。一些新同学在刚刚接触大雾实验时也会有“到底要不要编数据”的疑问。

大多数同学编数据的原因有两个。第一是大雾实验中的仪器可能较为老旧，或者同学们的实验操作并不那么尽善尽美，导致实验中测得的数据并不理想，甚至误差极大，但是大雾实验的课程形式决定了同学们不能像正常的科研一样可以无限制地重做实验。因此，倘若同学们不编数据，便只能直接使用真实但误差极大的原始数据撰写实验报告，成绩可能不理想。在笔者上一级大雾实验的绪论课时，老师曾经说过如果同学们测得的数据误差超过预期，可以在实验报告上直接使用原始数据并且尝试分析误差产生的原因，并且承诺这种实验报告不会获得低分。但是经过很多同学的尝试，可以发现，采用较大误差数据并进行误差分析的实验报告的分数往往低于采用正常数据的实验报告。这导致同学们测量的数据误差显著偏大时，若要保证自己的分数，只能采取编数据的方法。第二，即使实验所得的数据误差不大，对数据做一些手动的修正可以让自己的实验结果更加“精确”，更加符合“预期”，这样自己的实验报告也更加漂亮。综上，如果说大雾实验课程是一种形式主义，那么同学们编数据完成实验便是一种用形式主义对抗形式主义的无奈之举了。

那么到底要不要编数据呢？笔者的观点是：倘若在了解实验原理和实验操作的基础上，始终得不到误差在正常范围内的数据，在不被老师和助教发现的前提下，可以编。但是一定要记住，编数据只是应对大雾实验的不合理课程设置与畸形评分机制的无奈之举，绝不是做实验或者科研的正确方法。千万不要一拿到一个实验就想着编数据，更不能为了逃避实验操作而编数据。这种行为在短期内不会有什么危害，但是你会失去很多学习实验思想方法和上手操作的机会，更会形成懒惰和逃避心理，这在以后的科研生活中是致命的。

最后提醒，不要看到数据有一点点不符合自己预期就想着编。一定范围的误差是可以接受的，更不用说有些实验误差本来就很大。还有的时候用同一实验室的不同器材测出的数据本来就不相同，这时就更没有必要担心自己的数据和别人有差异了。笔者曾看到有同学在QQ群中提问，认为自己最小偏向角测得不对，想知道如何“补救”。事实上，实验室提供了两种不同折射率的三棱镜，最小偏向角本来就是不同的。而且那位同学多次测量的结果都相差不大，结果理应是没有任何问题的，可以看出他过于不自信了。

1.2.5 物理实验预约选课系统介绍

目前大物实验所有与课程有关的操作均可以在该网站上完成，其网址为 <https://pems.ustc.edu.cn>。登录个人账号之后，在“主页”可以看到个人目前所有的大物实验课程。

在每个学期大约第二周，大物实验教学中心会发布选课通知。由于学校的土豆服务器无法承受过多的访问量，不同课堂的选课时间不同，务必注意自己所在课堂对应的选课时间。

实验预约

在选课开始时，需要在“主页”——“我的课程”中选择对应的实验课程，进入后可以看到课程的详细信息，右上角点击“前往预约”即可进入选课界面，根据自己的安排选择合适的实验项目和实验时间即可。注意，此时只能选择自己所在课堂所在时间的实验项目。选好合适的项目后，点击“预约”按钮即可。

在选课开始一段时间后，会开放课堂限制，此时可以自由选择所有有空余的课堂实验项目（例如周一下午的课堂可以选择周一晚上的时间），这是速通大物的不二之选。**注意，不是每个学期都会开放课堂限制，请仔细看通知。**

实验提交

在预约好实验项目后，需要进行预约提交。点击“我的”——“我的预约”，此时可以看到实验课程的名称下面有两部分——“预约成功”和“待提交”。点击“待提交”，可以看到自己目前所有已预约但是未提交的项目，如果此时想更换实验，直接点击“取消预约”；如果不需要更换，直接点击右下角的“一键提交”，此后无法再变更实验项目，但是可以通过“请假”来更改实验时间。当按照课程要求选够实验并且提交后，在“我的预约”中对应课程的右下角可以看到“已完成选课”。

查看项目

在提交完实验项目后，在“我的”——“我的预约”——“预约成功”里可以看到所有被选择的实验项目。此处的功能主要有查看上课时间、上课教室（上课前一天也会发短信通知），以及下载实验讲义、完成预习测和出门测、实验请假。

查看成绩

在每一个实验结束后，会获得该项目的成绩，并且该项目会被标记为“已参加”。成绩可以在“预约成功”中查看，点击实验成绩可以看到各部分的分数。

一般情况下，实验成绩会在二至三周内被老师登入系统，也不排除有老师会在期末统一登入系统，也有老师会先提交预习测、出门测和操作分，过几天再提交实验报告分。以上均属于正常现象，无需担心。

如果遇到节假日，当天的实验项目会显示“放假”，并且不计入期末成绩，但如果有调休就需要补做。

实验请假

如果有实验时间冲突，或者因病无法参加实验，或者实验项目显示“缺勤”，可以选择请假并更换实验时间。在“预约成功”中，项目右下角选择“请假”，按要求填写内容即可。提交后，对应实验项目右上角会显示“请假”。此外，“请假”的选项会在实验开始前 24 小时消失，即无法请假。若此时要请假，则需联系实验老师，说明理由。实验被记“缺勤”后也可更换时间。

1.2.6 L^AT_EX 介绍

大雾手写报告的要求也常常被往届学长吐槽，不少学长说，写完一学期的大雾报告，本就不好看的字雪上加霜。幸运的是，20 级开始不再强制要求手写报告¹，同学们可以使用 Word、Markdown 或 L^AT_EX 等工具完成电子版报告。用 Word 写报告比较方便，相比 L^AT_EX 在耗时、得分等方面也不会有什么劣势，不过借着做大雾的机会学一学 L^AT_EX 也是不错的选择。不知为何，尽管现在不强制手写报告，每年都有相当多的同学坚持手写。笔者不建议任何同学手写实验报告，费时费力还拿不到高分（甚至有因为不好看被倒扣的风险，见图 1.3），没有一点好处。

关于 Word

Microsoft Word 是使用最广泛的文字处理器。有些 L^AT_EX 用户对 Word 有轻视的态度，这是不对的。Word 也是优秀的软件，使用 Word 同样能排版出漂亮的文档，市面上也有很多 Word 排

¹ 不包括五、六级大雾

某不愿透露姓名的助教：
去22大雾群提醒他们一句，让他们
别手写了，尤其是字写的烂的

图 1.3: 某助教的温馨提示

版教程。最重要的是，Word 的使用门槛很低，所见即所得，且生成的文件便于修改。在 Word 中可以使用 UnicodeMath 插入公式。相信对于已经在科大完成一个学期学习的同学，Word 的使用不是问题，在此不再赘述。

LaTeX 的安装与使用

下面重点介绍一下 LaTeX。LaTeX 是一种免费、开源的排版系统。现在主流的两个 TeX 发行版为 TeX Live 和 MiKTeX。TeX Live 是由国际 TeX 用户组织 TUG 开发的 TeX 系统，支持不同的操作系统平台。安装 TeX Live 时，CTAN 仓库中的数千个宏包、文档类等会被一并安装，所以需要较大的磁盘空间。相比之下，MiKTeX 的标准版安装程序“只安装基本的东西”，如果需要更多宏包，可以用宏包管理器自行安装。如果用户不确定某宏包是否在发行版中，可在 CTAN 中搜索。

TeX Live 和 MiKTeX 都集成了一个简单的 LaTeX 源代码编辑器 TeXworks，(TeX Live 的 Mac 版本 MacTeX 则集成了类似的 TeXShop)。用户在安装完毕后，可直接使用 TeXworks (或 TeXShop) 编写和编译 LaTeX 源代码。TeXworks 功能较为简单，笔者更推荐功能丰富的 TeXstudio。

Index of /CTAN/systems/texlive/Images/

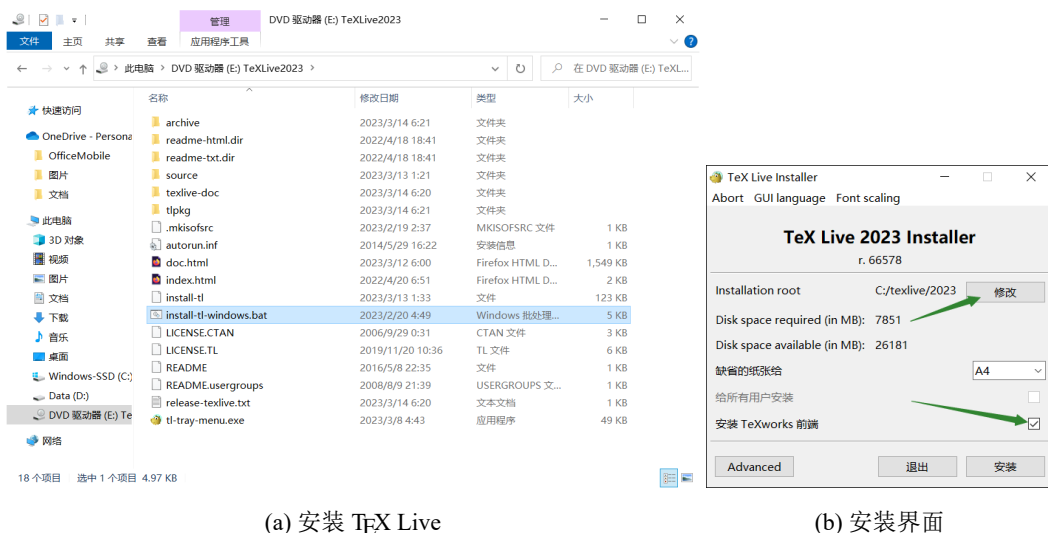
../		
README.md	20-Mar-2023 05:21	1179
texlive.iso	14-Mar-2023 06:21	5123467264
texlive2023-20230313.iso	14-Mar-2023 06:21	5123467264
texlive2023-20230313.iso.md5	14-Mar-2023 06:22	59
texlive2023-20230313.iso.sha512	14-Mar-2023 06:23	155
texlive2023-20230313.iso.sha512.asc	14-Mar-2023 06:23	455
texlive2023.iso	14-Mar-2023 06:21	5123467264
texlive2023.iso.md5	14-Mar-2023 06:23	50
texlive2023.iso.sha512	14-Mar-2023 06:23	146
texlive2023.iso.sha512.asc	14-Mar-2023 06:23	455

图 1.4: 下载 TeX Live 光盘镜像

TeX Live 的安装教程可以在 <https://www.ctan.org/pkg/install-latex-guide-zh-cn> 获取，不过这个教程中的命令行操作可能不太友好。下面简单介绍一下友好的安装方法。

就近选择科大开源软件镜像站，访问 <https://mirrors.ustc.edu.cn/CTAN/systems/texlive/Images/>，点击 `texlive2023.iso` 进行下载。实测在校园网环境下下载只需一分钟左右。下载完成后打开此 iso 文件，会得到一个新的硬盘区，找到 `install-tl-windows.bat`，双击运行。如需为所有用户安装，则应以管理员身份运行。

运行后会得到图 1.5b 所示的画面，可以更改安装选项。首先可以取消选中安装 TeXworks 前端；另外可以自定义安装位置，根据需要修改安装路径。设置完成后点击“安装”，耐心等待安装结束即可。



(a) 安装 TeX Live

(b) 安装界面

图 1.5: TeX Live 的安装

常用的 L^AT_EX 在线平台有 Overleaf 和 T_EXpage, 它们的优点在于可以实时协作、记录编辑历史, 不需要本地编译, 比较方便. 本手册正是利用 Overleaf 编写的. 目前, 科大也推出了基于 Overleaf 的开源版本二次开发的在线多人合作 L^AT_EX 编辑平台——USTC L^AT_EX, 网址为 <https://latex.ustc.edu.cn/>. 目前平台处于试运行阶段, 不提供服务质量保证, 因此存在数据丢失风险, 请注意备份重要资料.

下面介绍一些对 L^AT_EX 用户很有用的网站. Comprehensive T_EX Archive Network, 即 CTAN, 是 T_EX 相关材料的主要储存库. CTAN 仓库中包含了上千个宏包、文档类及其说明文档, 且在持续更新. T_EX - L^AT_EX Stack Exchange 是一个活跃的论坛, 许多问题可以在这里找到答案, 如果找不到想要的答案, 也可以发布新问题. 过去活跃的中文社区 C_T_EX 论坛现已无限期关闭, 若需要中文参考资料, 可在 L^AT_EX 工作室等网站寻找.

正确安装 T_EX Live 或 MiK_T_EX 后, 用户可以从本地调出宏包或文档类手册以查阅相应内容.²在 cmd 执行

```
texdoc <pkg-name>
```

例如, 输入以下命令

```
texdoc lshort-zh-cn
```

敲一下回车, 就可以调出《一份 (不太) 简短的 L^AT_EX 2_ε 介绍》. 这是一份真正意义上的 L^AT_EX 入门文档, 初学者应当好好读一下. 对于一些真的猛士, 只要去掉后面的 -zh-cn, 即可畅读英文版. 而输入

```
texdoc ctex
```

则可以调出《C_T_EX 宏集手册》, 它可以解决有关中文排版风格的一些不那么入门的问题. 如果你想知道本手册的章节标题样式是如何得到的, 可以从这里找到答案. 如果输入

```
texdoc tabulararray
```

² 很多人自己瞎折腾几个月都不知道有这种操作, 浪费了很多时间.

即可调出 `tabularray` 宏包的说明文档. `tabularray` 是基于 $\text{\LaTeX}$ 3 设计的新一代表格排版宏包, 可以大大减小表格排版的工作量.

若出现输入命令后无响应的情况, 请考虑重装 $\text{\TeX}$ 发行版.

有时, `texdoc` 并不能帮我们找出所有需要的资料, 我们可以进入说明文档所在目录寻找其他文档和可能存在的示例、模板、源代码等.

关于 $\text{\LaTeX}$ 学习, 笔者推荐以下参考书:

1. 《 $\text{\LaTeX}$ 入门》, 刘海洋, 电子工业出版社. 此书可以说是经典中的经典了. 此书出版于 2013 年, 已经有些过时了, 但依然是相当好的参考书. 书名中有“入门”, 但内容很丰富、全面, 能满足一般用户的大部分需求. 另外, 刘海洋老师的视频讲座也值得一看.
2. 《简单高效 $\text{\LaTeX}$ 》, 吴康隆, 人民邮电出版社. 与《 $\text{\LaTeX}$ 入门》相比, 此书块头很小, 可以说是短小精悍. 此书原是 GitHub 上的开源项目, 可在 <https://github.com/wklchris/Note-by-LaTeX> 查看.
3. 《雷太赫排版系统简介》, 黄新刚. 这是 GitHub 上的开源项目, 可在 <https://github.com/huangxg/lnotes> 获取. 相比其他教程, 此书语言生动活泼, 读来颇有趣味.
4. 《 $\text{\LaTeX}$ 2_ε 插图指南》, Keith Reckdahl 著, 王磊、盛文博译. 这是一份详尽的 $\text{\LaTeX}$ 插图参考文档, 可在 <https://github.com/WenboSheng/epslatex-cn> 获取.

当然, 还包括此前已经提到的 `texdoc lshort-zh-cn`. 除此之外, 还有许多优秀的参考书, 这里就不一一介绍了.

除了阅读 $\text{\LaTeX}$ 教程之外, 还可以面向源码学习. 许多用 $\text{\LaTeX}$ 排版的数学课本开放源码, 可以看看它们究竟是怎么排出来的. 当然, 也要多读宏包和文档类的说明文档. 另外, 这些文档大多开放源码, 甚至可以学习它们的排版方式. 看到陌生的宏包时, 不要忘了 `texdoc`.

使用 Visual Studio Code 编写 $\text{\LaTeX}$ 文档的配置

$\text{\LaTeX}$ 是一种语言, 因此选择好的编辑器是重要的. Visual Studio Code (以下简称 VS Code) 是一款免费开源的现代化轻量级代码编辑器, 有非常多个性化的功能强大的插件可供使用, 相信计科的同学对其并不陌生. VS Code 也可用于编写 $\text{\LaTeX}$ 文档. 使用 VS Code 编写 $\text{\LaTeX}$ 的最大的困难在于环境配置繁琐, 以下介绍 Windows 系统中 VS Code 的环境配置.³

1. Sumatra 的下载与安装

由于 $\text{\LaTeX}$ 的编译结果是 PDF 格式, 要想在 VS Code 中实时看到编译之后的结果, 就需要安装 PDF 阅读器. 这里的推荐更多是个人偏好问题, VS Code 内置的 PDF 预览器也能实现双向查找, 无需配置. 但是你或许需要外置阅读器, 这里以 SumatraPDF 为例, 示范一下配置方法. SumatraPDF 安装包下载网址为 <https://www.sumatrapdfreader.org/download-free-pdf-viewer>.

2. VS Code 的配置

VS Code 的下载安装非常简单, 故不专门介绍. 下面介绍如何配置.

首先, 需要在扩展中下载中文环境包. 第一步, 点击打开拓展; 第二步, 搜索关键词 Chinese; 第三步, 下载安装简体中文插件. 其次, 需要在扩展中下载 $\text{\LaTeX}$ 的支持插件 LaTeX Workshop.

³ 感谢 21 级少院刘奕昕同学的测试.



图 1.6: 安装简体中文插件

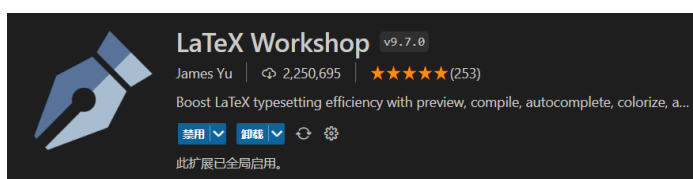


图 1.7: 安装 LaTeX Workshop 插件

步骤与安装筒中插件类似。注意需要区别“LaTeX Workshop”插件与“LaTeX”插件，我们使用的是前者。

LaTeX Workshop 的设置方式可以从插件手册学习，为方便读不懂和懒得读手册的读者，这里也给出一个简单的教程⁴。首先在 VS Code 中按 F1 打开搜索栏，输入 `json`，点击“打开用户设置”。然后，从 http://home.ustc.edu.cn/~lr_ustc/vscode-latex.txt 下载代码（网页里的中文解码有误，不能直接复制，按 Ctrl+S 即可下载），复制到 `settings.json` 中。注意按提示修改你自己的 VS Code 和外置阅读器安装路径！

T_EX Live 正常安装的情况下，环境变量应该已经配置好，但也存在出现问题的可能，这会导致 VS Code 配置失败。如果你的 T_EX Live 是为所有用户安装的，可以打开电脑设置中的“编辑系统环境变量”，选择“环境变量”，点击下排的“Path 变量”，检查一下你的 T_EX Live 安装路

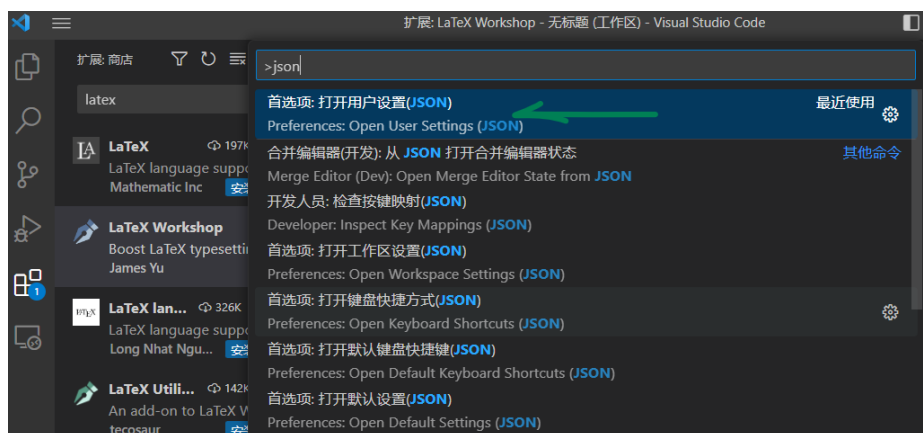


图 1.8: 搜索 json

⁴ 这个插件经常更新，这里给出的设置方法可能失效，如有问题欢迎反馈。

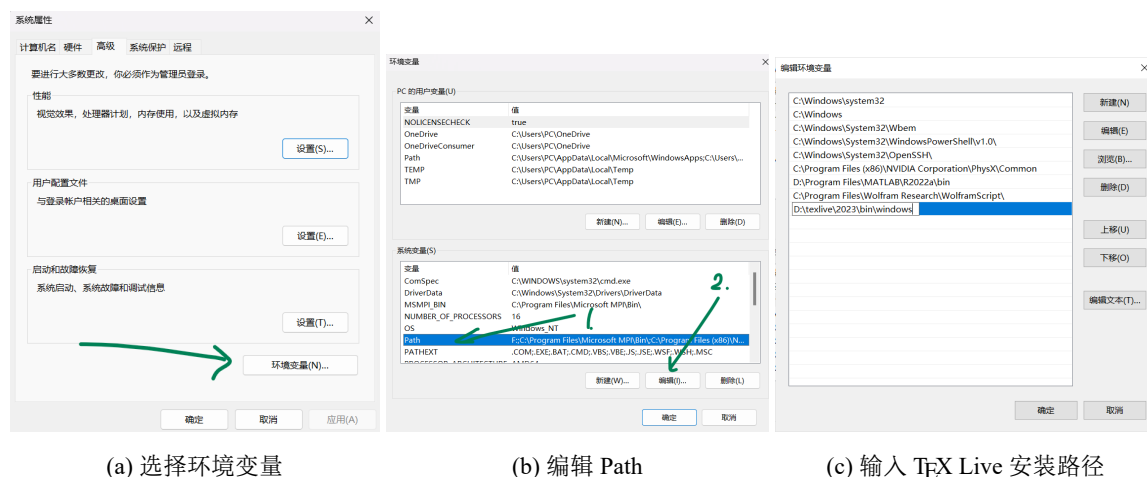


图 1.9: 编辑环境变量

径是否在其中. 如果没有找到, 点击“新建”并输入安装路径即可. 如果你的 TeX Live 不是为所有用户安装, 则应打开“编辑账户的环境变量”进行类似的操作.

环境变量问题是导致 VS Code 配置失败的原因之一, 也可能有其他问题导致 VS Code 无法正常使用. 如果你在配置过程中发现新的问题, 欢迎向我们反馈.

1.2.7 数据处理工具

OriginLab 的下载和使用

Origin 是一款数据分析和绘图的专业科研软件, 具备统计、峰值分析、曲线拟合等各项功能, 并绘制出类型丰富的二维或三维图表, 可以理解为 Excel 在数据分析和绘图方面的 Pro Max 版, 也是一教在大物实验绪论课上推荐的软件.

这款专业科研软件, 已经由学校购置给同学们免费使用, 在中国科大正版软件网站 <https://zbh.ustc.edu.cn> 上点击最新版下载安装. 下载过程中最重要的就是在许可验证这一步, 连接校园网并按网站上的说明激活即可.



图 1.10: 在中国科大正版化网站上下载 OriginPro 2023

进入 OriginPro 软件后, 在 Help 栏中找到 Change Language, 更换语言为简体中文.

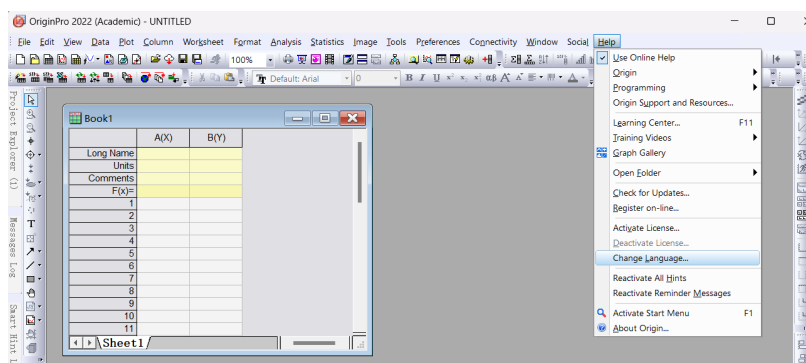
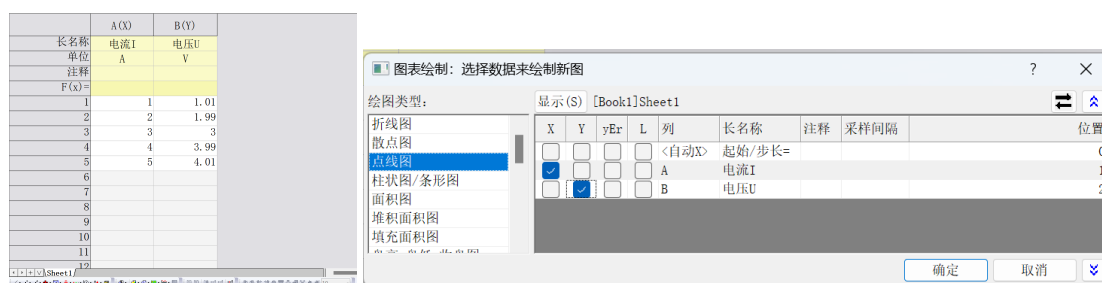


图 1.11: 将语言切换成简体中文

在大物实验中，我们常常使用 Origin 来进行最小二乘法拟合。下面简单介绍一下如何使用 Origin 的回归功能。



(a) 输入原始数据

(b) 将输入数据绘制在坐标系中

图 1.12: 用 Origin 绘制点线图或散点图

打开 Origin 软件后，你会看到如图 1.12a 所示的界面。Origin 会自动创建一个新的“Book1”以输入数据，此时只需要按照提示输入数据即可。

数据输入完成后，在下方的工具栏中选择“散点图”或者“点线图”功能（图标为三个散点或三个连接起来的点），此时会弹出如图 1.12b 的窗口，根据需求选择各物理量对应的坐标轴。图 1.12b 中，我们选取电流 I 为 X 轴，电压 U 为 Y 轴。此后点击“确定”。

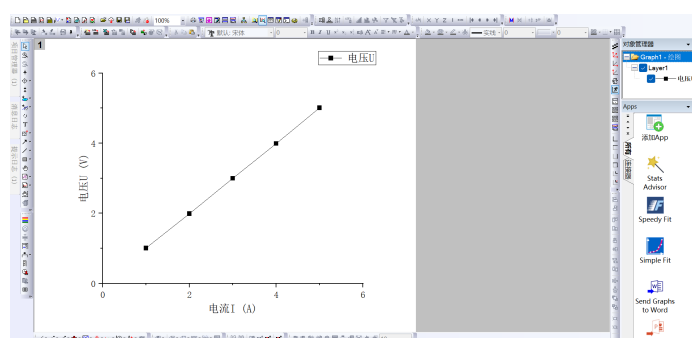


图 1.13: 作出图像

此时，Origin 会自动创建一个“Graph1”的文件，如图 1.13 所示（此处选择的是“点线图”，如果你选择了“散点图”，你会看到一些散点在图像上）。此时，点击界面右侧的“Apps”一栏中的“Simple Fit”，随后会弹出一个窗口，见图 1.14。



图 1.14: 线性回归界面

当你看到这个界面后，往往只需要直接点击“报告（report）”。如果你需要对斜率或者截距进行固定，勾选对应的“固定”，并在“值”一栏输入需要固定的数值后再点击“报告”即可。

当你点击“报告”后，会弹出一大堆数据，不要害怕，我们通常可以无视它们。点击左侧“项目管理器”，双击“Graph1”，回到图像的界面，如图 1.15 所示。此时你会看到一个表格覆盖在你的图像上，不必担心，我们可以直接用鼠标将其拖到一个合适的位置（示意图所摆放的位置只是为了方便截图）。在这个表格里，我们可以直接读出截距（Intercept）和斜率（Slope），以及皮尔逊相关系数（Pearson’s r）。如果你需要这个图像，可以在左上角菜单中的“文件”中选择“导出-导出图”，按照界面导出你所需要的格式即可。当然，你也可以直接截图。

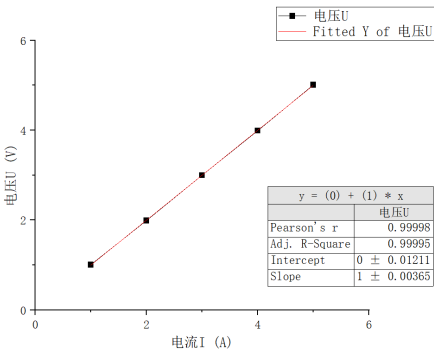


图 1.15: 输出回归结果

此外，如果你嫌 Origin 绘制图像的默认设置太丑或者线条太细，可以双击线条或者散点，然后会弹出一个“绘图细节”的窗口，就可以进行调节。值得一提的是，在“线条-连接”中选择“B-样条（B-spline Curve）”或者“样条曲线（Spline Curve）”⁵，可以“平滑地”将各散点连接起来。

利用 Python 处理数据和绘图

可以参考中国科学技术大学 Linux 用户协会的文章：<https://lug.ustc.edu.cn/planet/2021/01/physexp-using-python/>。

实用数学软件 Mathematica

Mathematica 是一款著名的数学软件，其功能偏向符号计算，又兼具数值计算和图形可视化等功能。值得一提的是，使用 Mathematica 可以完全独立地完成大雾报告，不需要依赖任何其他

⁵ 如果你对样条相关的内容感兴趣，可以阅读一些有关数值分析的书籍，本指南不展开介绍。

软件。用它创建记事本后，既可以计算和绘图，也可以输入文字，还能方便地导出 PDF 文件。

Mathematica 可以在中国科大正版化网站 <https://zbh.ustc.edu.cn/zbh.php> 下载。学校购买的正版激活方式为网络许可证登录，不一定满足全校同学的使用需求，可在 <https://tiebamma.github.io/InstallTutorial/> 查看破解教程。

篇幅所限，关于 Mathematica 的使用方法，这里不展开介绍。感兴趣的同学可以自行查看用户手册，或在网上查找视频教程。

1.2.8 绘图工具

诚然，在报告的写作中可以直接挪用实验讲义的插图（事实上也并不会因此扣分），但也有个别场合需要同学们自己绘制实验原理图。这里为大家介绍一些好用的绘图软件。

Mathcha

Mathcha（网站：<https://mathcha.io>）是一款免费的在线数学编辑工具，它支持非常方便的数学公式编辑和数学图像绘制。

打开网站后，点击“Open Editor”即可开始使用；你也可以点击“Get Notebook”来获取这款软件的离线版。

该编辑器支持使用标准 $\text{\LaTeX}$ 语法进行数学公式编辑，同时允许利用他的绘图面板进行类似于 Windows 绘图（mspaint）一样的拖动式绘制功能，也支持利用解析式等进行数学可视化。此外，他还提供了丰富多样的图形模块，可以自由选用并调整绘制图像的细节。

所绘制的图像可以以图片形式导出，也可以直接导出 TikZ 代码（TikZ 代码可以直接在 $\text{\LaTeX}$ 中生成矢量图）。图 1.16 展示了一些使用 Mathcha 生成的 TikZ 代码制作的图像，所有图像都是手工绘制的。

$$\begin{aligned}
 & \text{Vertex: } = -iZe\gamma^\mu \\
 & \text{Photon propagator: } = \frac{-g_{\mu\nu}}{q^2 + i\epsilon} \\
 & \text{Incoming photon: } = \epsilon_\mu(p) \\
 & \text{Incoming fermion: } = \bar{v}^s(k) \\
 & \text{Outgoing fermion: } = u^s(k) \\
 & \text{Incoming fermion: } = v^s(k) \\
 & \text{Outgoing fermion: } = \bar{u}^s(k)
 \end{aligned}$$

图 1.16: Mathcha 绘图示例 1: QED 的费曼规则

你可以注意到，这张图里所有的公式都是可选中的。如果你直接使用一张 PNG 格式的图片，是不能选中图中的文字的。

图 1.17 是另一个例子。

还有一些更强大的绘图功能，留待各位自行探索吧！

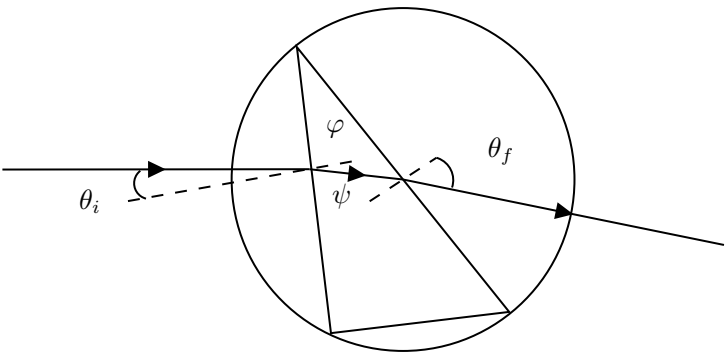


图 1.17: Mathcha 绘图示例 2：微波光学实验的一张示意图

AxGlyph

AxGlyph 是一款所见即所得的矢量图编辑软件，它既可以作为独立软件运行，也可以作为 Microsoft Word 或 PPT 的插件使用。本软件正版可以在 <https://www.amyxun.com> 上获取，正版软件需要花费 36 元人民币，具体购买渠道可以在该网站“软件购买”部分看到。当然，你也可以通过其他渠道零元购，此处不展开讨论。

当你购买了激活码并安装好软件后，打开软件，点击下方“主菜单”，如图 1.18 所示，此时可以看到“软件注册”，此后根据要求输入激活码即可。

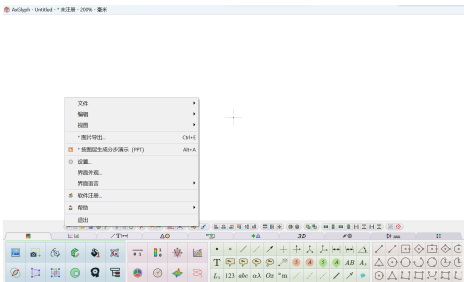


图 1.18: 注册 AxGlyph

得益于 AxGlyph 较为优秀的图形界面，进行简单的尝试后就能掌握其基本功能。如果要实现较复杂的功能，在 B 站上有大量的相关教程供用户学习。本软件的主要好处在于它内置了很多力学元件和电学元件，对于物理图像的作图是比较方便的，如图 1.19 所示。但其缺陷在于对于数据的处理及作图功能简陋且繁琐。当然，不是所有人都需要这个软件，需要自己作图的报告占极少数，更何况 Word、PPT 等软件也可以做出精美的图片，建议各位**按需购买、量力而行**。

需要注意的是，该软件不能反激活，**只能注册单设备**，请谨慎考虑后购买。

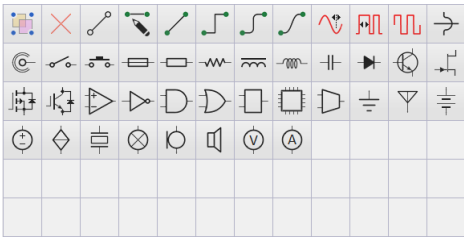


图 1.19: AxGlyph 内置快捷方式示意图

1.2.9 报告格式

实验报告的要求

部分实验会要求提交实验报告，而一个完整的实验报告应当包含如下几个部分：实验目的、实验原理、实验仪器、数据处理、分析与讨论、思考题（可包含在“分析与讨论”中）。报告中通常会出现一些图表。这里先提醒一下，**图名在图的下面，表名在表的上面**，每年都有很多人因为把表名放在下面被扣分。⁶

实验目的，顾名思义，就是介绍为什么要去做这个实验。这部分一般可以在实验讲义中找到，如果讲义中没有提及，可以从以下几方面考虑：掌握某实验器材的使用方法/测量原理、学习某种思想方法、观察/验证某种现象、测量某个物理量等等。

实验原理，就是去介绍实验中为了测量到你需要的数据或观察到所需要的现象需要具备的理论知识。对于百分之九十九的实验，讲义上都会有相应的介绍，但最好不要完全照搬，可以参考实验相关的教材或论文。

实验仪器，不解释了，直接抄讲义。

实验时记录的原始数据需要老师签字后附在提交的报告后。写报告时，可以在报告中重新打一遍原始数据，也可以只保留必要的部分，直接进行数据处理。实验老师上课时一般会说数据处理的要求，可能与实验讲义有所不同。数据处理可能要求计算不确定度，也可能不要求。

分析与讨论部分可以分析误差来源，讨论实验方案的优点与不足、可能的改进方案，讨论该实验的实际意义等；思考题则是要求在报告中回答的问题，答案需要结合实验内容和自己的思考，有时候需要查阅相关书籍。

一些实验要求实验报告写成论文格式，要求有题目、作者、摘要、引言、结论、参考文献等部分，可以自己斟酌每一部分包含哪些内容。关于参考文献的格式，常用的有 MLA、APA、IEEE 和 GB/T 7714—2015 等规范，可按自己喜好选择。

实验报告不是八股文，以上提到的报告各部分内容仅供参考，并不是强制要求。你当然也可以按自己喜好调整，也不必纠结“实验目的到底怎么写”这样的问题。笔者见过许多同学在 QQ 群内就报告格式提出此类问题，这样完全是浪费自己和他人的时间。

阅读材料：科技文章的规范排版

接下来是一些私货，浅浅谈一下科技文章的规范排版问题。

数学公式中的间距是一个应当注意的问题。举例来说，非零实数集 $\mathbb{R} \setminus \{0\}$ ，这里差集符号对应的命令是 `\setminusminus`，而非 `\backslashslash`。其实两者输出的是同一个符号，为什么要作此区分呢？这是因为 `\setminusminus` 输出的是一个二元运算符，它的两边会留有合适的间距，`\backslashslash` 则不然。类似地，`\colon` 输出的冒号是一个数学标点，它两侧有不同的间距，而直接输入的冒号则是一个二元关系符，它两侧的间距是相同的。这些问题在许多 $\text{\LaTeX}$ 教程中都有提及。

关于数学公式中符号正体与斜体、符号之间的空隙等问题，笔者建议采用国家推荐性标准 GB/T 3101—1993《有关量、单位和符号的一般原则》^[2]和 GB/T 3102.11—1993《物理科学和技术中使用的数学符号》^[3]（下称《原则》《符号》）中的规定。

《原则》规定：量的符号通常是单个拉丁或希腊字母，有时带有下标或其他的说明性标记。无论正文的其他字体如何，**量的符号都必须用斜体印刷**，符号后不附加圆点（正常语法句子结尾标点符号除外）；在印刷中，无论其他部分的字体如何，**单位符号都应当用正体印刷**。在复数

⁶ 实际上绪论课会提到这个要求，但绪论课的实际作用如何大概也不用我多说。

时, 单位符号的字体不变. 除正常语法句子结尾的标点符号外, 单位符号后不得附加圆点. 单位符号应当置于量的整个数值之后, **并在其间留一空隙**.

根据《符号》的规定, 变量、变动附标及函数用斜体字母表示. 在特定场合中视为常数的参数也用斜体字母表示. 有定义的已知函数 (如 $\sin, \ln, \Gamma$) 用正体字母表示. 其值不变的数学常数 (如 e, π, i) 用正体字母表示. 已定义的算子 (如微分算子 d) 也用正体字母表示. 函数的符号由两个或更多的字母组成且自变量不含 $+, -, \times, \cdot$ 或 $/$ 等运算时, 括于自变量的圆括号可以省略, 这时**在函数与自变量符号之间应留一空隙**.

关于下标中的正体与斜体,《原则》规定: 表示物理量符号的下标用斜体印刷, 其他下标用正体印刷. 例如: $x_i y_i$ (i : 指标); C_p (p : 压强); I_λ (λ : 波长); E_k (k : 动的); μ_r (r : 相对); $v_{\max}$ ($\max$: 最大); V_{eff} (eff : 有效).

表示数值范围应该使用什么符号? 你或许思考过这个问题. 按国家标准, 连接号分为短横线 (—)、一字线 (—) 和浪纹线 (～). 标示相关项目 (如时间、地域等) 的起止, 以及标识数值范围的起止时, 应使用一字线或浪纹线, 而不应使用短横线.^[4] 习惯上, 前者使用一字线, 后者使用浪纹线, 但国家标准对此并无明确规定. 连字暨减号 (U+002D, Hyphen-Minus) 通常被用作短横线, 它在中西文字体下的显示效果略有区别, 应使用中文字体.⁷ 通常使用西文破折号 (U+2014, Em Dash) 表示一字线, 它就是中文破折号的一半⁸, 使用中文输入法可以很方便地打出. $\text{\LaTeX}$ 用户可以用连续三个连字暨减号 --- 来得到西文破折号, **但不应用这种方式输入一字线**. 这是因为, 在中西文混排的环境里, 直接输入的 U+2014 会被 $\text{\XeTeX}$ 解释为中文标点, 并使用中文字体显示, 而使用 --- 输入的仍然会被视为西文破折号, 并使用西文字体输出. 使用一字线时, **应当直接用中文输入法打出**. 浪纹线占一个字位置, 不应打成半角, 我们通常使用全角颚化符 (U+FF5E, Fullwidth Tilde) 表示它. 应当注意, 一些中文输入法可以直接输入全角颚化符, 但也有很多输入法直接输入的是普通的颚化符 (U+007E, Tilde), 不应用它作为浪纹线.

需要强调的是, 这些符号的显示效果与字体有关, 应选择合适的字体.

事实上, 关于数学公式排版的国家标准与国际标准基本相符, 国内的出版物大多遵从或基本遵从这个标准. 但是, 许多国外出版物的排版风格与此大相径庭, 而大部分国内作者的习惯则介于两者之间. 国家标准也不必严格遵守, 但在确定自己的标准后要保持统一. 笔者建议在国家标准的基础上略微改动, 例如, 不必按国家标准使用直立积分号, 可以使用斜积分号 (这也是许多作者的习惯); 又如, 圆周率 π 不必使用正体⁹.

下面谈谈中西文混排、中文与数学公式混排的问题. 中西文混排的格式规范是一个长期悬而未决的问题. 2014 年, 国家语委发布《中国语言生活绿皮书》, 其中一篇《夹用英文的中文文本的标点符号用法 (草案)》规定了中西文混排时的标点符号格式; 2017 年, 广电总局发布《中文出版物夹用英文的编辑规范》, 这个问题才算是有了说法. 然而, 中文与数学公式混排的格式至今没有一个统一的标准. 事实上, 就连《标点符号用法》都只是推荐性标准而非强制性标准, 作为一个“不规范”使用标点的例子, 近年来“直角引号”越来越常见了, 网上也可以看到很多关于“蝌蚪引号”和“直角引号”优劣的讨论. 正如标点使用并不存在统一规范, 混排格式这个问题也是见仁见智的. 笔者这里只谈两点:

1. 要在合适的地方加空格. 若使用 $\text{\LaTeX}$ 排版, 中西文之间会自动留有一定间距, 但数值和

⁷ 连字暨减号即键盘上能直接打出来的“减号”, 但它和减号 (U+2212, Minus Sign) 是不同的. 用一个字符同时代表连字符和减号, 是打字机时代不得不作出的妥协. 一般的西文字体里由于要与小写拉丁字母配套设计, 横杠位置会偏下, 不符合中文排版要求. 所以短横线两边有中文时, 理应使用中文字体; 两边无中文时, 使用西文字体未尝不可, 但这一点有待商榷.

⁸ 严格地说, 它们并不是同一个符号, 只是共用一个码位. 事实上, 中文破折号的输入是一个颇具争议的问题, 不过那些复杂的历史和技术细节与本手册的主题无关, 这里就不多说了, 感兴趣的读者可以自行查阅资料.

⁹ 这是因为, π 在大多数情况下不会有圆周率以外的含义, 没有必要严格区分; 另一方面, π 是一个小写希腊字母, 缺乏合适的数学字体, 不便于使用正体. 对于其他情况下正体的使用, 还是建议尽量遵从国家标准的规定.

单位之间的间隙需要用命令 \, 手动添加, 另外也可以使用 `siunitx` 宏包.

2. 科技文章中使用中文句号自然是不合适的, 那么该用什么呢? 许多人偏好西文的标点样式, 即使用西文标点加空格来代替中文标点. 笔者个人不推荐这种用法. 笔者建议正常使用其他中文标点, 而用全角句点 (U+FF0E, Fullwidth Full Stop) 代替中文句号. 全角句点不方便输入, 可以先用中文句号, 最后再全文替换.¹⁰

这部分对大雾来说并不重要, 算是正式开始前的一点小插曲, 如果能引起你的兴趣, 就再好不过了. 那么话不多说, 我们开始下一章——不确定度概述.

¹⁰ 遗憾的是, 这个符号在许多中文字体下的显示效果并不理想. 例如, 方正的四种可免费商用字体中, 点的位置都偏左, 这一点在括号与句号连用的时候尤为明显 (因为标点压缩); 而华文的许多字体中, 点的位置明显偏上了. 显示效果不理想的问题并非全角句点独有, 前面介绍过的三种连接号多多少少也有类似的问题.

不确定度概述

2.1 不确定度的计算

2024 年春，物理实验教学中心修改了不确定度的要求，抛弃了旧的算法，改用国标^[5]。至此，使用了数十年的“祖传算法”终于成为历史。正如前文及 2.2 节所述，旧的算法有许多不合理之处，很多公式没有来由，也很难找到参考资料。所以改用国标后，好消息是祖传的错误得到更正，也能找到好的参考资料了，坏消息是计算方法依然很复杂，而且**旧的参考资料完全不能用了**。为了解决这个问题，我们建议大家找一些计量学书籍来学习标准的不确定度评定方法，**不要再参考往届学长的实验报告**。文献 [6] 的第三章中，给出了若干测量不确定度应用实例，可能对读者有所帮助。

事情比较突然，新的不确定度指南还来不及编写。建议读者先自行寻找参考资料，我们将根据实验教学情况，尽快发布更新，请持续关注。

2.1.1 公式总结

待更新

2.1.2 最小二乘法

鉴于最小二乘法在物理测量中的重要地位，有必要单开一小节讲讲它的使用。本小节只给出计算公式。

大雾实验中一般只会涉及最简单的情况，即一元线性回归。一元线性回归的模型为

$$y = b + kx + e \quad (2.1)$$

其中 e 为随机误差。设进行了 n 次测量，得到样本

$$(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$$

则回归方程为

$$\hat{y} = \hat{b} + \hat{k}x, \quad (2.2)$$

斜率的最小二乘估计为

$$\hat{k} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2.3)$$

截距的最小二乘估计为

$$\hat{b} = \bar{y} - \hat{k}\bar{x}, \quad (2.4)$$

而皮尔逊相关系数定义为

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2)(\overline{y^2} - \bar{y}^2)}}, \quad (2.5)$$

再结合 k 和 b 的理论表达式, 就可以给出物理量的测量值. 原则上, x 的误差比 y 小得多时, 最小二乘法才适用, 若两者误差相当, 则应使用其他方法 (如戴明回归), 但在大物实验中, 我们都默认采取最小二乘法. 有时理论模型并不是线性的, 需要转化成线性再拟合. 例如, 若理论模型导出的方程为 $T^2 = ar^2 + b$, 可以令 $x = r^2, y = T^2$ 再拟合.

在正态假定下, 最小二乘法斜率 k 的标准不确定度为

$$u_k = \hat{k} \sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}}, \quad (2.6)$$

其中 r 为皮尔逊相关系数. 截距 b 的标准不确定度为

$$u_b = \sqrt{\overline{x^2}} u_k, \quad (2.7)$$

二者的扩展不确定度为

$$U_k = t_p u_k, \quad U_b = t_p u_b, \quad (2.8)$$

在计算扩展不确定度时, 若测量次数为 n , 则应取自由度 $\nu = n - 2$ 对应的包含因子. 如果你使用 Origin 处理数据, 可以方便地直接读出斜率和截距的标准不确定度, 不必自行计算.

使用最小二乘法时, 一般不考虑 B 类不确定度 (因为过于困难, 也没有好的资料可以参考), 而在实验中是否考虑、如何考虑可以询问老师.

最后, 应当指出, **逐差法是过时的方法, 不应再使用**. 张力学长的实验报告中有很多地方使用了逐差法, 我们铭记它的贡献, 但现在还是把它扫进历史的垃圾堆吧.

2.1.3 示例

待更新

2.2 关于物理实验教学中心算法的若干讨论

本节是在 2023 年夏季撰写的, 介绍了一教旧算法存在的问题. 虽然一教已经改用国标, 一些错误得到修正, 但旧的算法毕竟已经使用了数十年. 出于记录历史的考虑, 我们仍保留本节内容, 供感兴趣的同学参考.

正如之前已经指出的, 科大物理实验教学中心要求的不确定度算法与国家标准存在很大差别. 下面基于国家标准 GB/T 7714—2015 《测量不确定度评定和表示》^[5], 简单介绍一下科大算法的不合理之处.

2.2.1 “仪器允差”和“估计误差”应该“合成”吗?

第一个问题是所谓的“B 类极限不确定度”. 科大物理实验教学中心的算法中, “B 类极限不确定度”由“仪器允差”和“估计误差”按方和根“合成”得到. 这里“估计误差”是一个相当模糊的概念, 引入的原因也不明确. 笔者看过其他高校的一些物理实验资料, 其中大部分根本不会提到 B 类不确定度, 少数提到的也没有“合成”的做法. 那么这样“合成”有道理吗?

为了解释这个问题, 我们先来看看 A 类和 B 类不确定度的“合成”. 大部分资料中, “合成不确定度”是当测量结果受多种因素影响时, 用各不确定度分量合成后所得的不确定度, 一般

用于间接测量量。然而，科大物理实验教学中心的“合成不确定度”指的却是直接测量量的 A 类和 B 类不确定度按方和根“合成”。这种“合成”又是怎么回事呢？

我们可以从前述国家标准 4.3.7 小节的示例 2 得到一些启示。该示例摘录如下：

一台数字电压表的制造厂说明书写明：“仪器校准后的 2 年内，1 V 量程电压准确度是：读数 $\times (14 \times 10^{-6}) + \text{量程} \times (2 \times 10^{-6})$ ”。假定仪器校准后使用了 20 个月，在 1 V 量程测量电压 V ， V 的一组独立重复观测值的算术平均值 $\bar{V} = 0.928\,571\text{ V}$ ，其 A 类标准不确定度为 $u(\bar{V}) = 12\,\mu\text{V}$ 。B 类标准不确定度可依据制造厂说明书，假定该引用的准确度数据对 $\bar{V}$ 的修正值 ΔV 是对称边界…… $u(\Delta \bar{V}) = 8.7\,\mu\text{V}$ 。为简单起见，被测量 V 的估计值使用同样的符号 V 来表示， $V = \bar{V} + \Delta \bar{V} = 0.928\,571\text{ V}$ 。此估计值的合成标准不确定度由 $\bar{V}$ 的 A 类标准不确定度 $12\,\mu\text{V}$ 与 $\Delta \bar{V}$ 的 B 类标准不确定度 $8.7\,\mu\text{V}$ 合成得到。

此例中我们可以看出，测量值 V 的不确定度有两个分量：一个是 $u(\bar{V})$ ，它是用统计方法评定的（尽管示例中没有给出细节），即是 A 类不确定度；另一个是 $u(\Delta \bar{V})$ ，它不是用统计方法评定的，而是由制造厂说明书得到的（这里未摘录具体过程），是 B 类不确定度。我们不难判断， $u(\bar{V})$ 对应的是测量时装置、环境、人员等方面因素发生微小波动造成的随机误差，而 $u(\Delta \bar{V})$ 对应的是仪器不精确造成的误差，这两个不确定度不相关，所以可以方和根。这样一来，A 类和 B 类不确定度“合成”的做法就找到了依据。但是，“估计误差”在哪里？

不止是国家标准，翻遍各种参考资料，我们都找不到“估计误差”的踪迹。不过，我们的第一个实验——单摆法测量重力加速度中，就用到了“估计误差”，绪论课上也有提及，即：“秒表计时的估计误差为 0.2 s ”。这和上面的示例有什么不同呢？一个重要的区别是，时间只能测量一次！时间的测量当然也会受装置、环境、人员等方面随机因素的影响，然而仅测量一次是无法用统计方法评定不确定度的。所以，“估计误差”是单次测量情况下 A 类不确定度的代替！所以，多次测量时不宜随意使用“估计误差”。不过，如果存在偏向性误差，例如钢丝杨氏模量实验中用钢卷尺测量反射镜与标尺距离时，钢卷尺很难拉直，也不易与待测物对齐，测得的长度通常会偏大。遇到此类情况，亦可根据具体情况选取估计误差。

前述国家标准 4.3.1 小节印证了以上讨论：

当输入量 X_i 的估计值 x_i 不由重复观测得到时，估计方差 $u^2(x_i)$ 或标准不确定度 $u(x_i)$ 可根据 X_i 可能变化的全部有关信息的判断来评定。

通过以上讨论，我们基本解释清楚了“估计误差”的问题。物理实验教学中心语焉不详，给很多同学带来了困扰。

2.2.2 不确定度应该先“扩展”再“合成”吗？

在绪论课上，老师会提到 A 类和 B 类不确定度的“合成”：

$$U_p = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{(t_p u_A)^2 + (k_p u_B)^2} \quad (2.9)$$

之后再借助“传递公式”（标准文献中称“合成公式”），得到总的标准不确定度。这种做法其实并不正确。原则上，只有标准不确定度才可以按方和根合成，将标准不确定度乘上包含因子后方和根是没有道理的。我们可以参考前述国家标准的 E.4.1 小节：

一般情况下，如果 $u_c^2(y)$ 是两个或更多个估计方差分量的合成： $u_i^2(y) = c_i^2 u^2(x_i)$ ，即使每个 x_i 是正态分布输入量 X_i 的估计值，变量 $(y - Y)/u_c(y)$ 的分布也不是 t 分布。然而这个变量的分布可以用 t 分布近似，其有效自由度 ν_{eff} 由韦尔奇—萨特思韦特（Welch-Satterthwaite）公式得到：

$$\frac{u_c^4(y)}{\nu_{\text{eff}}} = \sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i} \quad (E.2a)$$

或者

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (\text{E.2b})$$

且

$$\nu_{\text{eff}} \leq \sum_{i=1}^N \nu_i \quad (\text{E.2c})$$

其中, $u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$. 扩展不确定度 $U_c(y) = k_p u_c(y) = t_p(\nu_{\text{eff}}) u_c(y)$, 由此提供了一个包含概率近似为 p 的区间 $Y = y \pm U_p$.

可以看出, 得到待测量的扩展不确定度的正确方法是: 将各标准不确定度分量合成后, 用韦尔奇-萨特思韦特公式得到有效自由度, 再将合成标准不确定度乘上该有效自由度对应的包含因子, 作为待测量的扩展不确定度. 科大物理实验教学中心的绪论课中介绍的方法却是先“扩展”再“合成”, 还煞有介事地用红色粗体标注“相同置信概率的不确定度才可以按平方和来合成”, **这是彻头彻尾的谬误!**

各实验介绍

本章将给出各实验的简要介绍、注意事项及一些常见问题的解决方法。需要说明，部分实验中给出的参考数据**仅仅是大致的范围**，有一些差别也并不意味着失败了，更何况有些实验的误差本来就很大，还有的实验用不同器材做出的结果也不同。对一个实验的评价很大程度上取决于一教老师与各校实验助教对实验的具体组织与安排，因此除了一些公认体验很好或很差的实验，本部分不会给出过多倾向性的评价，以免造成误导。同时，本部分给出的策略主要面向不希望在实验上花费过多时间、想要尽量避免麻烦的同学，我们也相信存在以做实验为乐的同学，这些同学去尝试做一些有挑战性的实验或者完成实验的拓展内容也未尝不可。

请注意，部分实验讲义处于长时间未更新的状态，可能和现在的情况不一致；部分实验讲义中的要求和老师或助教的要求不同、甚至不同老师或助教之间的要求也可能不同，此时**以当堂课的实验老师的要求为准**。此外，本章所有内容均基于往年大物实验课程内容编写，如果与实际情况不完全一致，也是很正常的。如果你找到了往届学长的报告，也可能发现这些报告的内容并不符合现在的实验要求，特别是不确定度分析改用国标后，**旧资料中的不确定度计算方法都不再适用了**。遇到这些情况，**请以最新的要求为准**！

可能有些心急的同学没有看前面的章节，直接看本章的实验介绍。我们强烈建议阅读第 1 章，其中部分内容可能会帮你省去很多麻烦。

最后，虽然前面的章节已经提到过，我想再次强调，大雾实验的给分不像一些理论课没有下限，只要**别太敷衍**，最终成绩也不会过低。而且实验课学分也很少，**不必斤斤计较**，不值得为了多那么几分花太多时间，也没有必要过于在意一两个实验的低分，不如多花点时间学理论课。

3.1 一级实验

3.1.1 重力加速度的测量

本实验是一级大雾的必做实验，需要的时间并不长，第二次绪论课后会给本实验留出两个小时的时间。实验要求分别用单摆法和自由落体法测量重力加速度。一般来说，单摆法的误差很小，自由落体法的误差可能比较大。大雾讲义和教材上给了一个奇形怪状的单摆周期公式，建议不要理会。自由落体法需要线性拟合。

本实验开始前需设计单摆法的实验方案，要求利用不确定度均分原理估计至少应测的周期数。由 $g = 4\pi^2 l / T^2$ 得最大不确定度公式

$$\frac{\Delta g}{g} = 2 \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta l}{l}$$

实验要求 $\Delta g/g < 1\%$, 则由不确定度均分原理, 应使 $2\Delta T/T < 0.5\%$, $\Delta l/l < 0.5\%$. 再结合仪器允差和估计误差 (注意此时应取两者代数和, 因为这是最大不确定度), 可得出所需的摆长和应测量的周期数. 估计应测量的周期数时, 需要代入摆长和重力加速度的估计值, 考虑到实际的实验条件, 摆长可以取大一些.

实验时没有必要分别测量绳长和小球直径, 可以用钢卷尺直接测量摆长.

以下是一些注意事项.

1. 计时要仔细, 很多人会少数一个周期.
2. 原则上, 计时开始和停止都应该在最低点, 因为这时小球速度最快, 这样计时是最准的.
3. 周期要多次测量, 你可能会在前几次测量后发现结果和你预想的有较大差距, 不要为了减小误差而编数据! 如果你一定要编, 请把前几组数据舍弃掉! 否则你会发现不确定度非常大, 这是初学者常犯的错误.
4. 不要为了节省时间而在 N 个周期结束后继续数 N 个周期, 正确做法是重新起摆.
5. 合肥地区重力加速度参考值: $g = 9.7947 \text{ m/s}^2$.

值得一提的是, 对大雾助教来说, 这往往是第一次实验教学. 同时, 这也是一级大雾唯一一次要求课前提交实验方案. 因此, 这个实验中出现了各种助教经验不足造成的乱象, 如实验方案要求不统一、实验操作教学和给分混乱等, 建议做好心理准备.

3.1.2 质量和密度的测量

本实验主要分为四个部分, 比较轻松. 第一部分和第二部分非常简单, 就是测量物体的质量与体积从而测量出其密度, 大概十分钟就能做完这两部分. 第三部分需要先在木条上缠绕胶带以将其重心调整至其中心. 若发现木条上胶带很多, 可以撕下来一些再调整重心, 往木条上缠胶带的时候不要一次缠太多, 一般每次缠两三圈就能发现木条重心有明显变化. 第四部分是利用谐振子的特性测量物体质量, 基本上不会遇到困难. 但是这个实验和重力加速度的测量实验一样, 需要数周期, 注意不要多数或者少数.

3.1.3 钢丝杨氏模量

本实验需要测量的数据量并不大, 仪器调好之后一个小时内就能测完 (如果高中物理竞赛做过本实验就更顺手), 但是数据处理相对繁琐.

实验过程中, **粗调非常重要** (对于大部分光学实验都是如此), 这可以极大地节省时间. 首先要注意望远镜水平、焦距合适、平面镜铅直. 接着要先用肉眼从望远镜上边缘看过去, 在平面镜中看到望远镜的像之后, 再从望远镜里进行细调. 更重要的是要先打开望远镜前面的盖子, 否则你怎么看都是一团黑.

测量时需要注意的点是**需要测量的钢丝长度 L 实际为上夹头到管制器的长度**, 不要误测为上夹头到砝码托的长度. 平面镜与标尺间距离 D 较长, 建议与同学合作测量.

此外, 本实验对于不确定度分析的要求较高, 老师在讲评时曾明确提到在最后的 uncertainty 计算中要计算最小二乘法拟合时斜率的不确定度. 具体方法参考 2.1.2 小节. 由于钢卷尺很难对齐待测物, 需要考虑估计误差. 钢卷尺允差取 0.12 cm , 游标卡尺允差取 0.004 mm .

参考实验值: $E \approx 2 \times 10^{11} \text{ Pa}$.

3.1.4 显微镜的使用

本实验的工作是 CCD 配套软件的使用, 操作并不困难, 不涉及多少物理的内容.

实验的第一大内容是定标。具体操作实验讲义已经事无巨细地介绍了，但请务必注意以下两点。首先定标尺的刻度有长有短，不要选择过大的放大倍率，以至于软件界面看不出长短区别，把自己搞晕；其次，请务必注意定标尺的全长为多少，尤其注意单位是多少，一旦出错，会给后续测量带来数量级的差别，也会因此被扣分。

实验的第二大内容是测量。这里请注意软件有非常多的预设几何形状，用于准确测量。

当测量两平行线间距离（如衍射单缝宽度）或是不规则物体的宽度（如孢子宽度）时，请选择**平行线工具**，其会允许自由画出第一条直线，然后强制第二条直线在平行方向延伸，并直接给出两直线距离。**不要直接选择最简单的两点测距工具，不要试图自己选点，配出垂直来测距，这既不准确，还会扣分。**

当测量衍射小孔的半径/直径时，也请选用专门的**圆形工具**，拉伸放大后直接套在小孔图像上，直接得到数据，也请不要使用最简单的两点测距工具。

实验的第三个注意点是，由于此实验在正确定标后非常简单，完成很快，所以请尽可能完成所有的进阶、高阶实验，以得到最大的分数奖励。如果不完成，请做好拿不到高分的心理准备。

3.1.5 衍射实验

本实验实际操作、结果分析等部分较为简单，但实际测量时容易产生较大误差。

本实验第一部分为观察激光经各衍射元件衍射后在 CCD 上的成像，每个衍射片上有多个单、双缝，宽度大概可以肉眼比较，最好观察所有衍射图样后再得出规律。无小孔专用衍射片，小孔位置在单、双缝上面。**注意在移动、更换衍射片时不要让激光直射 CCD。**

第二部分为测量单缝缝宽和双缝中心间距，本实验原理对未学习光学的同学可能有些难以理解，但实际上只需要记住如下几个公式。

单缝衍射缝宽 a 计算公式：

$$k\lambda l = ax_k$$

其中 k 为**暗条纹**级数， λ 为激光波长（632.8 nm）， l 为衍射元件到 CCD 的距离， x_k 为第 k 级暗条纹（中心）距中央亮条纹中心的距离。

双缝衍射中心间距 d 计算公式：

$$k\lambda l = dx_k$$

其中 k 为**亮条纹**级数， λ 为激光波长（632.8 nm）， l 为衍射元件到 CCD 的距离， x_k 为第 k 级亮条纹（中心）距中央亮条纹中心的距离。**注意双缝衍射存在缺级现象，并非看到的第 k 个亮条纹就是第 k 级亮条纹。**缺级出现条件为：

$$\frac{n}{k} = \frac{d}{a}$$

实际简单的判断方法为记住第一级亮条纹与中心亮条纹大致距离（第一级不会缺级），由于亮条纹间距相等，可判断出第一个缺级位置；之后的缺级级数为第一个缺级级数的整数倍，如第 2 级缺级则第 4、6、8 等级次也缺级；第 3 级缺级则第 6、9、12 等级次也缺级。

本实验无需不确定度分析，只须计算相对误差，但实验过程中目视确定条纹中心位置时误差较大，建议在实验过程中便尝试简单估算结果，如果发现相对误差较大可以重新测量或更换衍射元件等。

建议完成进阶实验：利用手机屏幕，使用衍射的方法测量激光波长。这个进阶实验不太容易操作，可以和其他同学合作完成。

3.1.6 磁力摆

由于本实验长期遭到口诛笔伐，选择的人数并不多，故无法给出详细介绍。不过，你可以参考图 3.1 中的讨论。磁力摆本应该是一个很有趣的实验，实际体验却如此糟糕，很大程度上是教学的问题。



图 3.1: 关于磁力摆的讨论

3.1.7 数字体温计

本实验仪器老旧，耗时长，任务重，需要手绘图，需要当堂写实验报告。

实验原理较为简单，在调节电桥平衡时需注意要将 R_2 、 R_3 电阻箱阻值设置相等，通过调节 R_1 电阻箱阻值使电桥平衡。

本实验器材中万用表大多较为老旧，有的连电池盖都没有；磁力搅拌器也可能存在问题。在正式开始实验前建议先确定器材情况，以免实验进行到一半时由于器材问题导致结果作废。注意正式实验时在调节好电桥平衡后**不要再改变电阻箱阻值、万用表量程和电源电动势**。

实验中实际用到的公式为：

$$U = \frac{E\alpha\Delta t}{4}$$

实验时需要当堂用最小二乘法计算出 Pt1000 电阻温度系数（即 α ），如未带电脑或计算器可以上网找一个在线线性拟合计算器。

3.1.8 切变模量

本实验比较简单，实验操作与“单摆法测重力加速度”类似，分析不确定度时较麻烦。

首先，本实验需要当堂写实验设计，主要是确定测量周期的个数，以满足误差要求。如下：

在弹性限度内，且切应变 $\gamma \ll 1$ 时，可将扭摆的转动类比于小振动，于是可以通过测量扭摆转动的周期，间接计算出钢丝的切变模量：

$$D = \frac{4\pi^2}{T_0^2} I_0$$

$$G = \frac{2DL}{\pi R^4}$$

其中, T_0 是扭摆不悬挂其他物体时的转动周期, I_0 是扭摆对其悬挂点的转动惯量; 但是由于扭摆的固定方式导致其转动惯量难以被测出, 因此可以将一个金属环对称地置于圆盘上.

设这个金属环具有质量 m , 内半径 r_{in} 和外半径 r_{out} , 置于圆盘上后可得到转动周期 T_1 , 利用比值法, 可将上面的公式改写成:

$$D = \frac{2\pi^2 m(r_{\text{in}}^2 + r_{\text{out}}^2)}{T_1^2 - T_0^2}$$

$$G = \frac{4\pi L m(r_{\text{in}}^2 + r_{\text{out}}^2)}{R^4(T_1^2 - T_0^2)}$$

最大不确定度公式为:

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{4\Delta R}{R} + \frac{2r_{\text{in}}\Delta r_{\text{in}} + 2r_{\text{out}}\Delta r_{\text{out}}}{r_{\text{in}}^2 + r_{\text{out}}^2} + \frac{2T_0\Delta T_0 + 2T_1\Delta T_1}{T_1^2 - T_0^2}$$

代入数据进行估计发现, 主要误差项为 $4\Delta R/R$ 项. 而与周期有关的项应当通过增大单次计时周期数来减小误差, 使之小于主要误差的 1/5 即可. 于是可以得到两个不等式:

$$\frac{2T_0\Delta T_0}{T_1^2 - T_0^2} < \frac{1}{5} \frac{4\Delta R}{R}$$

$$\frac{2T_1\Delta T_1}{T_1^2 - T_0^2} < \frac{1}{5} \frac{4\Delta R}{R}$$

对扭摆周期 T_1 和 T_0 进行估测, 可解出需要的周期个数.

其次, 分析物理量的不确定度时, 除了质量 m 的不确定度 Δm 直接按照 500 g 量程物理天平在接近满量程时的允差 0.08 g 来计算, 其他都要计算 A 类、B 类不确定度, 再合成.

最后, 给出不确定度合成公式及参考数据, **仅供参考, 请勿照搬.**

扭转模量的不确定度为

$$u_D = D \left(\left(\frac{u_m}{m} \right)^2 + \left(\frac{2r_{\text{in}}u_{\text{in}}}{r_{\text{in}}^2 + r_{\text{out}}^2} \right)^2 + \left(\frac{2r_{\text{out}}u_{\text{out}}}{r_{\text{in}}^2 + r_{\text{out}}^2} \right)^2 + \left(\frac{2T_0u_0}{T_1^2 - T_0^2} \right)^2 + \left(\frac{2T_1u_1}{T_1^2 - T_0^2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

最终结果为

$$D = \hat{D} \pm U_D = (5.39 \pm 0.09) \times 10^{-3} \text{ Pa } (p = 0.95).$$

相对不确定度为 1.6%, 满足实验要求.

切变模量的不确定度为

$$u_G = G \left(\left(\frac{u_L}{L} \right)^2 + \left(\frac{4u_R}{R} \right)^2 + \left(\frac{u_m}{m} \right)^2 + \left(\frac{2r_{\text{in}}u_{\text{in}}}{r_{\text{in}}^2 + r_{\text{out}}^2} \right)^2 + \left(\frac{2r_{\text{out}}u_{\text{out}}}{r_{\text{in}}^2 + r_{\text{out}}^2} \right)^2 + \left(\frac{2T_0u_0}{T_1^2 - T_0^2} \right)^2 + \left(\frac{2T_1u_1}{T_1^2 - T_0^2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

最终结果为

$$G = \hat{G} \pm U_G = (6.69 \pm 0.16) \times 10^{10} \text{ Pa } (p = 0.95).$$

相对不确定度为 2.4%, 满足实验要求.

3.1.9 固体比热

本实验分为两个实验，座位号前五的同学预习固体比热容的测量，其余同学预习冷却法金属比热容的测量。

关于固体比热容的测量，主要的原理就是比热容公式，这部分会有当堂实验设计，要求代入数据求出需要取用的水的质量。此外，建议提前带好坐标纸。

对实验具体操作作以下几点提醒：

1. 通过注意将装有锌粒的试管放入锅内加热时，塞子不能塞太紧，否则由于内部气体的膨胀会导致盖子喷出，导致水蒸汽进入试管；但也不能塞太松，否则水蒸气会直接进入试管，对实验造成影响。
2. 本实验需要读取实验室环境中的大气压强，但实验室的大气压强计读数比较诡异，需要特别注意读数精度，这也会是一道比较拉分的出门测题目。
3. 本实验需要用棒不断搅拌，但又需要控制搅动幅度避免水溅出。因此，请不要一直搅动，否则老师会觉得操作幅度过大，这一点蔡俊老师（对，就是你醒了.jpg 本人）曾明示笔者。
4. 本实验精度不高（热学实验不可避免地会收到环境的很大影响），最终计算得到的相对误差可能高达 30%，如果试验结束得到这样的结果，可以考虑修改数据（重新绘图）。如果得到 10% 左右的相对误差，不要试图篡改得到精确数据，这是一眼假的。

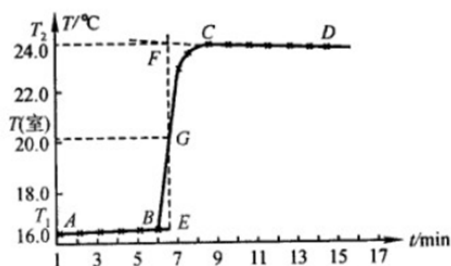


图 5.3.3-1 温度-时间关系曲线

图 3.2: 固体比热作图效果

此外，在测量锌粒比热这个实验中，有一部分同学可能第一次遇到图 3.3 这种表格，这种表格在以后会很常见，具体的读法为：左边的第一列表示压强的百位和十位，而上边第一排表示压强的个位。例如，如果想知道 753(*133 Pa) 对应的水的沸点，先找到 $p_1 = 750$ 这一排，然后再找 $p_2 = 3$ 这一列，则其交叉点对应的 99.74 这个数字就表示在 753(*133 Pa) 下水的沸点为 99.74 °C。

表 5.3.3-1 水的沸点 $t(p_1 + p_2)/^{\circ}\text{C}$ 随压强的变化

$p_2/(133 \text{ Pa})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
730	98.88	98.92	98.95	98.99	99.03	99.07	99.11	99.14	99.18	99.22
740	99.26	99.29	99.33	99.37	99.41	99.44	99.48	99.52	99.58	99.59
750	99.63	99.67	99.70	99.74	99.78	99.82	99.85	99.89	99.93	99.96
760	100.00	100.04	100.07	100.11	100.15	100.18	100.22	100.26	100.29	100.33
770	100.36	100.40	100.44	100.47	100.51	100.55	100.58	100.62	100.65	100.69

图 3.3: 固体比热实验中可能遇到的表格

3.1.10 匀加速运动

本实验的实验原理很简单，大部分都是高中物理要求掌握的内容，包括但不限于匀加速运动公式、动量守恒、能量守恒。实验操作简单，使用实验室电脑中的程序处理数据，不用交实验报告。当然，整个实验是验证性的，实验结果也比较粗糙，出现一些偏差也没关系，也可以试着自己分析产生偏差的原因，或者请教老师。理论上，调平导轨是很重要的，不过笔者实验时发现导轨出现了中间低两边高的情况。这并没有对实验结果造成过大影响，所以如果你遇到了，也不必太担心。

3.1.11 声速测量

本实验必做部分操作简单，容易上手，如果高中物理竞赛做过此实验的话当然更容易。测量气体和液体声速过程中，需要注意的是**鼓轮需一直朝一个方向旋转**，否则会有回程误差。而对于固体中的声速，本实验所给方法测不太准，不必在这上面花过多的时间。

此外，本实验的选做部分——超声悬浮实验也很有意思，参考图 3.4。如果感兴趣的话不妨试一试。不知道是不是仪器有损坏的原因，听说笔者之后很多人没能做出具体的现象。

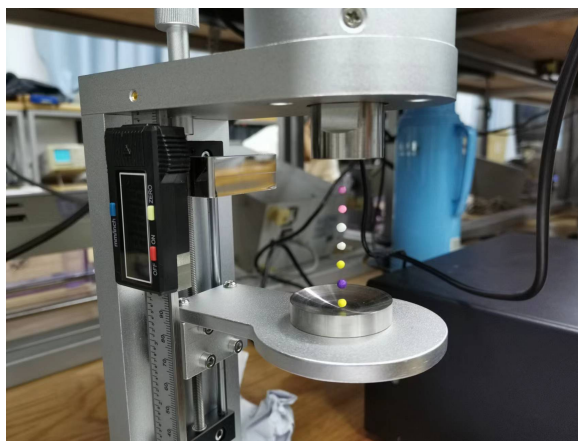


图 3.4: 超声悬浮实验

3.1.12 半导体温度计

本实验暂无详细介绍。

3.1.13 示波器的使用

本实验的实验讲义极其冗长，尤其是实验原理部分，但其实其中大部分的技术细节都无需掌握，只需要学会如何在仪器上操作即可，实际操作并不困难。下面简单介绍一下一些基本功能。

示波器的面板如图 3.5 所示。不同示波器的面板排布有差别，示意图上的示波器应该属于传统的示波器，一教中大部分都是数字显示屏，但具体功能大同小异。整个版面主要分为五个部分：显示（Display）、垂直（Vertical）、水平（Horizontal）、触发（Trigger）、输入（Input）。

在显示部分，分为显示屏、开机键、水平调节旋钮（Rotation）、辉度旋钮（Intensity）、聚焦旋钮（Focus）。

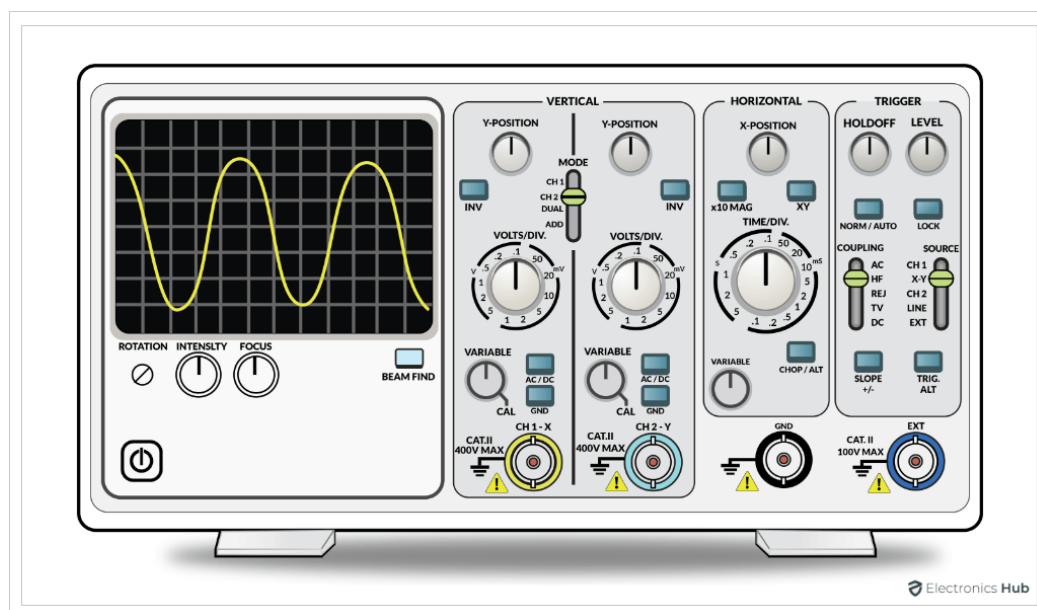


图 3.5: 示波器面板示意图 (图片来源见水印)

当我们输入一个波形后，会在显示屏上显示出来。在 Y-T 模式，垂直轴表示物理量的大小，而水平轴表示时间 t 。此外，在显示屏上可以看到很多辅助线形成的格子 (Division)，每一个格子所表示的含义在后面介绍“垂直”部分和“水平”部分的时候会详细介绍。开关键负责关机 (废话)。水平调节旋钮负责调节波形的水平，这个旋钮往往需要专门的螺丝刀来调节。而辉度调节旋钮负责调节波形的亮度，而焦度调节旋钮负责让波形聚焦于屏幕 (数字式的示波器可能就没有这些功能)。这个面板一般情况下都是调好了的，整个实验中也不需要动除了开关键的任何旋钮。

垂直部分，主要负责调节任何和 Y 轴有关的东西。Y 位置 (Y-Position) 负责让整个波形在沿着 Y 轴上下平移。反转 (Inversion) 让波形以 X 轴做镜像翻转。伏特/格 (Volts/Division) 表示 Y 轴上的每格表示多少伏特，旋转此旋钮可以调节分度值，一般调节到使整个波形恰好能完全显示在整个屏幕内。交流/直流模式 (AC/DC) 就顾名思义了。接地 (GND/Ground) 表示将信号接地，一般用来调节信号的水平位置，使得在没有信号输入时显示的波形恰好在 X 轴上。

此外，在垂直部分下方的输入部分，可以看到有两个输入接口，通道 1 (CH1-X/Channel1-X) 和通道 2 (CH2-Y/Channel2-Y)。我们把这种两个输入通道的示波器称为“双通示波器”。而在两个通道的分界线上，有一个模式功能 (Mode)，负责调节不同的显示模式。CH1 表示只显示 CH1 通道输入的信号，CH2 表示只显示 CH2 通道输入的信号，DUAL 表示两个通道同时分立显示，而 ADD 表示将两个信号叠加后显示。

水平部分，主要负责调节任何和 X 轴有关的东西。X 位置 (X-Position) 类似 Y 位置，让整个波形沿着 X 轴左右平移。中间大的旋钮表示时间/格 (Time/Division)，负责调节一格所表示的时间，一般调节到使屏幕上能显示 2-3 个完整的波形即可。

值得一提的是，其中有一个 XY 按钮，表示让波形在 X-Y 模式 (X-axis and Y-axis) 和 Y-T (Y-axis and Time) 模式之间转换。如果你需要研究单个波形随时间变化的性质，就使用 Y-T 模式。但如果你要将研究两个输入信号所形成的李萨如图形 (即将两个信号联立并消去时间后形成的函数)，则使用 X-Y 模式。

最后没有介绍的就是触发部分，这个部分大概率是用不到的，所以也就不介绍了。

3.1.14 粘滞系数

本实验操作难度不大。

实验过程第一步需要设计实验方案以寻找小球匀速下降区域，这里给出一种参考方案，实际实验时请勿照搬。

1. 使用橡皮筋（实验室中有提供）在容器大致中下部位置划分出数个区域（最好为3至4个区域，太多太少都可能会导致误差影响过大），并测量出每个区域的长度。
2. 取一较大小球（较小小球匀速区包含较大小球匀速区），在液面处静止释放，使用秒表测量出小球经过每段区域的时间，并以此计算小球经过每段区域的平均速度。
3. 若小球经过每段区域的平均速度一样（在误差允许范围内），则这段区域为匀速区，最上、最下皮筋间距即为匀速区长度；若平均速度不一样，则更改皮筋位置并重复上述步骤。

该测量完成后不要移除橡皮筋，在之后的实验过程中仍需这些橡皮筋标记匀速区域。

3.1.15 表面张力

本实验操作简单，也很容易测得比较精确的数据。

首先，介绍减小实验误差的具体细节，仅供参考。

1. 实验前先调节底脚螺丝，使焦利氏秤竖直，防止平面镜升降过程中与玻璃管摩擦，使结果不准确。
2. 缓慢且同时地转动平台的高度调节螺母和升降钮，始终保持三线合一，防止液膜断裂时玻璃管内不处于三线合一的状态。
3. 实验用的金属圈和金属丝要先沾一下待测液体再称重，防止液珠增加的质量影响表面张力系数结果。
4. 实验用的金属圈和金属丝应当尽量压平，防止表面张力有非竖直分量，使表面张力系数结果偏小。
5. 测量清洁精的表面张力系数时先将其摇匀，防止不同深度清洁精浓度不同致使的表面张力系数不同。

其次讨论一个实验细节。加入洗洁精后，混合溶液上层聚集大量小泡沫，并且会出现在拉出的水膜上，是否影响表面张力系数的测量？是否需要人为去除泡沫，得到稳定溶液再测量？笔者在实验时考虑过这个问题，并在有泡沫和无泡沫两种条件下都进行同一实验，结论是几乎没有影响。

最后，给出实验参考数据，**仅供参考，请勿照搬。**

- 焦利氏秤的劲度系数 $k = 1.1580 \text{ N/m}$;
- 水表面张力系数 $\sigma = (0.066 \pm 0.004) \text{ N/m}$;
- 洗洁精溶液表面张力系数 $\sigma = 0.02938 \text{ N/m}$;
- 自配洗洁精溶液的表面张力系数的测量（图 3.6）。

3.1.16 光电效应

本实验操作简单，但数据量较大，作图也较多。理论上本实验不需要提交实验报告，但实际上老师会要求你当堂拟合出普朗克常数 h 的结果并在课后作图（你也可以选择当堂手画图），课后工作量较大。普朗克常数测量误差可能很大，如果测出来7开头，也不必过于担心。

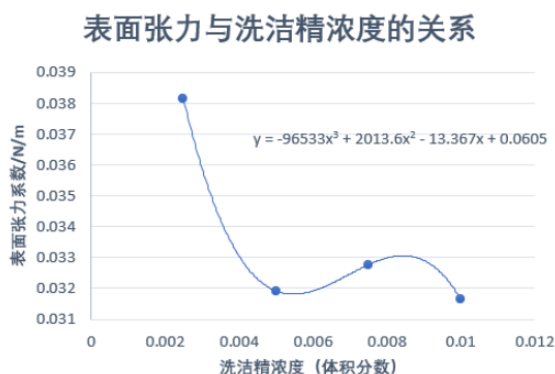


图 3.6: 表面张力与洗洁精浓度的关系

整个实验过程较为简单，只需要按照实验讲义和老师要求一步步做就好，但数据量很大，大概有近百组。

讲义中要求必做的只有零电流法、补偿法测遏止电压和测量饱和光电流与光强之间的变化关系，但老师可能要求测量伏安特性曲线，并在课后绘图。由于伏安特性曲线不是线性，不需要线性拟合，只需要大致绘制曲线连接数据点即可。

3.1.17 密立根油滴

由于本实验长期遭到口诛笔伐，选择的人数并不多，故无法给出详细介绍。从已有的信息来看，这个实验需要用喷雾器制造油滴，选取至少三个理想的油滴记录数据。实验的效果比较看脸，运气好的话很快就能结束，运气不好可能很长时间都找不到好的油滴，测量结果也不理想。

3.1.18 硅光电池

本实验内容无趣，干的事情就是重复性工作：调整各种参数，然后记录结果。同时，本实验还有较为庞大的数据量，数据处理相对繁杂，可以参考下笔者的数据记录。

由于操作比较简单，更多的是数据的记录和处理的功夫，这里就不过多赘述。还有，记得提前把需要用到的表格打印好，最好是打印在同一张纸上，这样比较方便记录，也不容易丢数据（笔者就曾丢了一张纸的数据，最后被迫旷掉思政课去一教补做，非常愚蠢）。

3.1.19 RGB 配色

本实验仅要求观察显示屏如何利用有限种类颜色的小灯泡通过亮度的搭配显示出多种其他颜色，无论在理论还是在具体的实验操作方面都非常简单。但在笔者的观察中，绝大多数同学都能调出相当好的实验现象。

3.1.20 分光计

分光计对于新手比较不友好，各种各样的旋钮对应不同的功能，导致其调节难度较大，参考图 3.8。如果高中物理竞赛实验培训已经把你锻炼得很熟练了就另说。当然，如果你运气好，上一个做完实验的没有打乱仪器，你就可以在很短的时间内调节好并上手测量。实验的粗调很

R_L/Ω	$d=20\text{cm } L=250\text{tx}$			$d=30\text{cm } L=111.1\text{tx}$			$d=40\text{cm } L=62.5\text{tx}$			$d=50\text{cm } L=40\text{tx}$		
	U/V	I/mA	P/mW	U/V	I/mA	P/mW	U/V	I/mA	P/mW	U/V	I/mA	P/mW
50	0.01613	0.3226	0.00520	0.00711	0.1422	0.00101	0.00398	0.0796	0.00032	0.00253	0.0506	0.00013
200	0.0643	0.3215	0.02067	0.0284	0.1420	0.00403	0.0159	0.0795	0.00126	0.0101	0.0505	0.00051
300	0.0956	0.3187	0.03046	0.0426	0.1420	0.00605	0.0237	0.0790	0.00187	0.0151	0.0503	0.00076
400	0.1260	0.3150	0.03969	0.0567	0.1418	0.00804	0.0316	0.0790	0.00250	0.0201	0.0503	0.00101
500	0.1549	0.3098	0.04799	0.0707	0.1414	0.01000	0.0395	0.0790	0.00312	0.0250	0.0500	0.00125
600	0.1815	0.3025	0.05490	0.0847	0.1412	0.01196	0.0473	0.0788	0.00373	0.0300	0.0500	0.00150
700	0.2056	0.2937	0.06039	0.0985	0.1407	0.01386	0.0550	0.0786	0.00432	0.0349	0.0499	0.00174
800	0.2265	0.2831	0.06413	0.1123	0.1404	0.01576	0.0628	0.0785	0.00493	0.0398	0.0498	0.00198
900	0.2446	0.2718	0.06648	0.1259	0.1399	0.01761	0.0706	0.0784	0.00554	0.0448	0.0498	0.00223
1000	0.2599	0.2599	0.06755	0.1394	0.1394	0.01943	0.0782	0.0782	0.00612	0.0497	0.0497	0.00247
2000	0.3358	0.1679	0.05638	0.2547	0.1274	0.03244	0.1533	0.0767	0.01175	0.0980	0.0490	0.00480
3000	0.3615	0.1205	0.04356	0.3090	0.1030	0.03183	0.2204	0.0735	0.01619	0.1444	0.0481	0.00695
4000	0.3742	0.0936	0.03501	0.3323	0.0831	0.02761	0.2695	0.0674	0.01816	0.1874	0.0469	0.00878
5000	0.3817	0.0763	0.02914	0.3448	0.0690	0.02378	0.2979	0.0596	0.01775	0.2250	0.0450	0.01013
6000	0.3867	0.0645	0.02492	0.3526	0.0588	0.02072	0.3144	0.0524	0.01647	0.2547	0.0425	0.01081
7000	0.3902	0.0557	0.02175	0.3581	0.0512	0.01832	0.3247	0.0464	0.01506	0.2762	0.0395	0.01090
8000	0.3927	0.0491	0.01928	0.3620	0.0453	0.01638	0.3319	0.0415	0.01377	0.2908	0.0364	0.01057
9000	0.3948	0.0439	0.01732	0.3650	0.0406	0.01480	0.3372	0.0375	0.01263	0.3010	0.0334	0.01007
10000	0.3964	0.0396	0.01571	0.3674	0.0367	0.01350	0.3412	0.0341	0.01164	0.3086	0.0309	0.00952
15000	0.4013	0.0268	0.01074	0.3743	0.0250	0.00904	0.3524	0.0235	0.00828	0.3279	0.0219	0.00717
20000	0.4037	0.0202	0.00815	0.3777	0.0189	0.00713	0.3575	0.0179	0.00639	0.3361	0.0168	0.00565
∞	0.4132	/	/	0.3989	/	/	0.3726	/	/	0.3560	/	/

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I/mA	0.04	1.00	1.60	2.00	2.40	3.00	3.60	4.00	4.80	5.60
U/V	0.5021	0.6283	0.7063	0.7482	0.7883	0.8354	0.8758	0.9033	0.9522	0.9973
No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I/mA	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	16.00
U/V	1.0178	1.0658	1.1103	1.1493	1.187	1.2225	1.2542	1.2862	1.3146	1.3694

d/cm	20	25	30	35	40	45	50
L/tx	250.0	160.0	111.1	81.6	62.5	49.4	40.0
U_{OC}/V	0.4132	0.3996	0.3889	0.3796	0.371	0.3634	0.356
U_{100}/mA	0.01613	0.01036	0.00711	0.00523	0.00398	0.00312	0.00253
I_{SC}/mA	0.3226	0.2072	0.1422	0.1046	0.0796	0.0624	0.0506

d/cm	20	25	30	35	40	45	50
L/tx	250.0	160.0	111.1	81.6	62.5	49.4	40.0
$R=100\Omega$	U/V	0.03256	0.02078	0.01478	0.01047	0.00790	0.00622
	I/mA	0.32560	0.20780	0.14780	0.10470	0.07900	0.06220
	U/V	0.2599	0.1970	0.1394	0.1024	0.0782	0.0617
$R=1000\Omega$	I/mA	0.2599	0.1970	0.1394	0.1024	0.0782	0.0617
	U/V	0.3817	0.3637	0.3448	0.3241	0.2979	0.2634
	I/mA	0.07634	0.07274	0.06896	0.06482	0.05958	0.05268
$R=5000\Omega$	U/V	0.3964	0.3820	0.3674	0.3542	0.3412	0.3251
	I/mA	0.03964	0.03820	0.03674	0.03542	0.03412	0.03251
	I/mA	0.03964	0.03820	0.03674	0.03542	0.03412	0.03251

图 3.7: 硅光电池数据记录参考

重要！要保证载物台、望远镜、平行光管基本水平再进行细调。另外这里强调一下，做任何光学实验都要注意**不能直接触摸光学面，更不能把元件掉在地上**。

如果调得够好，可能会比别人看到更多的谱线。没记错的话笔者当时看到了 6 条还是 7 条，尽管有几条谱线非常微弱。参考图 3.9a 和 3.9b。

3.1.21 干涉法测微小量

本实验被不少同学吐槽费眼，笔者认为并没有那么夸张，但钠黄光看久了确实会比较难受。实验操作相对简单，所需时间不长，但要求现场计算测量结果和不确定度。

本实验操作中的主要难点为测量牛顿环曲率半径时，容易由于数错数或转动鼓轮过快导致错过待测牛顿环。由于回程误差的存在，**在测量时鼓轮只能单向转动，不能转过头后反向旋转**，如果错过待测环，只能重新测量该组数据，这极易容易导致心态爆炸，建议测量时默念清心咒接近待测环时减缓旋转鼓轮。

另外，讲义中提到测细丝直径实验时需要计算不确定度，但实际实验时老师可能会要求计算牛顿环的不确定度，请以上课时老师的要求为准。

3.1.22 透镜参数测量

本实验的实验原理——高斯成像公式——简单易懂，测量数据也较少；实验操作简单，只需要在光学平台上调节透镜和像屏位置即可。

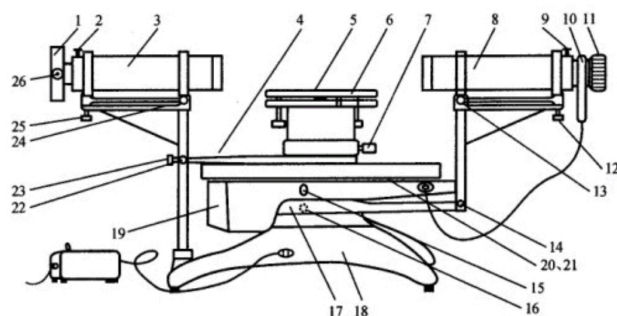
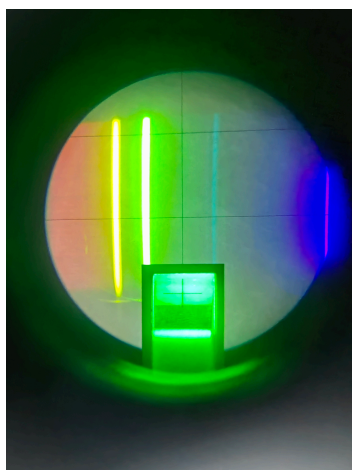


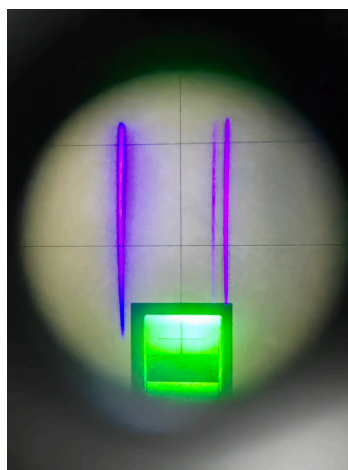
图 7.1.2-1 分光计外形图

1—狭缝装置;2—狭缝装置锁紧螺钉;3—平行光管;4—制动架(二);5—载物台;6—载物台调节螺钉(3只);7—载物台锁紧螺钉;8—望远镜;9—目镜锁紧螺钉;10—阿贝式自准直目镜;11—目镜调节手轮;12—望远镜仰角调节螺钉;13—望远镜水平调节螺钉;14—望远镜微调螺钉;15—转座与刻度盘止动螺钉;16—望远镜止动螺钉;17—制动架(一);18—底座;19—转座;20—刻度盘;21—游标盘;22—游标盘微调螺钉;23—游标盘止动螺钉;24—平行光管水平调节螺钉;25—平行光管仰角调节螺钉;26—狭缝宽度调节手轮

图 3.8: 分光计仪器示意图



(a) 分光计实验现象 1



(b) 分光计实验现象 2

图 3.9: 分光计实验现象

3.1.23 直流电源特性

本实验和整流滤波实验在同一实验室,是操作较为简单的电学实验。虽然需要写实验报告,本实验在一级大物中也可以算是顶级轻松的存在。强烈推荐和整流滤波一起选。

此外,在做实验的时候一定要弄清楚面包板哪些地方是导通的,哪些地方是断开的,同时要注意二极管导通的方向,否则容易做不出实验现象或导致仪器损坏。

3.1.24 整流滤波

本实验理论上是直流电源特性的前置实验,不过两个实验都是操作较为简单的电学实验,先后顺序问题不大。强烈推荐和直流电源特性一起选。

实验室的元件损坏率比较高,可能影响体验。如果发现波形非常诡异,一般不是接触不良就是有元件坏了。如果自己调不好的话要及时请老师帮忙。

此外,在做实验的时候一定要弄清楚面包板哪些地方是导通的,哪些地方是断开的,同时要注意二极管导通的方向,否则容易做不出实验现象或导致元件损坏。

3.1.25 生活中的物理实验

实验室提供 30 余个实验，操作都比较简单，原理也不难，但如果想得到高分，可能需要在填写实验记录单时填写出一些更加有深度的内容，如定量或半定量的分析、对实验原理较清晰的说明等等。

生活中的物理实验分为实验 1 和实验 2。实验 1 要求选取七个实验记录实验现象并简要分析；实验 2 在此基础上还要求对其中一个实验调研，没有自信写好调研的话，谨慎选择实验 2。建议选取自己较为熟悉的领域的实验。

3.1.26 IYPT 系列实验

本小节内容大量参考了中国科大各年级 CUPT 校队成员的宣讲介绍内容，感谢胡德远、李子晗、王一杰、朱子恩、陈世江等同学。

概况介绍

首先需要介绍，IYPT (International Young Physicists' Tournament) 和 CUPT 是同一套题目，完成方式完全一致，共用实验室共用助教，只不过 IYPT 被归为大雾课程，最终呈现方式为 PPT 答辩；而 CUPT 被归为竞赛，最终呈现方式为学术辩论。

笔者认为这是一项门槛较高，收益曲线前期低迷，后期指数增长的实验项目。如果以临时抱佛脚的心态准备，那么这将是你的噩梦；但如果将其与 CUPT/普物课程小论文等活动结合起来，长期投入认真做，那么能力和成绩上的收获都是大学低年级任何项目无法比拟的。

这门实验中，你无需在指定时间到实验室做实验，而是可以在整个学期任何时间去做实验。从某种角度上来说，这更像是一次真正意义上的物理实验，你需要自己寻找甚至创造理论解决问题，而非简单照抄讲义上的公式。总的来说，这门实验对于查找文献、学习等能力以及课外知识的了解有着较高的要求。

接下来将从 IYPT 赛题回顾、文献资料获取、数值计算与模拟、数据分析和整体呈现来介绍。

赛题回顾

每年 IYPT 的题目都有改变，但基本为：介绍实验现象，要求解释原因并给出有关参数的影响。某些年份还会有少量的自主设计类题目（如 2022 年第一题）。题目涉及力热声电磁光和流体各个领域，一般来说力学和电磁学题目比较容易上手，也适合用作力学和电磁学课程小论文，推荐大一同学选择。

一般来说对一道赛题的解决过程为：

- 根据问题搭建实验平台（这一步通常由助教完成），进行预实验，力求观察到实验现象，初步地分析各个影响因素的重要程度，得到一些定性的初步结论。
- 调研文献（也会有助教给出若干，但往往参考价值不大），简化实验的物理模型，利用所学物理知识和文献的内容，争取建出理论模型，如果建不出来，那就进一步简化模型。由理论模型利用数值计算软件（如 MATLAB、Mathematica）给出解析解或者数值解。也可用仿真模拟软件（如 COMSOL、Abaqus、Ansys）直接动画模拟实验。
- 根据所得到的理论模型预测改变参数条件下的实验现象，并由此重新细致设计正式实验，控制变量与理论模型的预测进行验证。（注意：仿真模拟实验不能代替实际实验）
- 根据理论模型和实验数据分析实验误差。
- 对实验给出结论和展望。

资料获取

作为一项自主探究的学术实验项目，仅仅使用所学物理知识是很难给出题目的理论分析的，有些实验甚至连实验现象都难以复现，这就需要通过查阅其他的资料和文献来学习。

- Stemfellowship: <https://stemfellowship.org/iyppt-references/>
一个 IYPT 资料共享社区，主要提供实验视频链接、书籍和论文。
- Youtube/Bilibili: <https://space.bilibili.com/342637508>
可以在视频网站上查找实验现象视频。或是其他国家的比赛实录，这里推荐的是一个搬运 GYPT 和 CaYPT 的 b 站 up 主。关于访问 Youtube，推荐<https://www.elkcloud.top/>。
- Web of Science: <https://www.webofscience.com/>
Sci-Hub: <https://www.sci-hub.st/>
知云文献翻译: <https://www.zhiyunwenxian.cn/>
建议使用方法为：使用中国科大机构认证登录 Web of Science，关键词搜索你希望查阅的论文，找到 doi 号，再在 Sci-Hub 中输入 doi 号直接下载 pdf，最后使用知云文献翻译阅读学习。这是一套可以解决 99% 外文文献学习的方法。

数值计算与仿真模拟

数值计算是物理实验中对理论模型进行计算的不可缺少的一步，最常见的应用即为求解微分方程组的解析解/数值解，一般来说推荐 MATLAB 和 Mathematica，但不得不说 MATLAB 的上手难度大于 Mathematica，Mathematica 符号计算功能强大，函数式编程语言简单易懂，更加对口 IYPT 的使用场景。Mathematica 的安装和使用可以参考 1.2.7 小节介绍。

COMSOL 等仿真模拟软件介绍暂缺。

数据分析

IYPT 中所需要用到的数据分析软件除前述的 Origin 外，还要介绍视频分析软件 Tracker 和全功能物理手机软件 Phyphox。

Tracker 的下载地址为 <https://physlets.org/tracker/>，主要用途为将实验实录视频导入后，进行定标、追踪、数据读取和绘图。比如在 IYPT2023 的第九题震荡的螺丝中，就需要将螺丝的运动用视频记录下来，导入 Tracker 分析逐帧分析各个时刻参考点的位置，从而给出速度、进动角等信息。软件会直接给出随时间变化图，但也可导出数据做进一步处理。

Tracker 的使用请参看 <https://www.zhihu.com/question/368784597/answer/2071496637>。¹

Phyphox 是一款通过调用手机传感器实现数据记录和分析的手机软件，安卓版下载地址为 <https://jxzy.ustc.edu.cn/video/file/phyphox.zip>，IOS 版可直接在 App Store 下载。由于 Phyphox 的使用门槛很低，操作易于上手，故不再给出使用介绍和案例。

整体呈现

由于 IYPT 的最终呈现形式是使用 PPT 进行答辩，因此需要在形式上做出一定提醒和介绍，首先给出一个 PPT 模板，这是中国科大 CUPT 参赛正方报告模板，包含赛题回顾、预试验、理论分析、实验与数据处理、结论与展望五个部分，每页均有小标题和自动页码，是 IYPT 答辩的不二选择。可在 http://home.ustc.edu.cn/~lr_ustc/IYPT.pptx 下载得到。

¹ 感谢南开大学物理学院 ryan 同学的分享。

关于 PPT 排版、图标注释和引用规范, 请参看由 2018 年中国科大 CUPT 校队的几位前辈编写的 CUPT Cookbook: http://home.ustc.edu.cn/~lr_ustc/CUPT%20cookbook.pdf 的 5.2 和 5.3 节.

3.2 二级实验

3.2.1 对切透镜的光学实验

对切透镜的光学实验分为实验 1 和实验 2, 实验 1 主要探究比列对切透镜, 实验 2 主要探究梅斯林对切透镜. 其中实验 1 需要写实验报告, 实验 2 在实验图像较好的情况下可以写数据处理.

实验 1 实验过程较为简单快捷, 实验图像也比较好出现, 但是需要记录较多的数据, 数据处理较为繁杂, 耗时耗力, 不过给分不错; 实验 2 和实验 1 相反, 实验图像尤其是较为优异的实验图像较难出现, 需要进行反复多次的调整, 实验过程比较无趣, 甚至可以说非常折磨, 不过如果实验图像恰好很好看, 数据处理倒是会比较轻松.

3.2.2 测量金属丝的杨氏模量和泊松比

实验仪器焊接存在一定问题, 可能造成体验不佳. 如果测出诡异数据, 很有可能是因为焊接不牢固, 要及时请老师帮忙.

数据处理需要用到以下公式:

1. 杨氏模量实验公式

$$m = \frac{\pi d^2 E}{4gL} \Delta l,$$

其中 m 为砝码质量, d 为钢丝直径, E 为杨氏模量, g 为重力加速度, L 为钢丝长度, Δl 为钢丝伸长量.

2. 泊松比实验公式

$$U_g = \frac{(1 + 2\mu)R_s \Delta l}{4(R_4 + R_s)L} U_{AC},$$

其中 U_g 为桥电压, μ 为泊松比, U_{AC} 为 AC 端电压, R_4 为电阻箱读数, R_s 为钢丝电阻.

实验参考值: $E = 1.720 \times 10^{11} \text{ Pa}$, $\mu = 0.279$.

3.2.3 接触角仪

本实验体验较差. 本实验的全部操作为:

- 把去离子水滴在样品上
- 调节 CCD 获得对比清晰的图片
- 调节光源使软件正确识别接触角

实验讲义、课前介绍和预习测中大谈特谈诸如 $\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \theta$ 的 Young 方程和静态、前进、后退接触角等概念和原理, 与实验本身并无关系.

本实验的三个操作设计上非常简单, 但实际操作比较困难. 关于把去离子水滴在样品上的方法, 需要注意到实验选取的是金属注射器针头, 对水是浸润的. 在测量浸润材料的接触角时, 只需要从注射器中挤出一滴水, 使水滴轻轻接触样品, 就能顺利转移. 而测量非浸润材料甚至是超疏水材料的接触角时, 浸润的注射器针头就无法顺利转移水滴, 水滴始终粘附在针头上, 而非待测样品上. 实验室老师给出的做法是**敲击注射器针头, 甩下水滴**. 但由于表面张力较大, 而

液滴重力较小，敲击的结果往往是液滴甩到针头外壁。总之，这一环节变成了纯粹的人品赌博游戏。这样的实验操作与如此精密复杂的仪器完全不匹配。

关于如何调节光源使软件正确识别接触角，实验讲义中已经暗示：

为得到理想的成像效果，必须进行光源亮度控制。可通过调整灯箱上的光源控制旋钮，结合 CCD 相机成像情况，合理调整光源亮度。如果亮度低，则无法分出背景与液滴，会导致找水平线时难度增大而出现误差。而如果亮度高，又会使得液体的边缘缺失，使测量得到的接触角数值明显减小。

这就是为什么实验一直强调寻找表面平整的材料，因为不平整的材料根本分不出背景和液滴，而这一点不能通过加大亮度解决。但问题是，一教提供的默认材料里面有荷叶，要求自带材料里面有树叶，这两个东西表面显然不平整。而且一教制作的荷叶玻片相当简陋，不仅表面不平整，荷叶也没有完全固定在玻片上，形状甚至随着液滴的压力而改变，加上荷叶又是超疏水材料，还会涉及前面液滴甩不下来的问题。

总的来说，本实验的预习测、出门测、思考题都与实验严重脱节；操作困难，软件识别简陋，数据很差；基础实验耗费大量时间，没有机会做进阶实验和高阶实验。

原始数据需要通过电子邮件当堂提交。

3.2.4 医学物理实验

本实验整体难度低。不论从操作难度还是数据处理难度都是相当低的，整个过程主要就是在等待仪器的加热和降温。讲义上提到了三种不同类型的温度传感器，但实际操作通常只需要用最简单的 LM35 集成电压型温度传感器，它的特性非常好，输出电压和温度的关系基本是线性的，因此数据也很简单。虽然需要按照小论文的格式来写实验报告，本实验仍是二级大雾中的超级性价比之选。

3.2.5 超声系列实验

本实验整体难度较低，根据讲义来操作可以轻松上手。讲义上给的参数都比较可靠，只需要按照讲义上给的数据来摆放即可，即：“凸透镜与水槽的中心距离在 200 mm 左右，水槽中心与投射屏之间的距离在 600 mm 左右。”

3.2.6 空气阻尼测定实验

本实验中的几个小实验基本都属于定性实验，整体的操作比较机械，并且读数要求不高。注意每次测量前要调零。取下测试物时要拿紧，不要掉进模拟风洞里，否则可能会被扣除一部分操作分。

3.2.7 数字表改装

本实验使用小量程的电压表与若干电阻箱制作一个量程可变且内阻不随量程变化的电压表。本实验需要测量的数据量一般，但是实验难度较低，仅需按照讲义连接好电路图即可。

3.2.8 双臂电桥

本实验操作略显复杂。在介绍实验操作时，老师或助教会提到实验过程中需要注意的一些问题，并会在实验过程中检查，做得不对有可能被扣分。

本实验的不确定度分析较为繁琐困难（可以参考图 3.10），尽管已经给出计算公式，不确定度分析依然是报告中的严重扣分点。因此若你选择了本实验，一定要注意不确定度分析。

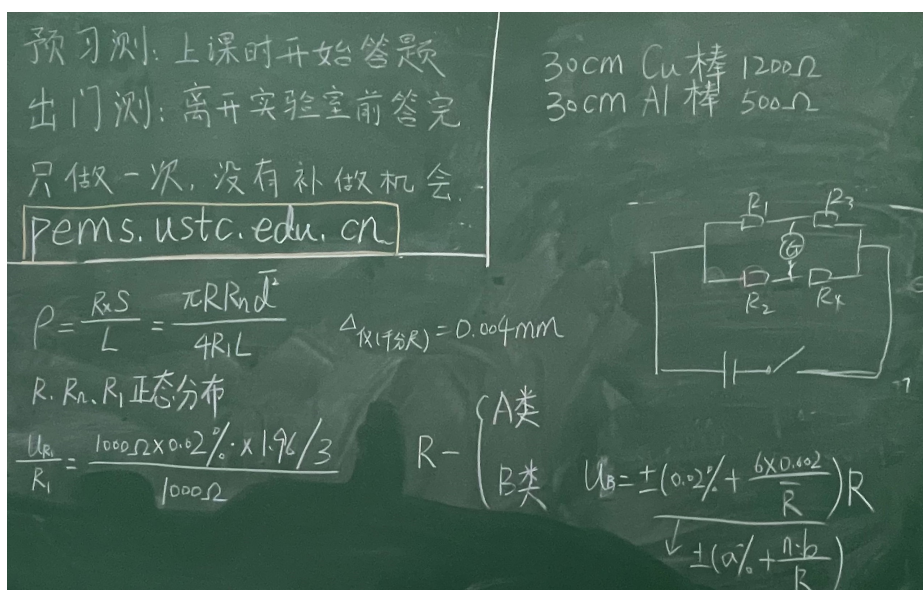


图 3.10: 双臂电桥实验室黑板

3.2.9 双光栅实验

本实验暂无详细介绍。

3.2.10 光纤传导器

本实验体验较差。

1. 实验操作调整难度大

本实验中，需要调整微调位移台、承托位移台，直至最值、垂直状态。而实际可调整纬度包含 x , y , z 三个平动轴和两个转动轴，共 5 个可调整方向，实际想要做到最值、垂直的状态，需要花费大量的时间进行调整。

2. 实验内容过于繁多

本实验一共包含 4 个小实验，每一个实验都需要进行装置的更换，一共需要记录约 120 组数据，整体工作量相当惊人。实验整体工作较为无趣，就是机械的重复动作，然后记录数据，数据处理也较为复杂。

3.2.11 凯特摆

本实验要求测量的数据并不多。难点主要在于调节四个摆锤的位置，估算后粗调到周期为 $T = 1.73\text{ s}$ 有助于后续的细调。调节顺序是：先调大摆锤再调小摆锤，先调黑色的再调橙色的，课上应该也会提到。调节完之后剩下的就很简单了，但运气不好可能会调很久，看脸。

3.2.12 介电常数

本实验操作较简单，要测量的数据也很简单。此外，本实验需要用到示波器，具体如何操作示波器可以参考3.1.13。

3.2.13 传感器

本实验暂无详细介绍。

3.2.14 F-H 实验

本实验没有其他实验操作时常出现的各种高血压问题，从这一点来看体验还算可以，不过数据量极大，数据处理很复杂，很有成就感（误）。实验操作没有什么难点，就是不停地记数据。

3.2.15 刚体转动惯量

本实验原理简单、操作简单。主要是要求利用三线摆测量刚体的转动惯量，三线摆如图 3.11 所示。当下盘的转动动能远远大于上下平动的动能时，对能量守恒方程求导可以得到简谐振动周期 T_0 和转动惯量 I_0 之间的关系：

$$I_0 = \frac{m_0 g R r}{4\pi^2 H} T_0^2$$

其中 m_0 为下圆盘质量，而放上质量为 m 的物体后质量变为 $(m + m_0)$ 。

有的老师可能会要求推导关于 h 的表达式，这里给出一个简单的思路：主要是利用三角形 $C_2 A_2 O_2$ 的余弦定理和 $A A_2 C_2$ 的勾股定理来求。

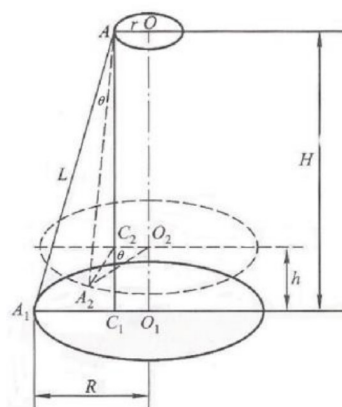


图 3.11: 三线摆原理图

3.2.16 导热系数

本实验要求当堂计算实验结果并提交。实验操作原理上很简单，实际可能比较坐牢。

实验讲义中具体操作方法讲得比较清楚，老师也会进行一些补充说明。注意冰水混合物的冰不要太少。关于稳态的判定，讲义中提到：“二者的示值在 10 分钟内基本保持不变（电压变化分别不超过 0.01 mV），则可以认为达到稳定状态。”实际操作时可能很久都达不到条件。如果示数基本单调变化，可以适当调节调压器电压（千万不要调多）；如果示数上下波动，可以检查接

线是否牢固。进行以上尝试之后，仍有可能无法稳定示数，甚至可能出现相对稳定十几分钟后突然大幅度变化的诡异现象（别问我怎么知道的）。如果遇到这种情况，一定要及时请老师帮忙。

3.2.17 非平衡电桥

本实验操作较为简单，实验误差较小，但是数据量较大，因此处理数据需要花较多时间。

本实验分为测量非平衡电桥的线性范围与灵敏度，测量铜丝的电阻温度系数两部分。采用等臂惠更斯电桥，其中一个电阻为可变电阻。当电桥调平后，在桥电阻变化量较小时，桥电压与可变电阻的变化成正比关系。在本实验中，我们首先通过已知电阻验证此关系，并测量此正比关系近似成立的电阻变化范围，然后利用此正比关系测量铜丝的电阻温度系数。

3.2.18 交流谐振电路

本实验暂无详细介绍。

3.2.19 摄谱

本实验操作简单，只需要将氦灯、汞灯、钠灯依次放在光具座上，然后用 CCD 成像到电脑上。在电脑上截图后，用实验室的软件计算出数据即可。实验室电脑还是很有年代感的 XP 系统，提供的 U 盘就像是在养蛊。推荐自己带一个 U 盘到实验室，或者用电脑登录邮箱来传输。

讲义上给出的数据处理方法是“插值法”，实际上仅仅是线性插值，精度较低。按老师的说法，现在处理数据的软件出自几年前一位学长的手笔，但老师并未介绍此软件处理数据的方法。如果是高次插值，可能存在数值不稳定的问题，尚不清楚其对实验结果的影响。

顺带一提，本实验用到了“阿贝复合棱镜”，讲义中也有介绍。令人费解的是，**笔者不能在互联网上查到任何关于此棱镜的资料**。如果读者知道关于此棱镜的信息，也欢迎邮件告知。

3.2.20 电子小制作

本实验是一二级大雾中少数的焊板子实验，内容较简单，适合想体验焊板子的同学。焊二极管时一定要确认二极管的正负极方向与板子上的标识一致，千万记住不要不小心碰到焊头的金属部分。

3.2.21 霍尔效应

本实验同磁阻效应在同一个实验室，实验操作简单，但仪器非常具有年代感。如图 3.12 所示，你可以看到换向开关上面都是灰，接线头也有一定松动。此外，笔者在实验时闭合开关时有几次甚至看到了微弱的电弧。

本实验会要求测量六脚霍尔片和铽化铟片霍尔系数，**请务必记得读取磁铁上的线圈参数！请务必记得读取磁铁上的线圈参数！请务必记得读取磁铁上的线圈参数！**

对于六脚霍尔片，其霍尔系数参考值 $R_H = -5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{C}$ 。

当测量铽化铟片的霍尔效应时，在磁场 $B = 1000 \text{ Gs}$ 附近霍尔系数会发生改变，这是因为铽化铟片的迁移率较高， $\mu = 7.8 \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ ，相比于其他材料，当磁场较小的时候就能满足强磁场条件和弱磁场条件之间的临界点 $\mu B = 1$ ，具体推导过程可以参考半导体物理相关的书籍。

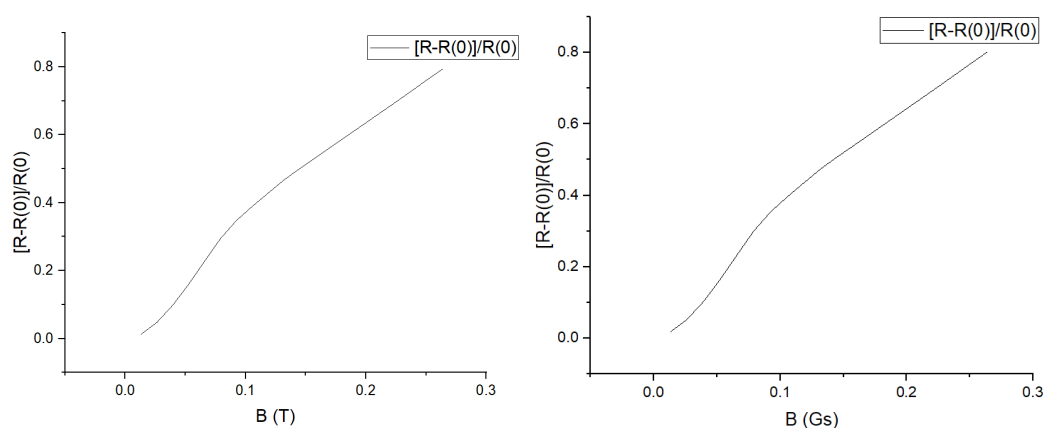


图 3.12: 霍尔效应仪器

3.2.22 磁阻效应

本实验操作较为简单，但数据量较大，**请务必记得读取磁铁上的线圈参数！请务必记得读取磁铁上的线圈参数！请务必记得读取磁铁上的线圈参数！**

基础实验非常简单，实验结论为：半导体处于较弱磁场中时，一般磁阻传感器电阻相对变化率 $\Delta R/R(0)$ 正比于磁感应强度 B 的平方，而在强磁场中 $\Delta R/R(0)$ 与磁感应强度 B 呈线性关系。得到两幅曲线图（两个垂直方向）如下（仅供参考）：



进阶实验需要自行设计方案测量垂直样品电流方向上的电阻相对变化率与 B 的关系，一个可行的思路是利用“半偏法”来进行测量。

3.2.23 迈氏干涉仪

本实验操作简单，但工作量较大，每次要数 50 个圆环，比较耗眼睛。图 3.13 为高阶实验中白光干涉的效果。

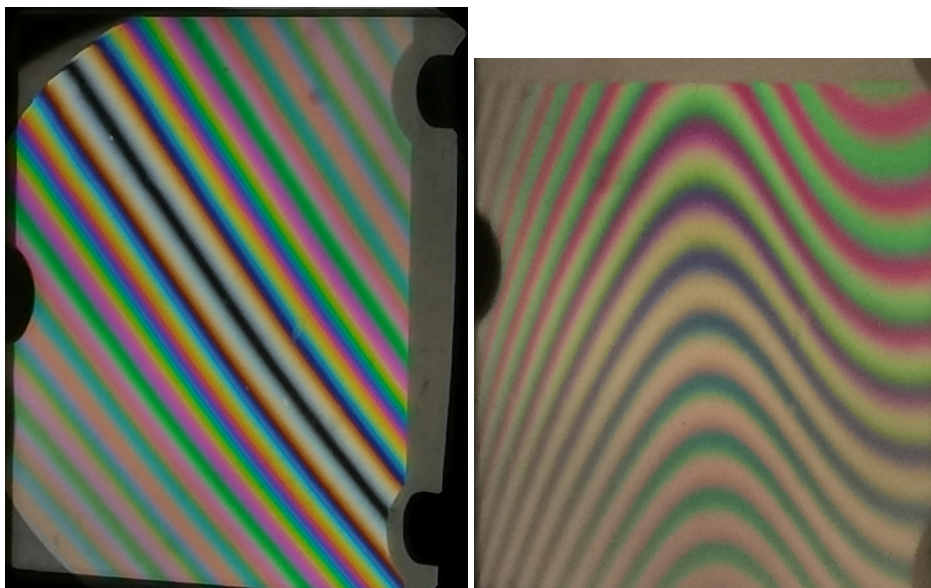


图 3.13: 白光干涉图像

3.2.24 偏振光

本实验实验数据量大，误差较大（看仪器心情？），但是实验操作较为简单，做三点提醒：

首先需要将所有光具组调节到同一光轴上，以**反射光斑是否能与光源重合**为检验标准，否则光电探头接收到的光强度不准确，造成实验失败。

其次，验证马吕斯定律是本实验误差最大之处，待验证的 $I/I_0 \sim \cos^2 \theta$ 关系曲线（ $0 \sim \pi/2$ 和 $-\pi/2 \sim 0$ 各一条）为简单的线性关系，且两组数据对称，而许多人会测出椭圆形，建议当堂检验数据。

最后介绍实验中需要自己设计的部分（利用布儒斯特定律测定玻璃介质折射率），仅给出思路。调整起偏器角度，使得光线偏振方向与光学平台平面平行，即与入射面平行。这样一来，入射角恰为布儒斯特角时，反射光将完全消光。因此，找到反射光线最暗的角度即可。

3.2.25 单色仪定标和光谱测量

本实验操作较为简单，数据处理仅为绘图。实验室电脑还是很有年代感的 XP 系统，提供的 U 盘就像是在养蛊。推荐自己带一个 U 盘到实验室，或者用电脑登录邮箱来传输。

实验要求测量钠的主线系、漫线系、锐线系，钠原子能级存在精细结构，两个能级分别上下移动，故取双线波长的平均值。奇怪的是，在测完波长后，还需要借此“测出里德伯常数”。这个要求不得不说非常奇怪。由于轨道贯穿效应，钠原子能级存在量子数亏损。一般来说可以在里德伯常数已知的情况下，通过测量波长计算量子数亏损，复旦大学有一个实验就是这样要求的。然而一教的要求却是在给定量子数亏损的情况下计算里德伯常数，可量子数亏损又是从哪来的呢？所以实验这样安排完全没有道理。另外，实验共测量了四个波长，那么应该计算出四个里德伯常数再取平均吗？这似乎也不合理。总之，笔者认为这个实验的原理存在很大问题。

测量钠灯谱线时，要注意钠灯的外壳有两个开口，从背向仪器的开口中射出的光经过墙壁反射后可能造成干扰，需要遮挡。比较繁琐的步骤出现在红宝石（或滤光片）吸收谱的测量，如图 3.14，建议先不放入红宝石晶体，调节光路得到合适的溴钨灯发射光谱 I_0 ，后置入红宝石晶体，对准光路得到吸收后的溴钨灯光谱。

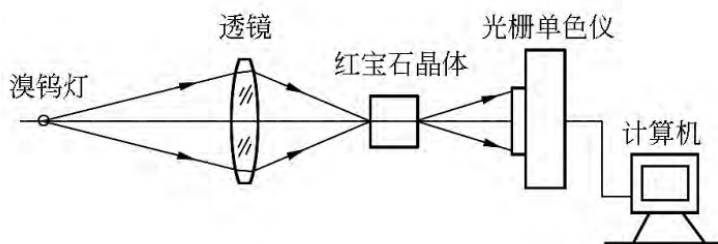


图 3.14: 测量红宝石晶体的吸收光谱的光路图

关于数据处理，实验室电脑导出的文本文档中波长只会保留到十分位，而实验时设置的步长为 0.0125 nm ，所以不能直接将数据复制到 Origin 等工具中绘图，而需要先设置初值和步长填充第一列。另外，据不同同学的反映，授课老师对吸收光谱的要求不同。一种要求是绘出 $I_0 - I$ 随波长变化的曲线，而另一种要求是绘出吸收度

$$\text{O.D.} = \lg \frac{I_0}{I} \quad (3.1)$$

的曲线。参考中国科学技术大学 物理学院 物理实验教学中心 2014 年 11 月发表在《物理实验》刊物上的论文《使用光栅单色仪测量红宝石晶体的吸收和发射光谱》，其中绘出的曲线为后者，故建议使用后者。

3.2.26 IYPT 科技创新实验

参见 3.1.26。

3.3 三级实验

相比于一级和二级，三级大雾新增了一项考核内容——期末考试。本节最后会简要介绍。

3.3.1 直流辉光等离子实验

本实验数据量过大，仪器精度堪忧，但是操作简单，只需要按照老师 PPT 上给的步骤来操作即可。本实验要求测量击穿电压和压强的关系，验证帕邢定律，实际上基本只能定性判断规律，即压强增大时，击穿电压先下降后上升。还有教学论文指出，压强较高时，由于电晕放电，测得的击穿电压可能会随压强升高而降低，笔者并未观察到此现象。

值得注意的是，双探针法测量电子温度的实验中，所作的图是 $I \sim V$ 曲线，但是其中要求的量是 dV_D/dI_D ，和斜率之间相差一个倒数。

参考数据：电子温度 $T_e \approx 5 \times 10^4\text{ K}$ 。

3.3.2 低真空获得与测量

本实验整体类似于搭积木，只需要照着老师搭好的实验仪器自己把零件组装到一起，实验室中有一个老师搭好的仪器，讲义上也有图片，都可以作为仪器搭建的参考。仪器搭建完成后，所做的基本就只有等待抽气然后读数了。

其中抽气所能达到的最低压强很大程度上取决于装置的密封性，因此数据不一样属于很正常的现象。

参考数据：抽气速率 $S \approx 7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

3.3.3 傅立叶光学

傅立叶光学的原理并不是特别困难，光学课本上就有介绍（当然大部分课堂不教，大家也不会去看）。主要是利用光的衍射效应来实现特定频率的分波。

操作上的困难主要来自于，用来衍射的光学元件是你自己在白纸上打孔制作的，如果孔径太大、孔的数量不对、孔的排布周期不对（间隔大小问题或者延伸方向不对）都可能导致实验失败。除非你非常认真听并照做（或者你用了上一个人遗留下来的正确纸带），否则操作可能会非常耗时。

按照 20 级学长的建议，可以先在平时把这个实验做了，防止期末考试暴毙。

3.3.4 椭偏仪

本实验操作非常简单，用时也较短，只是实验室的 XP 系统和计算软件都挺抽象的。软件应该是某个上古的助教留下的，稀里糊涂地就解出来个数据，但比较良心的是会教如何操作软件。这里提该实验的两个特点。

首先，此实验最难的部分在于调整激光器、平行光管和望远镜筒共轴。但由于光学器件多，调节起来非常的繁琐。而且一教的仪器有些都老的不行了，部分自由度处于不可控阻尼状态。建议首先试验上一个做实验的是否已经调整好了光轴，不要贸然乱调。

其次，此实验的相对误差相当大，可达 100%，但不要担心，这是系统误差而不是你的实验测量误差，不会影响你的分数，具体的得分还是取决于实验操作。笔者在相对误差 90% 的情况下拿到了 92 的分数，仅供参考。

3.3.5 液晶电光效应

本实验整体操作比较简单，属于机械性的操作，但数据较多。测量电光效应时，注意按要求检查仪器初始状态，需要将电压从零逐渐增大，重复测量三次，每次都需要校准透过率。时间响应特性的测量需要用到示波器，按指定步骤操作即可。

最后有一个选做实验，就是用液晶屏画图，可以自由创作，参考图 3.15，还是很有趣的。

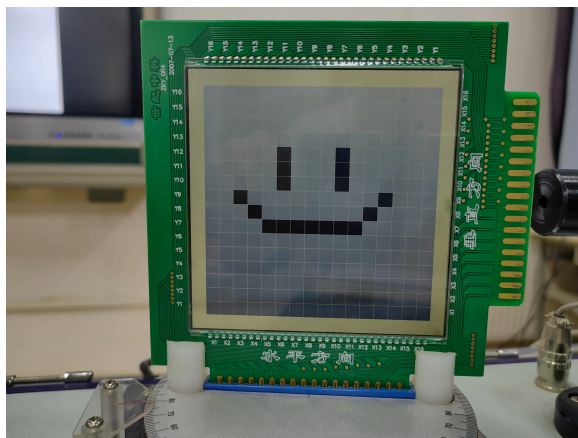


图 3.15: 液晶光阀实验

3.3.6 表面等离子激元共振

本实验数据量不大，而且实验原理中只需要知道一个公式：

$$n_p \sin \theta_{sp} = \sqrt{\frac{\operatorname{Re}(\varepsilon_m) n_s^2}{\operatorname{Re}(\varepsilon_m) + n_s^2}}$$

其中 n_p 为柱面棱镜的折射率（已知）， n_s 为液体的折射率。借助折射率已知的液体（水），通过测量共振角，即可算出 $\operatorname{Re}(\varepsilon_m)$ ，进而测量其他液体的折射率。 $\operatorname{Re}(\varepsilon_m)$ 应该是负数，想要具体了解可以参考实验原理。

本实验中还会用到分光计，不过大部分都是调好的，直接上手就能用。不过还是推荐验证一下是否是平的，因为笔者就遇到了没调平的情况，导致最后的数据有一定的偏差。

实验时注意液体不能加的太少，液面要超过入射光的高度。分光计的调节比较重要。整个实验没有什么容易出问题的点，操作正确的情况下，应该能很快完成。

3.3.7 全息光栅

挺好玩的一个实验。不写实验报告，甚至不需要交实验数据（因为根本就没有实验数据）。操作也比较简单，按部就班地按照指示来完成即可。如果全息光栅做出来的现象很好的话，甚至可以带走作纪念。要小心别被玻璃划伤。

全息光栅和三维全息两个实验操作要点基本相同，细节略有区别。

3.3.8 三维全息

需要搭建一个比较复杂的光路，通过光程有些许差别的两束光反射到感光底片上进行曝光，然后制作成全息底片。这个过程中还可以体验到暗房冲洗的乐趣。

但需要注意的是，此实验有非常多的可能导致失败，包括但不限于：

1. 光程差过大。在只有卷尺的情况下，必须通过丈量光程来尽可能减小两束光的光程差，否则会导致冲洗后无法正确成像。
2. 照度问题。讲义上会提到，参考光和成像光的亮度之比必须严格控制在一定范围内，否则成像效果会很差，也有可能失去一束光导致无法成像。
3. 曝光错误。曝光时长由一个定时快门控制，需要控制在一定时间内，否则欠曝和过曝都可能导致底片无法正确成像。

本实验更推荐在学期内完成，尽量不要留到考试！

3.3.9 单色仪定标与光谱测量

见 3.2.25。

3.3.10 激光散斑测量

笔者并不希望在本手册中加入过多主观评价，但对于激光散斑实验，必须加以批判（图 3.16 为笔者和一位学长以及一位同届同学的聊天记录）。此实验中，即使没有任何操作失误，所得结果也会与标准值有相当大的差距。笔者与许多同学交流过，他们无一例外得到了明显错误的结果。然而，从实际情况来看，该实验的老师对实验谬误视而不见。

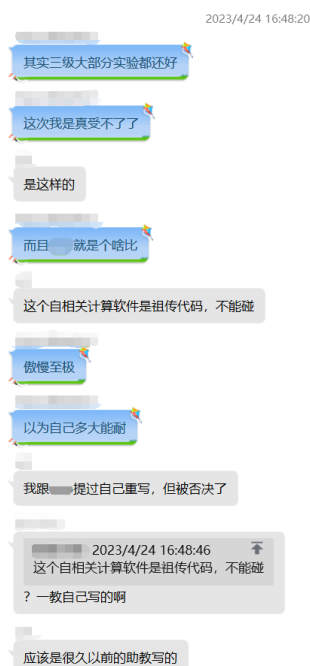


图 3.16: 激光散斑鞭尸

除了学长现身说法, 笔者也有一位同学在实验后仔细分析了所拍摄的照片, 不仅通过合理的数据处理方法得出了误差不足 2% 的结果, 还反推出实验室电脑中的程序采用了何种错误算法. 他详细分析了产生谬误的原因和解决方法, 通过邮件发送给了二教的老师, 结果也没有得到积极的回应.

实验处理数据所用程序至少有十几年了, 谬误如此明显, 可以想见这么多年应该有许多学生反映过, 然而问题至今没有解决. 实验所用氦氖激光器和 CCD 价格不菲, 使用如此昂贵的仪器, 却对实验抱有如此敷衍的态度. **和这样的虫豸在一起, 怎么能搞好教学呢!**

3.3.11 核磁共振

这个实验操作难度不高, 要测的数据也不多. 其频率计可以读到小数点后六位, 但是实际根本用不到这么精准, 感觉就是像用大炮打蚊子.

请注意, 氢元素核磁共振和氯元素核磁共振是有差别的, 因为前者考虑的是主要是电子磁矩耦合, 而后者是核磁矩耦合, 计算时不要弄错. **不要忘了记录永磁铁中心磁场强度!**

3.3.12 铁磁共振

本实验只需要照着讲义操作, 甚至不需要懂实验原理. 注意最后看李萨如图形的时候, 示波器要在 X-Y 模式, 不要在 Y-T 模式 (如果还不会操作示波器可以参考 3.1.13 节), 不然再怎么调也看不到实验现象.

朗德 g 因子 $g \approx 2$.

3.3.13 β 吸收

根据往年学长的建议, 非核学院的同学可以从 β 吸收 (β 吸收 1、 β 吸收 2)、 γ 射线能谱、卢瑟福散射实验中至少选取一个实验来做. 因为这三个实验都会用到多道分析仪, 这样考试考到

另外两个实验就相对容易一点.

3.3.14 γ 射线能谱

本实验操作简单, 注意听老师讲解, 按步骤操作即可. 实验要求当场处理数据, 如果发现数据有问题, 要及时问老师. 笔者做实验时就有同学测出诡异结果, 不知道仪器出了什么问题.

3.3.15 卢瑟福散射

本实验操作简单, 唯一比较坐牢的地方在于等待计数的时间太长. 此外, 实验讲义的数据处理部分讲得云里雾里、不知所云, 看得实在是令人迷惑, 给写报告增加了不少麻烦. 为减轻负担, 这里简述一下根据学长的实验报告中提取出来的基本数据处理步骤:

1. 首先拟合第一个实验中的 $P \sim N$ 关系, 得到截距 N_0 . 再从拟合关系中得到当 $N = 0.5N_0$ 时的压强 P , 以及此时射程 $R' = l_2$.
2. 利用附录 II 中的公式, 可以得到此时空气密度 ρ , 再利用不知道从哪里来的公式 (可以找下参考文献): 空气密度和射程成反比, 得到在标准大气压下的射程.
3. 套入讲义上给的“前人的经验公式”, 得到能量 E .

3.3.16 塞曼效应

笔者认为, 塞曼效应是一个非常好的实验. 很多同学在做三级大雾的同时应该在学原子物理, 而塞曼效应可谓是原子物理的重点内容. 你可以在现场通过调整磁场强度和观察方向, 亲眼观测到能级劈裂过程, 和不同能级光谱的偏振特性, 非常适合培养原子物理这门课的物理直觉.

操作上本实验并不困难, 光路调节也比较简单, 没有特别精细的操作, 只要按照实验室操作板的指示进行即可. 记得不要用手直接接触 (或通过磁强计的金属探头间接触碰) 高压汞灯/高压钠灯, 否则有触电或烫伤的危险.

另外值得提醒的一点是, 在用那个表 (应该是一个测磁场的表) 的时候记得把表的开关打开, 要不然没有读数.

3.3.17 氢氘光谱

本实验数据量小, 操作简单, 属于光栅光谱仪系列实验中最简单的一个, 推荐二级大物中选过单色仪定标和光谱测量实验的同学无脑选择.

整个实验唯一的难点就在调节狭缝, 但一般情况下上一个人已经帮忙调好了, 上手就能做. 大部分时间都在等仪器自动读数 (以及等老师讲实验室里的另一个实验——塞曼效应).

这里仅对实验讲义中要求的“将汞灯谱线测量数据与标准数据参考拟合”做一点提示, 其实就是直接以标准数据作纵坐标, 测量数据作横坐标进行线性拟合, 一般来说拟合的 $R^2 = 1$.

3.3.18 氦氖激光器原理与技术

本实验算是一个点鼠标实验. 只要稍加小心地把光路调整好, 然后按照操作板的指示进行实验即可. 很多数据采集是通过传感器连接电脑采集的.

注意在最后一个实验中,传感器的像素大小是 $28\text{ }\mu\text{m}$,所以有可能出现在取光斑大小极值时若干个点给出同样大小的数据.此时可以向你的助教指出这一点,并询问他如何处理(因为不同助教对此要求好像不太相同).

3.3.19 太阳能电池特性实验

本实验操作简单,就只需要不断地调参数和电池板,然后无脑测数据,称得上是傻瓜级别的实验.就是数据量较大,可能因此期末考试的时候删除了一部分需要测量的数据.

3.3.20 空气热机测试实验

这个实验操作比较简单,但原理存在问题,笔者认为需要进一步讨论.

实验要求测量不同冷热端温度时的热功转换值,作 $nA/\Delta T$ 与 T/T_1 的关系图,得到基本线性的关系,“验证卡诺定理”.事实上,卡诺定理给出的是热机的最大效率,理想热机才能达到该效率.而实验器材显然和“理想”不沾边,所以“验证卡诺定理”是毫无道理的.

另外还需要测量热机输出功率随转速的变化关系.根据网上查找到的教学论文的分析,同一加热功率下,随着摩擦力矩增大,转速降低,热端温度明显升高,温度差增加.输出效率先随着摩擦力矩的增大而增加,达到峰值后,由于转速随着负载力矩的增大而急剧下降,便导致输出效率下降.然而并没有人做出令人满意的结果,教学论文也没有给出靠谱的数据,不知道是谁设计的实验.

实验整体难度不大,但需要耐心,因为想要确定热机在某个温度下已经稳定工作是很不容易的(事实上,如果要严格达到正确的工作温度并稳定工作,每调节一次温度可能要等半小时,所以大家一般都是随便等等看示数不怎么剧烈跳动了就开始记录).记录数据的时候需要用手机拍摄电脑屏幕,然后记录下同一时刻的各个参数.数据处理略有点麻烦.

3.3.21 微波光学实验

跟一般的光学实验差距不大,照着手册操作就行.当然,微波光学的实验器材远比真正的光学器材耐造,所以也不用担心误操作污损、毁坏实验器材.

数据处理略需注意.第一个波动性质实验中由于有振荡衰减的性质,自编代码来作图会比较困难,建议采用成熟的制图软件;折射率测定部分似乎有些困难,且因为角度控制问题误差会非常大.整体难度尚可,做得快的话 40 分钟可以结束.

3.3.22 风力发电实验

中规中矩的实验,测量的数据量中等(不算多),但是写实验报告的时候需要非常多的实验原理抄写.数据处理也比较简单,善于写电子报告的同学可以考虑选一选.

3.3.23 关于期末考试

期末考试是在没做过的实验中随机抽取一个作为考试项目.考试前的一周,会发短信通知考试题目在某四个实验中抽取,此时在 pems 系统上的“考试项目”中能够看到其讲义.考试时间一般和所选择的课堂的上课时间相同.考试前一个小时,会再次发短信通知具体的实验项目和实验室.

考试会发一张卷子，按照其中要求的内容来做即可，部分数据量较大的实验会删去一部分实验内容。其中，需要测量的数据填写在试卷上的表格里，如果题目要求作图，也会专门发带点格的纸（不是很懂为什么不直接发坐标纸）。实验最后会有几道思考题，在准备时可以参考讲义上所给的思考题（考试的题目可能会有一部分来自于讲义的思考题）。

此外，大雾考试管理比较混乱，大部分情况下可以使用手机，但也有部分老师不允许。

一段时间后，可以在“考试项目”中查到考试成绩。

由于是在没做过的实验中选择实验来考试，建议在选实验时注重平时实验和考试之间的平衡，减少期末考试的恶心程度。当然，也不可能把所有不好做的实验都在平时做掉，即使平时做了很多，考试也可能被恶心到，那只能怪运气不好了。另外，也有人倾向于平时轻松考试看命。各位可以权衡利弊，决定自己的策略。

跋

序言中写道：“大雾实验见证了几代科大人的成长，虽然每一届都有同学积极参与相关讨论，却少有人留下真正能帮助后辈的建议，我们必须打破现状。”

然而，这样的工作真的能留存下去，实实在在地帮到后面的同学吗？

在编写此文档的时间里，我查阅到了很多前辈的资料，虽多是 PPT 形式的零碎介绍，但也不乏成文的巨作。2018 年 CUPT 校队前辈们用 174 页的文档事无巨细地介绍了 CUPT/IYPT 的仪器搭建、数据采集与处理、数值计算与模拟、答辩规范等问题，甚至精细到一教有哪 74 类仪器可供使用。然而仅仅三年之后，这份文档就被扫进了历史的尘埃，未曾有第二次的更新，也鲜有后辈问津。有关的问题和质疑仍然在死循环一般被提起、讨论、遗忘，然后再被提起。

我们希望这份文档是常新的，趁手的，不是刻板教条的说教，也不是自我感动的祸枣灾梨。能像飞跃手册、数学基础课的往年卷，抑或是 SJTU 生存手册一样长久地焕发生命力。这种知识共享和互助的精神与心愿，是一直存在的，只是需要有人站出来带领大家。

《大雾实验不完全指北》之所以不完全，就在于这份指北会一直更新，所以希望各级的同学为我们提出批评和建议，也希望新的同学加入我们，让这份文档容纳更多的思想和经验。

物理学院 2021 级 廖荣

2023 年 3 月

参考文献

- [1] 请文明用语. 大学物理-基础实验[EB/OL]. (2020-03-27) [2022-12-11]. <https://icourse.club/course/12716/#review-19811>.
- [2] 国家技术监督局. 有关量、单位和符号的一般规则[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [3] 国家技术监督局. 物理科学和技术中使用的数学符号[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [4] 中国国家标准化管理委员会. 标点符号用法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 10-11.
- [5] 中国国家标准化管理委员会. 测量不确定度评定和表示[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [6] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 7 版. 北京: 机械工业出版社, 2017.