

大雾实验不完全指北

(试读版)

大雾指北项目组

成员（按姓氏笔画排序）

王卢逸 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

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“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，并解释了不确定度的意义；第三章介绍了一、二级大雾的各个实验，将来或许会考虑增加高级实验。受疫情、开学考以及编者摸鱼等因素影响，本手册目前仍未完成编写，但总算是在 22 级开始实验选课之前完成了一个够用的试读版。正式的第一版计划在暑假前择期发布。

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的建议；感谢 20 级陈翔学长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。

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 3 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 实验教学的问题	1
1.1.3 关于不确定度	2
1.1.4 为什么要做大雾?	2
1.1.5 总结与展望	2
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	4
1.2.3 L ^A T _E X 介绍	4
1.2.4 数据处理工具	9
1.2.5 绘图工具	12
1.2.6 报告格式	12
第 2 章 不确定度概述	15
2.1 不确定度的计算	15
2.1.1 公式总结	15
2.1.2 最小二乘法	18
2.1.3 示例	19
2.2 不确定度的意义	21
第 3 章 各实验介绍	27
3.1 一级实验	27
3.1.1 重力加速度的测量	27
3.1.2 质量和密度的测量	28
3.1.3 钢丝杨氏模量	28
3.1.4 显微镜的使用	28
3.1.5 衍射实验	29
3.1.6 磁力摆	29
3.1.7 数字体温计	29
3.1.8 切变模量	30
3.1.9 固体比热	31

3.1.10	匀加速运动	31
3.1.11	声速测量	32
3.1.12	半导体温度计	32
3.1.13	示波器的使用	32
3.1.14	粘滞系数	34
3.1.15	表面张力	34
3.1.16	光电效应	35
3.1.17	密立根油滴	35
3.1.18	硅光电池	35
3.1.19	RGB 配色	35
3.1.20	分光计	36
3.1.21	干涉法测微小量	36
3.1.22	透镜参数测量	37
3.1.23	直流电源特性	37
3.1.24	整流滤波	38
3.1.25	生活中的物理实验	38
3.1.26	IYPT 系列实验	38
3.2	二级实验	40
3.2.1	对切透镜的光学实验	41
3.2.2	测量金属丝的杨氏模量和泊松比	41
3.2.3	接触角仪	41
3.2.4	医学物理实验	42
3.2.5	超声系列实验	42
3.2.6	空气阻尼测定实验	42
3.2.7	数字表改装	42
3.2.8	双臂电桥	42
3.2.9	双光栅实验	43
3.2.10	光纤传导器	43
3.2.11	凯特摆	44
3.2.12	介电常数	44
3.2.13	传感器	44
3.2.14	F-H 实验	44
3.2.15	刚体转动惯量	44
3.2.16	导热系数	44
3.2.17	非平衡电桥	45
3.2.18	交流谐振电路	45
3.2.19	摄谱	45
3.2.20	电子小制作	45
3.2.21	霍尔效应	45
3.2.22	磁阻效应	46
3.2.23	迈氏干涉仪	47
3.2.24	偏振光	47

3.2.25 单色仪定标和光谱测量	47
3.2.26 IYPT 科技创新实验	47
跋	49
参考文献	51

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

大雾实验是怎么回事呢？实验相信大家都很熟悉，但是大雾实验是怎么回事呢？下面就让小编带大家了解一下大雾实验吧。大雾实验，其实就是大学物理实验。同学们可能会很惊讶，大学物理实验怎么会是大雾实验呢，但是在南七技校，事实就是这样，小编也感到非常惊讶。这就是有关于大雾实验的事情了，大家对于大物实验有什么想法呢，欢迎大家通过邮箱跟小编交流哦！

中国学技术大学的大雾实验，可以说是有口皆碑的。同学们虽然对大雾实验同样赞（kou）不（zhu）绝（bi）口（fa），但关注点不尽相同。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？

众所周知，几乎所有专业的同学都必修一、二级大雾。化、生等专业的同学或许有所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 实验教学的问题

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。实验课会限制优秀率，8 人的实验课一般只能有 3 人得到 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。问题在于，不同的老师或助教评分标准不尽相同。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。¹某些老师有时甚至会给 80 以下的分数。高分高不到哪去，低分

¹ 连拿两次 82 是真抽象

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）。

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，而且由于不确定度的计算方法本来就缺乏统一的标准，网络资源常常互相矛盾。

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。

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 \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.

我该怎么办?

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, 笔者本人并没有参与, 但笔者同学认为此项目相当麻烦, 事实上给分也并不好 (一等奖相当困难), 推荐程度远远低于 CUPT. 关于本比赛的政策不甚明确, 如有意向建议咨询老师.

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. **实验结束后一定要检查仪器是否归位!** 不知道怎么处理数据的话, 除了向学长求助, 也可以尝试找找一教发的论文. 题目做不出来, 标准答案总归是会抄的.

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的数据没记, 还需要在群里问, 那也别怪大雾屑了 (图 1.1).

1.2.3 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², 同学们可以使用 Word、

² 不包括五、六级大雾



图 1.1: 警 钟 长 鸣

Markdown 或 \LaTeX 等工具完成电子版报告. 用 Word 写报告比较方便, 相比 \LaTeX 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 \LaTeX 也是不错的选择.

关于 Word

Microsoft Word 是使用最广泛的文字处理器. 有些 \LaTeX 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 MiK \TeX . \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, MiK \TeX 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 MiK \TeX 都集成了一个简单的 \LaTeX 源代码编辑器 \TeX works, (\TeX Live 的 Mac 版本 Mac \TeX 则集成了类似的 \TeX Shop). 用户在安装完毕后, 可直接使用 \TeX works (或 \TeX Shop) 编写和编译 \LaTeX 源代码. \TeX works 功能较为简单, 笔者更推荐功能丰富的 \TeX studio.

\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.

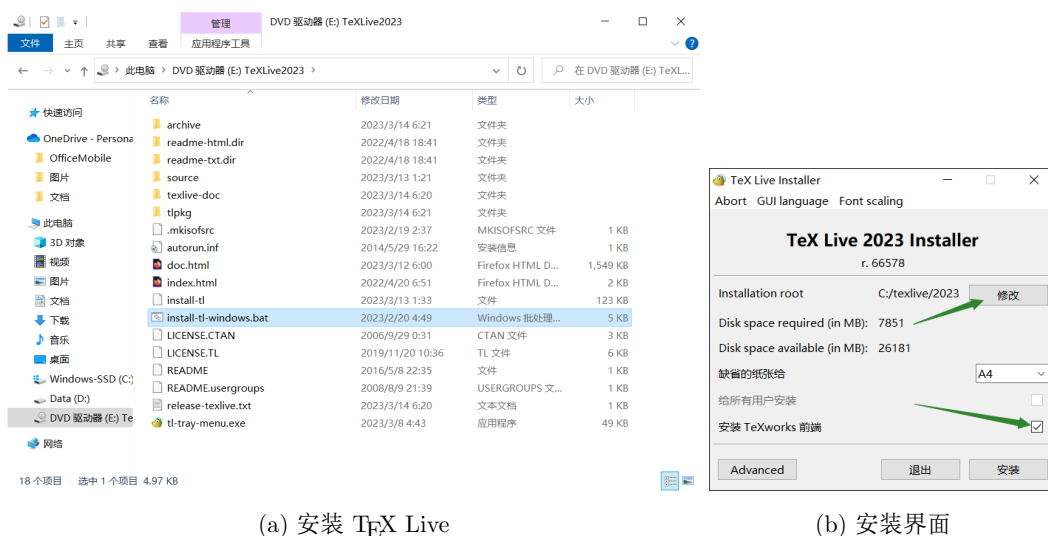
就近选择科大开源软件镜像站, 访问 <https://mirrors.ustc.edu.cn/CTAN/systems/texlive/Images/>, 点击 `texlive2023.iso` 进行下载. 实测在校园网环境下下载只需一分钟左右. 下载完成后打开此 iso 文件, 会得到一个新的硬盘区, 找到 `install-tl-windows.bat`, 双击运行.

运行后会得到图 1.3b 所示的画面, 可以更改安装选项. 首先可以取消选中安装 \TeX works 前端; 另外可以自定义安装位置, 不建议安装在默认的 C 盘. 设置完成后点击“安装”, 耐心等待安装结束即可.

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 1.2: 下载 T_EX Live 光盘镜像



(a) 安装 T_EX Live

(b) 安装界面

图 1.3: T_EX 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.

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.³在 cmd 执行

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

例如, 输入以下命令

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

³ 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.

敲一下回车, 就可以调出《一份 (不太) 简短的 \LaTeX 2 ϵ 介绍》. 这是一份真正意义上的 \LaTeX 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《 \CTEX 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 tabularray
```

即可调出 `tabularray` 宏包的说明文档. `tabularray` 是基于 \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 \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 \LaTeX 学习, 笔者推荐以下参考书:

1. 《 \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 \LaTeX 》, 吴康隆, 人民邮电出版社. 与《 \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. 《 \LaTeX 2 ϵ 插图指南》, Keith Reckdahl 著, 王磊、盛文博译. 这是一份详尽的 \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 \LaTeX 教程之外, 还可以面向源码学习. 许多用 \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 VSCode 编写 \LaTeX 文档的配置

\LaTeX 是一种语言, 因此选择好的编辑器是重要的. VSCode 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. VSCode 也可用于编写 \LaTeX 文档, 使用 VSCode 撰写编译 \LaTeX 的最大的困难在于环境配置繁琐, 以下介绍 Windows 系统中 VSCode 的环境配置.⁴

1.Sumatra 的下载与安装

由于 \LaTeX 的编译结果是 pdf, 要想在 VSCode 中实时看到编译之后的结果, 就需要安装 pdf 阅读器. 这里推荐将 SumatraPDF 作为外置阅读器, 便于实现双向查找. 安装包下载网址为 <https://www.sumatrapdfreader.org/download-free-pdf-viewer>.

⁴ 感谢 21 级少院刘奕昕同学的测试

2.VSCode 的配置

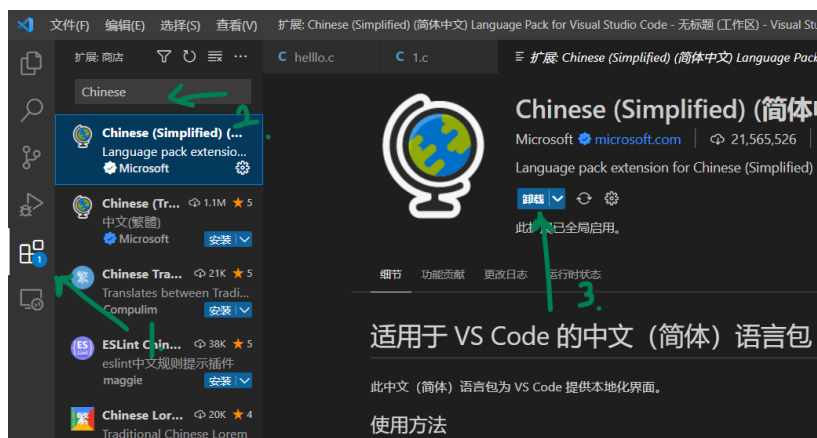


图 1.4: 安装简体中文插件

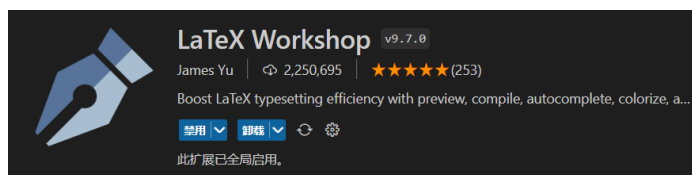


图 1.5: 安装 LaTeX Workshop 插件



图 1.6: 搜索 json

VSCode 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 LaTeX 的支持插件 LaTeX Workshop。步骤与安装简中插件类似。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⁵。首先在 VSCode 中按 F1 打开搜索栏，输入 json，点击“打开用户

⁵ 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。

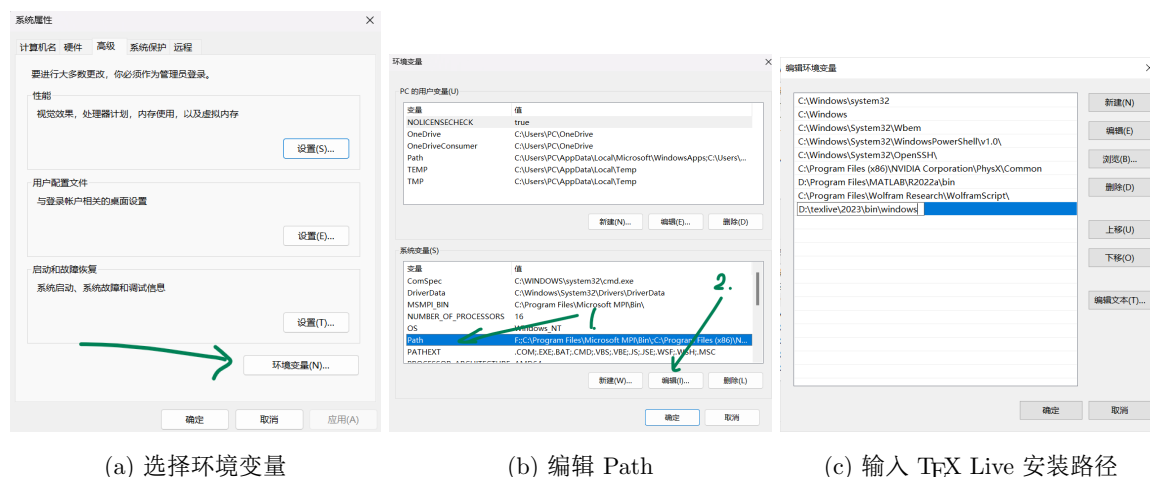


图 1.7: 编辑环境变量

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），复制到 `settings.json` 中。注意按提示修改你自己的 VSCode 和 SumatraPDF 安装路径！然后打开电脑设置中的“编辑系统环境变量”，选择环境变量，点击下排的 Path 变量，进入后点击“新建”并输入你的 T_EX Live 安装路径。

1.2.4 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 1.8: 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。

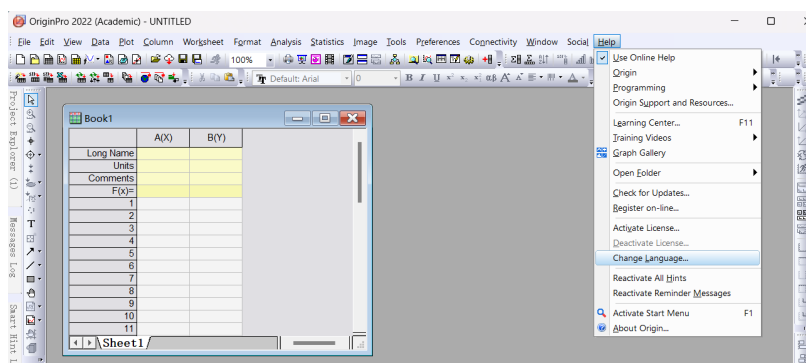
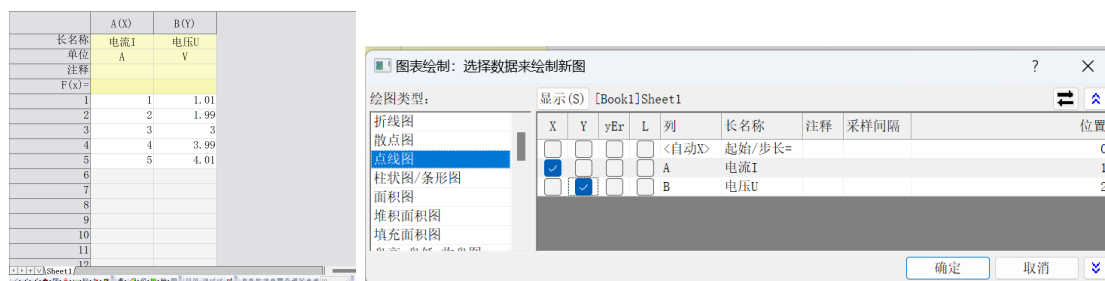


图 1.9: 将语言切换成简体中文

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 1.10: 用 Origin 绘制点线图或散点图

打开 Origin 软件后，你会看到如图 1.10a 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 1.10b 的窗口，根据需求选择各物理量对应的坐标轴。图 1.10b 中，我们选取电流 I 为 X 轴，电压 U 为 Y 轴。此后点击“确定”。

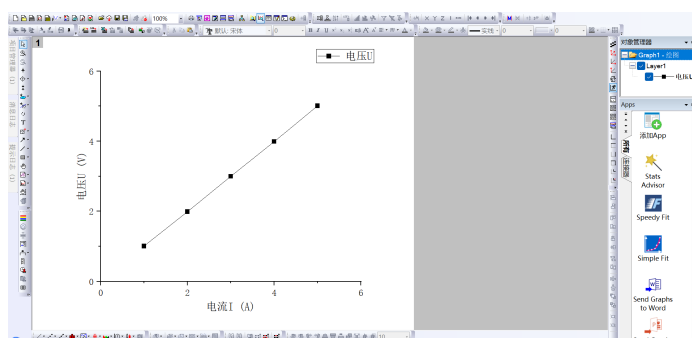


图 1.11: 作出图像

此时，Origin 会自动创建一个“Graph1”的文件，如图 1.11 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 1.12。



图 1.12: 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 1.13 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)，以及回归系数 (Pearson’s r)，这些概念我们会在第二章中提到。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。

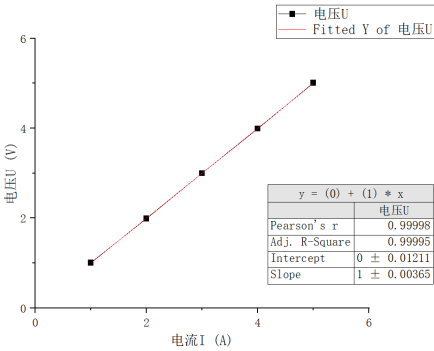


图 1.13: 输出回归结果

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)”⁶，可以“平滑地”将各散点连接起来。

利用 Python 处理数据和绘图

本部分尚未完成，请等待更新。

⁶ 如果你对样条相关的内容感兴趣，可以阅读一些讲解数值分析的书籍，本指南并不会展开介绍。

1.2.5 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（特别是电学实验），这里为大家介绍一款好用的绘图软件。

AxGlyph 的获取与使用

本软件的正版可以在 <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 1.14 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。

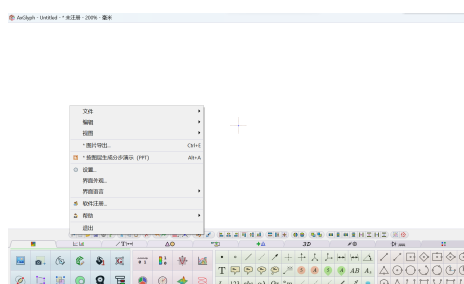


图 1.14: 注册 AxGlyph

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 1.15 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。

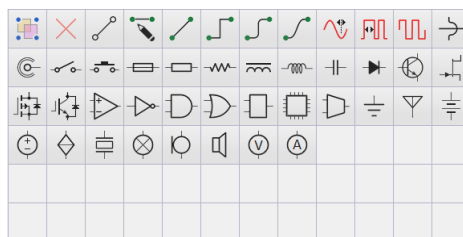


图 1.15: AxGlyph 内置快捷方式示意图

1.2.6 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。⁷

⁷ 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。

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、学习某种可以减小误差的技巧、观察/验证某种现象、测量某器件的某个参数等等.

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讲数据处理的要求,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.

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 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 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, Γ) 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。⁸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⁹，使用中文输入法可以很方便地打出。L^AT_EX 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 xeCJK 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，我们通常使用全角颞化符（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颞化符，但也有很多输入法直接输入的是普通的颞化符（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¹⁰。

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 L^AT_EX 排版，中西文之间会自动留有一定间距，但数值和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。¹¹

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。

⁸ 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。

⁹ 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。

¹⁰ 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。

¹¹ 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

2.1.1 公式总结

测量不确定度分为 A 类不确定度（统计不确定度）和 B 类不确定度（非统计不确定度）。A 类不确定度是由统计分析方法评定的不确定度，而 B 类不确定度是不按统计分析方法评定的不确定度。下面分别介绍两种不确定度的计算方法和不确定度合成及传递的公式。

必须指出，科大物理实验教学中心要求的不确定度算法与国家标准有所不同。这里介绍的是实验教学中心的算法。

A 类不确定度

不确定度的 A 类评定根据的是频率分布。对物理量 x 进行 n 次等精度测量，得到测量列 x_1, \dots, x_n 。我们通常假设测量值正态分布，则该测量列的 A 类标准不确定度的计算公式为：

$$u_A = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (2.1)$$

式中 n 为总测量次数， x_i 为第 i 次测量值， \bar{x} 为该测量列所有测量值的平均值。 σ_x 实际上就是测量列的标准差（样本标准差），是单次测量标准差（总体标准差）的一个良好估计值； u_A 则是测量列平均值 \bar{x} 标准差的一个良好估计值。A 类标准不确定度乘上一个包含因子 t_p ，就得到 A 类扩展不确定度：

$$U_A = t_p u_A \quad (2.2)$$

U_A 的置信概率为 p 。 t_p 与测量次数 n 以及所要求的置信概率 p 有关，它其实就是自由度为 $n-1$ 的 t 分布的上 α 分位数 $t_{n-1}(\alpha)$ ，其中 $\alpha = (1-p)/2$ 。常用的 t 因子数值可从表 2.1 查出。若进行了 n 次测量，要求的置信概率为 p ，则应查找 $\nu = n-1$ ， $\alpha = (1-p)/2$ 对应的 t 因子值。实验课一般要求取 $p = 0.95$ ，即 $\alpha = 0.025$ 。

B 类不确定度

不确定度的 B 类评定根据的是先验分布。实验中可能无法多次测量，或者仪器灵敏度较低使得多次测量结果完全相同，此时就无法采用统计的手段。B 类不确定度 u_B 的计算基于 B 类极限不确定度 Δ_B ，后者由两部分组成：仪器的允差（全称允许公差） Δ_{app} 与估计误差 Δ_{est} 。

仪器的允差 Δ_{app} 表征同一规格型号的合格产品，在正常使用条件下，可能产生的最大误差。该数据一般可直接从测量仪器上读取，表 2.2 给出一些常用仪器的允差，如有未涉及到的，

表 2.1: t 分布表

$\alpha \backslash \nu$	2	3	4	5	6	7	8	9
0.1585	1.322	1.198	1.142	1.111	1.091	1.077	1.067	1.059
0.05	2.920	2.353	2.132	2.025	1.943	1.895	1.860	1.833
0.025	4.303	3.182	2.776	2.571	2.447	2.365	2.306	2.262
0.005	9.925	5.841	4.604	4.032	3.707	3.499	3.355	3.250

应读取标定值或询问老师；在仪器有标定的情况下，若标定值与该表不一致，应以标定值为准。此外，电表、电阻箱、标准电阻的允差一般为（电表、电阻箱的）读数或（电阻的）标称值 \times

表 2.2: 部分仪器的允差^[5]

仪器	量程	最小分度值	Δ_{app}
钢板尺	150 mm	1 mm	0.10 mm
	500 mm	1 mm	0.15 mm
钢卷尺	1 m	1 mm	0.8 mm
	2 m	1 mm	1.2 mm
游标卡尺	125 mm	0.02 mm	0.02 mm
	300 mm	0.05 mm	0.05 mm
螺旋测微仪	0 ~ 100 mm	0.01 mm	0.004 mm
水银温度计	0 ~ 100 °C	1 °C	1 °C
秒表		0.01 s	0.01 s

等级%，等级为 5.0、2.0、1.0、0.5、0.1 等，可从仪器上读取。你或许看过有些资料中“模拟式仪表”和“数字式仪表”的允差算法，与此有所不同。关于这一点，笔者并未找到可靠的参考资料，且未在实验中遇到过这个问题，如果你遇到了，以实验老师的要求为准。

估计误差 Δ_{est} 一般是仪器精度之外的原因造成的误差。例如，拉伸法测杨氏模量实验中，测量钢丝长度及反射镜与标尺之间的距离时，很难将刻度线对准待测物，这时就要考虑估计误差；电路实验中常出现灵敏度不足的问题，即当变阻箱或其他可调节的元件变化小到一定程度时，电路对其反应难以观察，这时可根据具体情况选取估计误差；人用秒表测量时间时，由于实验者开始和结束计时需要一定反应时间，一般取 $\Delta_{\text{est}} = 0.2 \text{ s}$ 。

由 Δ_{app} 和 Δ_{est} 相互独立，可计算出 B 类极限不确定度 Δ_B ¹：

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{\text{app}}^2 + \Delta_{\text{est}}^2}$$

大部分情况下， Δ_{app} 和 Δ_{est} 中的一个可以忽略。

测量值的误差落在 $[-\Delta_B, \Delta_B]$ 之间的概率为 1。计算出 Δ_B ，就相当于确定了误差的“取值范围”。此时再根据不确定度的先验分布，就可以计算出 B 类标准不确定度 u_B ²：

$$u_B = \frac{\Delta_B}{C}$$

¹ 事实上正态分布才能这样算

² 一些教材上将 B 类扩展不确定度也记为 u_B ，其公式为 $u_B = k_p \Delta_B / C$ 。在具体计算时只需要知道计算式内容即可，对于命名的问题不必深究。

其中 C 为一个与误差分布方式有关的常数, 称为置信系数³. 对于正态分布, $C = 3$; 对于三角分布, $C = \sqrt{6}$; 对于均匀分布, $C = \sqrt{3}$. 在常用仪器中, 除游标卡尺为均匀分布外, 其他均为正态分布.

将标准不确定度 u_B 乘上一个包含因子 k_p . 我们就得到了 B 类扩展不确定度:

$$U_B = k_p u_B \quad (2.3)$$

不同分布 k_p 与 p 的关系如下:

- 正态分布: $k_{0.90} = 1.65$, $k_{0.95} = 1.96$, $k_{0.99} = 2.58$;
- 均匀分布: $k_p = \sqrt{3}p$;
- 三角分布: $k_p = \sqrt{6}(1 - \sqrt{1-p})$.

常用的 k 因子值可以直接查表 2.3.

表 2.3: 不同分布的包含因子 k_p 与置信概率 p 之间的关系

分布 \ p	0.500	0.577	0.650	0.683	0.900	0.950	0.955	0.990	0.997
正态分布	0.675	0.801	0.935	1.000	1.650	1.960	2.000	2.580	3.000
三角分布	0.717	0.862	1.000	1.064	1.675	1.901	1.929	2.204	2.315
均匀分布	0.877	1.000	1.127	1.183	1.559	1.645	1.654	1.715	1.727

合成不确定度

对于直接测量的物理量, 根据前面的计算公式可以得到 u_A 与 u_B , 则该物理量的测量值的合成不确定度为

$$U_p = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{(t_p u_A)^2 + (k_p u_B)^2} \quad (2.4)$$

这是实验教学中心要求的算法, 许多资料也有提及. 然而, A 类评定和 B 类评定只是两种不同的评定方法, 将两种方法评定得到的不确定度“合成”是没有依据的, 标准文献中从未出现这种做法, 笔者也不清楚这种做法从何而来. 读者不必深究, 按要求完成任务即可.

不确定度的传递

在实际测量时, 有许多物理量无法直接测得, 需要通过一些公式计算得到. 对于这些间接测量的物理量的不确定度, 我们需要利用不确定度传递公式来求得.

不确定度传递的公式是

$$U_W = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial W}{\partial w_i} U_{w_i} \right)^2} \quad (2.5)$$

这里只考虑了各测量量独立的情形. 这个公式可能有些难以理解, 可以参看下一节的示例内容. 表 2.4 给出一些较常用的不确定度传递公式.

许多文献将这里所说的“不确定度传递公式”称为不确定度合成公式.

³ 这是大雾教材的说法, 不建议采用. 统计学中的置信系数并不是这个意思.

表 2.4: 常用不确定度传递公式

函数表达式	不确定度传递公式
$W = ax \pm by$	$U_W = \sqrt{a^2 U_x^2 + b^2 U_y^2}$
$W = m \frac{x^a y^b}{z^c} (m, a, b, c \in \mathbb{R})$	$\frac{U_W}{W} = \sqrt{a^2 \left(\frac{U_x}{x}\right)^2 + b^2 \left(\frac{U_y}{y}\right)^2 + c^2 \left(\frac{U_z}{z}\right)^2}$
$W = \sin x$	$U_W = \cos x U_x$
$W = \ln x$	$U_W = \frac{U_x}{x}$

有效数字及最终结果的表示

有效数字是实验中实际能够测量到的数字, 包括最后一位估读的数字 (如果有的话). 当然, 这是对于直接测量量而言的, 而对于间接测量量, 其有效数字位数与运算的方法有关. 对于加减运算, 由最大不确定度分量决定; 而对于乘除运算, 则是由最少有效数字分量决定. 在运算过程中, 可以视情况多取一位有效数字.

测量的最终结果通常表示为

$$x = \hat{x} \pm U_x \quad (p = 0.95)$$

而测量值 \hat{x} 的有效数字位数取决于其不确定度 U_x . 不确定度通常只取一位有效数字, 当首位数字为 1 或 2 时, 也可取两位有效数字. 测量均值及不确定度的取舍均采用四舍六入五凑偶.

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, 2.2 节中会解释原因.

大雾实验中一般只会涉及最简单情况, 即一元线性回归. 一元线性回归的模型为

$$y = b + kx + e \quad (2.6)$$

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

$$\hat{y} = \hat{b} + \hat{k}x, \quad (2.7)$$

斜率的最小二乘估计为

$$\hat{k} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2.8)$$

截距的最小二乘估计为

$$\hat{b} = \bar{y} - \hat{k}\bar{x}, \quad (2.9)$$

而皮尔逊相关系数 (回归系数) 定义为

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2)(\overline{y^2} - \bar{y}^2)}}, \quad (2.10)$$

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

$$u_k = \hat{k} \sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}}, \quad (2.11)$$

其中 r 为回归系数. 截距 b 的标准不确定度为

$$u_b = \sqrt{x^2} u_k, \quad (2.12)$$

二者的展伸不确定度为

$$U_k = t_p u_k, \quad U_b = t_p u_b, \quad (2.13)$$

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.

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

下面我们借二级大雾中的“测量金属丝的杨氏模量和泊松比”中杨氏模量的不确定度计算过程, 全面展示一下计算不确定度的方法 (虽然这个实验并不要求计算不确定度). 数据是瞎编的, **仅供参考, 请勿照搬**.

表 2.5: 桥电压、右焊点位置与砝码总质量的关系

砝码总质量 m/g	桥电压 U_g/mV	右焊点位置 l/mm
0.00	0.000	18.787
100.04	0.017	18.966
199.98	0.032	19.133
299.93	0.046	19.342
399.79	0.063	19.515
499.64	0.086	19.718
599.53	0.108	19.912
699.37	0.122	20.121

表 2.6: 康铜丝的直径和有效长度

测量次数	1	2	3
直径/mm	0.202	0.198	0.200
有效长度/cm	120.22	120.29	120.24

桥电压、右焊点位置与砝码总质量的关系如表 2.5；桥电阻的标称值为 $51.00\ \Omega$ ；康铜丝直径 D 和有效长度 L 的原始数据如表 2.6；电桥分压的测量值为 $U_{AC} = 0.388\ \text{V}$ ；电桥平衡时电阻箱的阻值 $R_s = 13.29\ \Omega$ 。

由表 2.6 中数据可得， $\bar{D} = 0.200\ \text{mm}$ ， $\bar{L} = 120.25\ \text{cm}$ ，标准差分别为

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (D_i - \bar{D})^2}{3-1}} = 0.002\ \text{mm}, \quad \sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (L_i - \bar{L})^2}{3-1}} = 3.61 \times 10^{-2}\ \text{cm}.$$

千分尺允差为 $0.004\ \text{mm}$ ，故 $\Delta_D = 0.004\ \text{mm}$ ；钢卷尺允差为 $0.12\ \text{cm}$ ，测量康铜丝长度时不易将待测物与刻度对齐，故取估计误差 $0.1\ \text{cm}$ ，则

$$\Delta_L = \sqrt{0.12^2 + 0.1^2}\ \text{cm} = 0.16\ \text{cm}.$$

由上可知

$$U_L = \sqrt{\left(t_p \frac{\sigma_L}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(k_p \frac{\Delta_L}{C}\right)^2} = \sqrt{\left(4.303 \times \frac{0.0361}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(1.960 \times \frac{0.16}{3}\right)^2}\ \text{cm} = 0.14\ \text{cm},$$

$$U_D = \sqrt{\left(t_p \frac{\sigma_D}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(k_p \frac{\Delta_D}{C}\right)^2} = \sqrt{\left(4.303 \times \frac{0.002}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(1.960 \times \frac{0.004}{3}\right)^2}\ \text{mm} = 0.006\ \text{mm}.$$

对 $m \sim l$ 关系进行最小二乘拟合⁴，得

$$\hat{k}_1 = 524.19\ \text{kg/m}, \quad u_{k_1} = 6.20\ \text{kg/m}$$

从而 $U_{k_1} = t_p u_{k_1} = 2.447 \times 6.20\ \text{kg/m} = 15.2\ \text{kg/m}$ 。由杨氏模量的理论式

$$E = \frac{4gLk_1}{\pi D^2}$$

两边取自然对数后再取全微分（这一步不需要写在报告上）得

$$\frac{dE}{E} = \frac{dg}{g} + \frac{dL}{L} + \frac{dk_1}{k_1} - 2\frac{dD}{D}$$

故

$$E = \frac{4gLk_1}{\pi D^2} = \frac{4 \times 9.7947 \times 1.2025 \times 524.19}{\pi \times (0.200 \times 10^{-3})^2}\ \text{Pa} = 1.97 \times 10^{11}\ \text{Pa},$$

$$\begin{aligned} \frac{U_E}{E} &= \sqrt{\left(\frac{U_g}{g}\right)^2 + \left(\frac{U_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{U_{k_1}}{k_1}\right)^2 + 4\left(\frac{U_D}{D}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{U_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{U_{k_1}}{k_1}\right)^2 + 4\left(\frac{U_D}{D}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{0.14}{120.25}\right)^2 + \left(\frac{15.2}{524.2}\right)^2 + 4 \times \left(\frac{0.006}{0.200}\right)^2} \\ &= 0.067, \end{aligned}$$

$$U_E = 0.067 \times 1.97 \times 10^{11}\ \text{Pa} = 0.13 \times 10^{11}\ \text{Pa}.$$

最终结果为

$$E = (1.97 \pm 0.13) \times 10^{11}\ \text{Pa}.$$

⁴ 显然 m 的误差远小于 l ，所以严格地说这里 m 和 l 的地位应该交换。不过实验要求就是这样，不必较真。

这里重力加速度参考值为 $g = 9.7947 \text{ m/s}^2$ ，其不确定度忽略不计。

思考：泊松比的理论式为

$$\mu = \frac{2RLk_2}{U_{AC}R_s} - \frac{1}{2}$$

其中 k_2 为 $U_g \sim l$ 直线的斜率。如何计算泊松比的不确定度？假设桥电阻、电阻箱、电压表的等级均已知。

2.2 不确定度的意义

本部分尚未完成，请等待更新。

各实验介绍

本章将给出一、二级大雾中常见问题的解决方法以及各实验的推荐程度。需要说明的是，对一个实验的评价很大程度上也取决于一教老师们与各实验助教对实验的具体组织与安排，因此本部分内容仅作参考。同时，本部分给出的策略主要面向想把实验混过去的同学，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。

需要注意的是，部分实验讲义属于长时间未更新的状态，比如可能会在实验讲义里看到往年入门测和出门测的二维码，此时直接无视该二维码、完成系统上的出入门测即可；或者是部分实验要求和现行的实验要求不一致、或是不同助教之间的要求不一致的情况，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 2022 年的大物实验课程内容所编写，如果与最新的要求有出入，也请**以最新的实验要求为准**！

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。大雾讲义和教材上给了一个奇形怪状的周期公式，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。

实验可能要求分别测量绳长和小球直径，也可能要求直接测量摆长，以老师要求为准。

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. 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.
3. 不要为了节省时间而在 N 个周期结束后继续数 N 个周期,空气阻尼的影响会积累,正确做法是重新起摆.
4. 计算不确定度时,钢卷尺允差取 0.12 cm .

合肥地区重力加速度参考值: $g = 9.7947\text{ m/s}^2$.

3.1.2 质量和密度的测量

推荐本实验. 本实验主要分为四个部分. 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

推荐本实验, 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拟合量 (即 M) 的不确定度. 具体计算方法参考第 2 章最小二乘法部分.

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

3.1.4 显微镜的使用

推荐此实验, 本实验的工作是 CCD 配套软件的使用, 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, 请做好被卡优秀的心理准备.

3.1.5 衍射实验

不太推荐此实验, 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 2、4、6... 缺级; 第 3 级缺级则第 3、6、9... 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.

3.1.6 磁力摆

由于此实验遭到 20 级学长们的口诛笔伐, 编者中无人选择, 故未能给出介绍.

3.1.7 数字体温计

不推荐此实验, 此实验仪器老旧, 耗时长, 任务重, 需要手绘图, 需要当堂写实验报告, 给分也一般, 堪称一级大雾叠 debuff 冠军.

本实验原理较为简单, 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往往较为老旧,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

推荐此实验, 此实验的实验操作与“单摆法测重力加速度”类似, 分析不确定度时较麻烦.

首先, 此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:

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

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

最大不确定度公式为¹:

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

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, 给出实验结果参考数据如下, **仅供参考, 请勿照搬**.

¹ $T_1^2 - T_0^2$ 不知怎么就变成了 $T_1^2 + T_0^2$, 然而老师就是这么讲的, 校对表示蒙在鼓里.

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

该实验分为两个实验，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。

对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。

对实验具体操作做以下几点提醒：

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. 此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. 此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. 此实验精度不高（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。

3.1.10 匀加速运动

推荐本实验。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、使用老师已经写好的程序处理数据、不用交实验报告。当然，整个实验属于验证性实验，实验结果也比较粗糙。

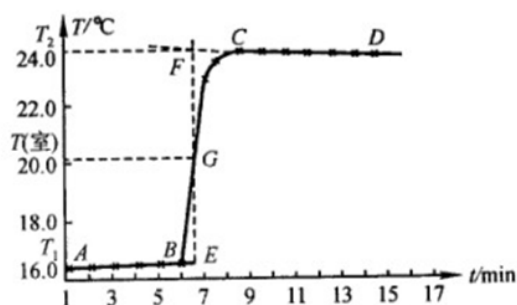


图 5.3.3-1 温度-时间关系曲线

图 3.1: 固体比热作图效果

3.1.11 声速测量

推荐本实验。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，本实验的选做实验——超声悬浮实验也很有意思，参考图 3.2。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 3.2: 超声悬浮实验

3.1.12 半导体温度计

由于此实验遭到 20 级学长们的口诛笔伐，编者中无人选择，故未能给出介绍。

3.1.13 示波器的使用

推荐本实验。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。下面简单介绍一下一些基本功能。

示波器的面板如图 3.3 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)。

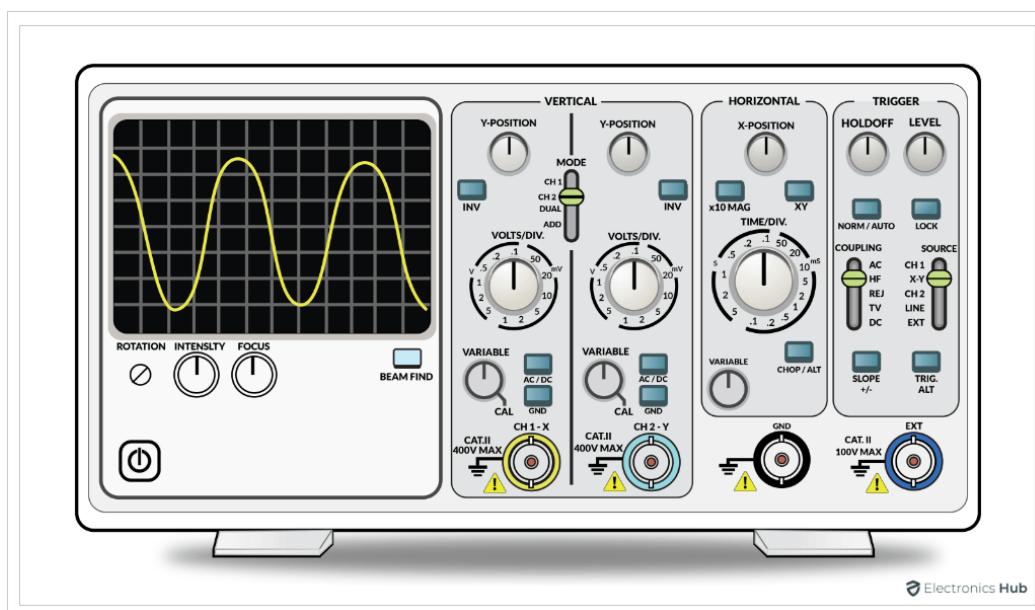


图 3.3: 示波器面板示意图 (图片来源见水印)

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）、焦度旋钮（Focus）。

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。开关键负责开关机（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

推荐此实验。此实验操作难度不大，给分也很不错。

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

非常推荐此实验。操作简单，数据精确，老师人也很好。

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. 测量清洁剂的表面张力系数时先将其摇匀，防止不同深度清洁剂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 3.4）。

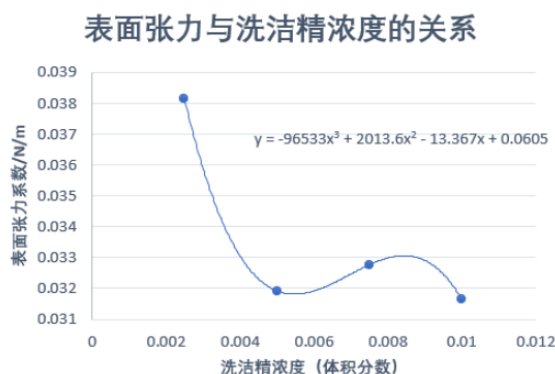


图 3.4: 表面张力与洗洁精浓度的关系

3.1.16 光电效应

不太推荐本实验。本实验数据量较大，作图也较多，实验操作简单。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。

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

由于此实验遭到 20 级学长们的口诛笔伐，编者中无人选择，故未能给出介绍。

3.1.18 硅光电池

强烈不推荐本实验。

本实验可以说是一级大雾中除光学实验以外最屑的实验了（很可能比部分光学实验还要屑），本实验的实验内容重复无趣，干的事情就是一直不断的重复性工作：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

推荐此实验，此实验就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。但是，此实验不交实验报告，并且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，所以可能不太容易拿高分。

R_L/Ω	$d=20\text{cm } L=250\text{lx}$			$d=30\text{cm } L=111.1\text{lx}$			$d=40\text{cm } L=62.5\text{lx}$			$d=50\text{cm } L=40\text{lx}$		
	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	0.00934	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/lx	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
I_{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/lx	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
$R=1000\Omega$	U/V	0.2599	0.1970	0.1394	0.1024	0.0782	0.0617
	I/mA	0.2599	0.1970	0.1394	0.1024	0.0782	0.0617
$R=5000\Omega$	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
$R=10000\Omega$	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

图 3.5: 硅光电池数据记录参考

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 3.6。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 3.7a 和 3.7b。

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**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，这极其容易导致心态爆炸，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。

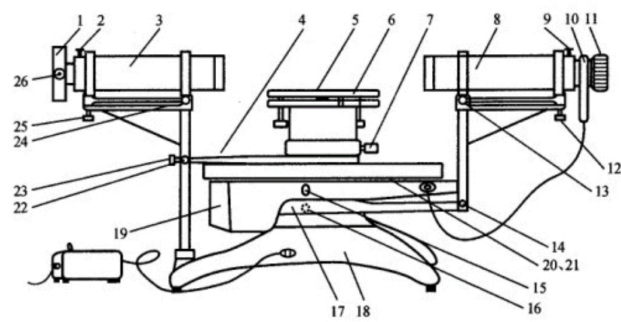
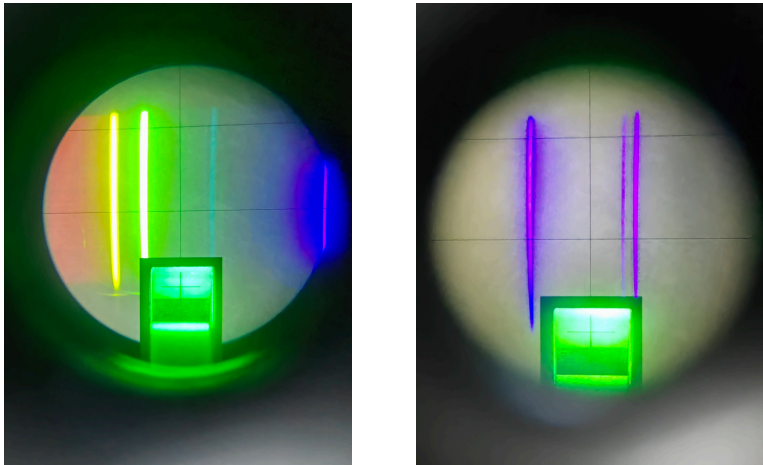


图 7.1.2-1 分光计外形图

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 3.6: 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 3.7: 分光计实验现象

3.1.22 透镜参数测量

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

3.1.23 直流电源特性

强烈推荐本实验. 和整流滤波实验在同一实验室, 为操作较为简单的电学实验, 需要写实验报告, 但就算要写报告, 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

强烈推荐本实验。和直流电源特性实验在同一实验室，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仪器损坏。

3.1.25 生活中的物理实验

推荐此实验。此实验操作普遍较为简单，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。

实验室提供 30 余个实验，要求选取其中的 7 个记录实验现象等，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

首先需要介绍的是，IYPT (International Young Physicists' Tournament) 和 CUPT 是一套题目，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容易，更对口 IYPT 的使用场景，故在此介绍 Mathematica 的安装和使用。

下载通过中国科大正版化网站<https://zbh.ustc.edu.cn/zbh.php>即可。关于激活需要提醒的是，学校购买的正版激活方式为网络许可证登录（内核最多同时 50 人），但显然不能满足全校同学的使用需求，故可以在激活时找到自己的 MathID，后访问 Keygen，<https://ibug.io/blog/2019/05/mathematica-keygen/>拿到对应许可证码，使用破解版。

数据分析

IYPT 中所需要用到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>.²

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<https://jxzy.ustc.edu.cn/video/file/phyphox.zip>, IOS 版可直接再 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.

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://202.38.64.10/~lizi25/CUPT.pdf> 的 5.2 和 5.3 节.

3.2 二级实验

本部分尚未完成, 请等待更新.

² 感谢南开大学物理学院 ryan 同学的分享

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？

在编写此文档的四个月里，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: GB/T 3101—1993[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: GB/T 3102.11—1993[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: GB/T 15834—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 10-11.
- [5] 吴永华, 霍剑青, 浦其荣. 大学物理实验: 第一册[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [6] 中国国家标准化管理委员会. 测量不确定度评定和表示: GB/T 27418—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [7] 陈希孺. 概率论与数理统计[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009.
- [8] 苏淳. 概率论[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2010: 297-309.
- [9] CASELLA G, BERGER R L. Statistical inference[M]. 2nd ed. Pacific Grove: Duxbury, 2001: 232-270.
- [10] 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.