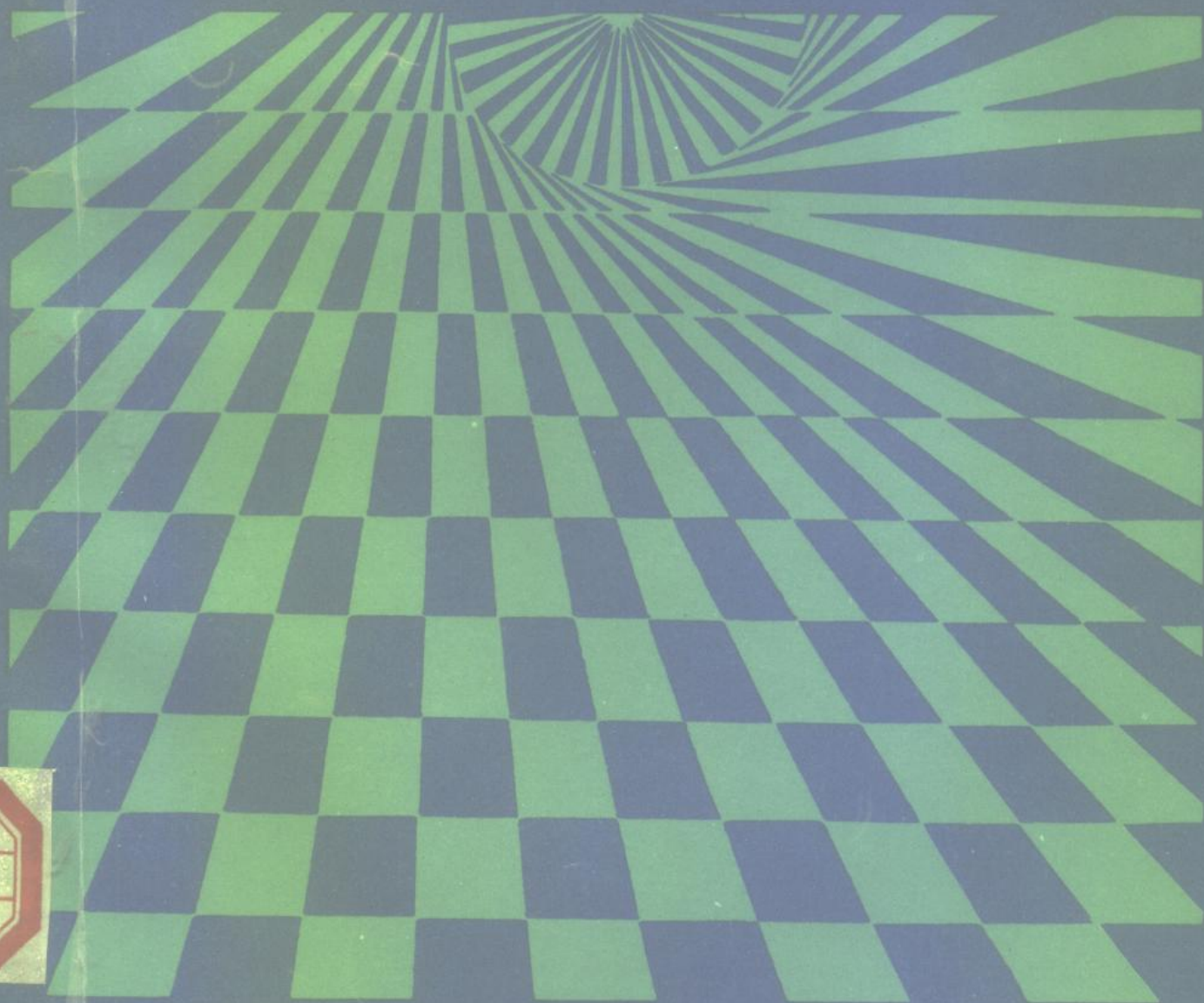


近代物理实验

南京大学近代物理实验室



南京大学出版社

内 容 提 要

本书是依据《综合大学物理学专业近代物理实验教学基本要求》、以南京大学近代物理实验讲义为基础,编写的近代物理实验教材。

原书包括12个领域的38个实验,这次重印,增加和改写了7个实验,它们是核物理、原子物理、光学、低温、X光衍射技术、半导体、磁学、真空、声学、声光、微波和微机数据采集系统实验。对实验原理、仪器和实验内容的叙述力求简明,还给出关于理论背景和实验技术方面的参考资料,精心选编了预习思考题和实验问答题,一般学生借助本书可以完成实验。

本书可供作高等院校近代物理实验的教材或教学参考书。

D227/B1/13

近代物理实验

南京大学近代物理实验室

*

南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 丹阳兴华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 531 千

1993年2月第1版 1997年8月第2次印刷

印数 1501~3500

ISBN 7-305-01773-6/G·90

定价: 22.00 元

撰 写 人 员

(依内容先后次序排列)

沙振舜	沈德勋	滕敏康	郝 迈
高学奎	孙大坤	嵇家本	黄佩倩
柳承恩	江若珪	鹿 牧	王其和
徐国柱	陶擎天	黄宗华	盛玉宝
应昭敏	冯小宁		

前 言

本书依据物理实验编审小组 1989 年 11 月审订通过的《综合大学物理学专业近代物理实验教学基本要求》，在南京大学物理系近代物理实验的教学实践以及近代物理实验讲义的基础上编写的，是南京大学近代物理实验室从事实验教学的教师和实验技术人员集体智慧和劳动的结晶。

近代物理实验在整个物理实验教学中是重要的一环。本书共收入 12 个领域的实验 38 个，有的实验放在某个领域并不一定合适，这是由于该实验最初放在那个实验室的历史情况造成的，姑且如此。

在本书扉页已列出撰稿人员名单。还在每篇末尾载明撰写人的姓名。全书由沙振舜统稿，沈德勋审阅。为本书作出贡献的还有曾经带过近代物理实验的多位教师。大地海洋科学系李玉琛等同志为本书绘制了插图。叶忱同志抄写了部分书稿，邹迎同志审核了插图。南京大学出版社李曾沛同志仔细审阅和编辑本书。在编写过程中参考了有关院校的物理实验教材和讲义，在此一并致谢。

由于我们的水平所限，难免有错误和不妥之处，我们真诚欢迎使用本书的教师、学生和各位读者提出批评和建议。

编者

1992 年 6 月于南京大学

重 印 说 明

本书这次重印,增加和改写了7个实验,作为对原实验的补充。其中大部分是近年来教师新排的,所用仪器设备也是本校教师研制的。

由于这次是重印,故本书未能对原内容作重新修订,对前面38个实验基本不动,仅作勘误,而将补充部分放在最后,敬请读者谅解。

编者

1997.3.8

目 录

综合大学物理学专业(四年制)近代物理实验教学基本要求	(1)
绪论	(4)
怎样做好实验	(4)
误差与数据处理	(8)
一、原子核物理实验	(20)
预备知识	(20)
实验 1.1 G-M 计数器和核衰变的统计规律	(22)
实验 1.2 NaI(Tl)闪烁谱仪	(27)
实验 1.3 符合法测量放射源的活度	(32)
实验 1.4 穆斯堡尔谱仪	(37)
实验 1.5 正电子湮没寿命谱的测定	(42)
二、原子物理实验	(50)
预备知识	(50)
实验 2.1 夫兰克-赫兹实验	(51)
实验 2.2 用光电效应测普朗克常数	(56)
实验 2.3 气体放电中等离子体的研究	(60)
三、光学实验	(68)
实验 3.1 氢原子能级与里德伯常数的测定	(69)
实验 3.2 塞曼效应	(73)
实验 3.3 光磁共振	(77)
四、低温实验	(84)
预备知识	(84)
实验 4.1 西蒙气体温度计与蒸汽压温度计	(90)
实验 4.2 低温实用温度计	(96)
实验 4.3 稳态热流法测量低温下固体材料的热导率	(102)
实验 4.4 高临界温度超导体临界温度的电阻测量法	(108)
实验 4.5 小型制冷装置制冷功率和制冷效率的测量	(113)
五、X 光衍射技术	(120)
预备知识	(120)
实验 5.1 多晶体晶格常数的测量	(126)
实验 5.2 单晶定向	(131)
实验 5.3 X射线衍射物相分析	(135)
六、半导体实验	(140)

实验 6.1	半导体的霍尔系数与电导率的测量	(140)
实验 6.2	椭偏光法测量硅表面介质薄膜的厚度和折射率	(147)
七、磁学实验		(158)
预备知识		(158)
实验 7.1	硬磁材料磁特性的测量	(160)
实验 7.2	利用磁秤测量弱磁物质的磁化率	(164)
实验 7.3	核磁共振	(168)
八、真空实验		(172)
预备知识		(172)
实验 8.1	高真空的获得与测量	(177)
实验 8.2	真空镀膜	(180)
九、声学实验		(187)
预备知识		(187)
实验 9.1	脉冲干涉法测量液体的声速和吸收系数	(192)
实验 9.2	超声探伤	(198)
实验 9.3	用驻波法测量吸声材料的法向吸声系数和法向声阻抗率	(208)
实验 9.4	频谱分析	(215)
十、声光实验		(220)
实验 10.1	声光效应的研究	(220)
实验 10.2	光拍频波和光速测量	(227)
十一、微波实验		(232)
预备知识		(232)
实验 11.1	反射速调管工作特性、波导管工作状态研究	(236)
实验 11.2	微波衰减测量	(242)
十二、微机数据采集实验		(247)
绪言		(247)
实验 12.1	单板计算机的使用	(247)
实验 12.2	数据采集	(250)
实验 12.3	数码转换	(253)
实验 12.4	数据打印输出	(256)
附录1	函数记录仪	(261)
附录2	Z80指令的机器码表	(262)
附录3	物理学常数	(274)
附录4	中华人民共和国法定计量单位	(275)

补充实验目录

实验 2.4	用电视显微油滴仪测电子电荷·····	(277)
实验 3.4	电视显微塞曼效应实验·····	(282)
实验 6.3	半导体器件特性的测量与分析·····	(287)
实验 7.4	利用振动样品磁强计测量内禀磁特性·····	(293)
实验 8.1	高真空的获得与测量·····	(304)
实验 8.2	真空镀膜·····	(306)
实验 8.3	磁偏转真空质谱检漏仪的应用·····	(317)

综合大学物理学专业(四年制)

近代物理实验教学基本要求

高等学校理科物理学教材编审委员会物理
实验编审小组1989年11月审定通过

一、本课程的目的

科学实验是理论的源泉，是自然科学的根本，也是工程技术的基础。物理学是一门实验科学，重要的物理实验常常是新兴科学技术的生长点。物理学发展的事实说明，在一定生产实践的背景下，实验——理论——实验，相互促进，促使物理学及其它科学技术获得长足的进步。

“近代物理实验”是继“普通物理实验”和“无线电电子学实验”后的一门重要的基础实验课程，本课程所涉及的物理知识面较广，并具有较强的综合性和技术性。

本课程的主要目的是：通过近代物理实验丰富和活跃学生的物理思想，培养他们对物理现象的观察能力和分析能力，引导他们了解实验物理在物理概念的产生、形成和发展过程中的作用，学习近代物理中的一些常用的方法、技术、仪器和知识，进一步培养正确的和良好的实验习惯以及严谨的科学作风，使学生获得一定程度的用实验方法和技术研究物理现象和规律的独立工作能力。

二、本课程的教学基本要求

1. 学习如何用实验方法和技术研究物理现象和规律，了解物理实验在物理学发展史上的作用，培养学生在实验过程中发现问题、分析问题和解决问题的能力。
2. 学习近代物理某些主要领域中的一些基本实验方法和技术，掌握有关的仪器的性能和使用。通过实验着重培养学生阅读参考资料、选择测量方法和仪器、观察现象、独立操作、正确测量、处理实验数据以及分析和总结实验结果等方面的能力。
3. 通过实验加深对近代物理的基本现象和规律的理解。
4. 巩固和加强有关实验数据处理及误差分析方面的训练。
5. 培养实事求是、踏实细致、严肃认真的科学态度和克服困难的坚韧不拔的工作作风以及科学的、良好的实验素质和习惯。

三、实验选题

(一) 实验误差和数据处理

在普物实验训练的基础上继续巩固和加强有关实验误差和数据处理的训练，如泊松分布

等，可通过讲授或落实到一些实验题目中进行。

(二) 基本实验

1. 原子光谱(如氢和氖光谱、钠原子光谱)
2. 塞曼效应
3. 电子衍射
4. 夫兰克-赫兹实验
5. 盖革-弥勒计数器及核衰变统计分布
6. 符合测量
7. 闪烁 γ 能谱测量
8. 全息技术和光学信息处理(如全息干涉计量、图像识别等)
9. 激光器特性和参数测量
10. 高真空的获得与测量
11. 气体放电中等离子体的研究
12. X光在晶体中的衍射(如德拜相、劳厄相等)
13. 核磁共振
14. 电子自旋共振
15. 速调管工作特性和波导管工作状态
16. 低温测量(如温度定标、固体热导率的测量等)
17. 低温霍尔效应
18. 声学参数测量(如声吸收、声阻抗、声谱分析等)
19. 锁相放大技术的应用
20. 单板机或微机在实验中的应用

(三) 选作实验

1. 光谱定性、定量分析
2. 激光拉曼光谱
3. X光标识谱和吸收
4. He-Ne激光旁侧光谱
5. 卢瑟福实验
6. 斯特恩-盖拉赫实验
7. 电子逸出功
8. 质谱仪
9. β 和 γ 射线吸收
10. α 和 β 能谱
11. 穆斯堡尔效应
12. 正电子湮没寿命谱仪
13. 晶体电光调制
14. 光电探测器的光谱响应曲线
15. 法拉第效应
16. 单光子计数器的应用

17. 真空镀膜
18. 高压强电离真空计的校准
19. 晶体定向
20. 光泵磁共振
21. 铁磁共振
22. 顺磁共振
23. 电阻温度关系和减压降温技术
24. 钇钡铜氧超导体转变温度的测量
25. 热辐射实验

四、说明

1. 本《基本要求》是在总结执行1980年的《近代物理实验教学大纲》及这几年教学改革经验基础上,根据目前一般高等院校的实际情况和本课程的最基本要求制定的,在保证《基本要求》所规定的教学目的和要求下,各校可以根据自己情况制定适合本校的执行大纲。

2. 按教学计划规定,本课程的学时总数为144学时,要求学生在一年内至少完成12~16个实验。

3. 本《基本要求》中所列的实验选题分为两大类,即基本实验和选作实验。各校在确定选题时应适当多选基本实验中的题目,再根据自己院校的特色选取一定量的选作实验。在安排某些新的实验题目时,要注意所选内容能够完成《基本要求》所规定的教学目的和要求,且总教学时数不低于所规定的时数。高等师范院校在确定实验选题时应考虑到优先选择与中学物理教学密切相关的题目。

4. 本课程的主要教学方式是在教师的指导下,学生独立进行实验(在可能的条件下,实行一人一组)。教学中要提倡学生之间的讨论和交流。至于课程教学的方式、方法则倡导各个学校、各教学集体和教师发挥自己的特色和风格。

5. 严格本课程的考核。考核方法可多种多样,可以以平时成绩为主,或平时成绩与期末考试综合评定。一般应每学期评定成绩。为了充分调动学生的积极性,应根据学时数给一定学分为宜。

6. 随着教学改革的深入发展,许多问题需要进一步研究和实践,逐步取得经验。例如:怎样培养学生用所学实验方法和技术实现物理过程的能力?本课程中使用精密仪器和培养实验技能的关系怎样处理?能否在本课程中应用自制的、相对简易的仪器研究比较近代的而又复杂的物理现象?

五、参考书目

1. 《近代物理实验》①、②,吴思诚、王祖铨主编,北京大学出版社,1986年。
2. 《大学物理实验》(伯克利物理实验)[美]A.M.波蒂斯, H.D.杨著,科学出版社,1982年。

绪 论

怎样做好实验

物理学是一门以实验为基础的科学。物理实验教学是培养合格物理工作者必不可少的教学组成部分。理科大学生在校期间不少时间是在实验室里度过的。怎样做好实验，如何科学地利用这些时间，从而收效最大呢？如何才能从实验中学到有用的知识与实用技术呢？下面提出几点看法，供作参考。

1. 对实验应有正确的认识

(1) 实验在科学发展中的作用

美国有句谚语：“实验是打开科学大门的钥匙。”科学实验是研究自然规律与改造客观的“基本手段”。自然科学的研究包括理论与实验两个方面。科学技术发展的历史经验表明：科学实验和科学理论的研究是相互依赖、相互促进、相辅相成的。两者之间的辩证关系，一方面表现为科学实验是发展理论的源泉和检验科学理论的重要标准；另一方面，科学理论又能指导和促进科学实验。著名物理学家海森伯(W·Heisenberg)说过：“显而易见，不论在那里，实验方面的研究总是理论认识的必要前提，而且理论方面的主要进展，只是在实验结果的压力下而不是依靠思辨来取得的。另一方面，实验结果沿之向前发展的方向，应该总是由理论的途径来实现的。”美籍华裔物理学家黄克孙说：“过去的300多年里，物理学的伟大成就，是实验和理论密切结合的果实。”

实验方法由于其具有的优点，使它成为愈来愈多的人探索自然奥秘和改造自己的一种社会实践活动。在现代科学研究中实验的手段越来越显示它的重要作用，这在诺贝尔奖金的颁发中得到生动的体现。以物理学奖金为例，从1901~1978年得奖项目中，属于实验技术或基本是从实验性工作项目约占60%，理论性的项目占40%。从下面一个例子又可以使我們认识到实验对理论科学家的重要性。牛顿因为地球加速度的测量值同按他的理论要求的值相差约10%而推迟20年发表他的引力理论；牛顿没有想到，在他的计算中用到的地球半径的实验值误差会达到如此大的程度。

如上述那样的例子，不胜枚举。可见实验研究在科学技术的发展中有重要地位和作用。

(2) 实验是理工科教学的重要组成部分

虽然现在人们已普遍承认实验是重要的和有效的工作，但许多学生还不十分清楚实验课是他们教学计划中重要的组成部分。在理工科学生中间，有时会听到这样的议论：“实验课真没劲，学不学没啥关系，理论才叫高明呢！”果真是这样吗？还是让我们用几位科学家的话给予回答吧！

实验科学的先驱、意大利的达·芬奇(L. Davinci)说过：“科学如果不是从实验中产

生，并以一种清晰的实验结束，便是毫无用处的，充满谬误的，因为实验乃是确实性之母”。日本科学家武谷三男说：“自然科学以实验为生命。”英国的罗吉尔·培根(R. Bacon)非常重视并自觉强调实验活动，他说：真正的学者应当依靠“实验来弄懂自然科学、医药、炼金术和天上地下的一切东西。”法国生物学家巴斯德(L. Pasteur)说：“科学家一旦离开实验室，就象战场上缴了械的士兵。”美籍华裔著名的物理学家丁肇中在1967年冬获诺贝尔物理学奖时发表一篇演说，其中谈到：“我是在旧中国长大的，因此想借这个机会向发展中国家的青年强调实验工作的重要性。中国有句古话：‘劳心者治人，劳力者治于人。’这种落后的思想，对发展中国家的青年们有很大害处。由于这种思想，很多发展中国家的学生都倾向于理论的研究，而回避实验工作。事实上，自然科学理论不能离开实验的基础，特别是物理学，它是实验中产生的。我希望由于我这次得奖，能够唤起发展中国家的学生们的兴趣，从而注意实验工作的重要性。”这番肺腑之言，正是对我们的同学说的啊！

实验教学是理工科教学的极为重要的组成部分，实验教学与理论讲授相配合，有利于学生对物理概念与原理的深入掌握。通过观察实验现象而形成的概念，将是生动的，可能一辈子也不会忘记。实验教学对于培养学生的能力与科学作风是必要的，也是很有效的措施。在实验室这个环境里，学生可以取得科学知识，培养科学兴趣，掌握科学方法和发展科学思维，学生通过实验研究问题、导出定律、验证理论……所以由重视实验到对实验产生兴趣，对做好实验是至关重要的。

(3) 实验与科学研究和今后工作的关系

有人说，没有实验，就没有现代科学技术，更谈不上什么科学技术的成果。

实验教学为科学研究准备必要的技术基础和素养。实验课上进行的训练，动手能力的培养，对从事科研活动和毕业后到社会上工作都是有用的。据估计，理工科学生中60%以上毕业后从事实验性工作，而搞纯理论的毕竟是少数。由此，一个大学生在校做好实验对今后工作的意义可想而知了。

(4) 实验教学与四个现代化的关系

四个现代化的关键是科学技术现代化。科学技术的发展要求有一定经验、知识、能动手动脑解决问题的人，培养这样的人离开科学实验是办不到的。过去的“高考指挥棒”使得某些学校在高中阶段广泛运用“题海战术”。有的人认为“做实验不如看实验，看实验不如背实验。”实验课不去动手，而去背书，做实验变成“纸上谈兵”，岂不成了笑话。结果培养出来的人“高分低能”、“眼高手低”，如何能担负四个现代化的艰巨任务呢！？

总之，实验研究和理论研究一样是科学研究的重要手段。任何轻视实验或轻视理论的思想都是错误的。要做好实验，首先要对实验有正确的认识，像对理论课一样重视，认真对待。在实验课的学习中发挥学习主动性和积极性，变“要我做”为“我要做”，自然会克服困难，做好实验。

2. 搞好实验的预习环节

一般实验可分为预习、操作和写报告三个环节，先谈谈如何做好预习。

预习是为正式操作做准备，为此需要做到：

(1) 认真阅读实验讲义、参考书，事先对实验内容作全面了解。有时还要看仪器的说明书、操作规程及其他参考资料，把实验的基础知识和背景知识搞清楚。弄清该实验的目的、

要求、原理、仪器、方法、注意事项和预习问题等。

(2) 有条件者到实验室预习，看仪器设备，在教师同意之后试操作。

通过预习明确“做什么、怎么做、为什么”三个问题。

(3) 写预习报告。拟出实验步骤，把观测的内容、测量的数据表格设计好，列在预习报告上。

3. 搞好实验的操作环节

这个环节是指学生进入实验室正式观测和操作。在这个环节里学生应该在教师的指导下主动地、自觉地、创造性地获取知识和技能。通过实验探索研究问题的方法，培养细致、踏实、一丝不苟和实事求是的科学态度，以及勇于克服困难、坚韧不拔的工作作风。

(1) 认真细致观察

实验是一个综合过程，它是观察、分类、测量、交流、推论五个过程的全部或部分综合。观察是一个感知过程，它通过看、听、触、尝、嗅而直接感知客观事物。在实验中要培养良好的观察习惯，逐步提高观察能力。事实说明，透过现象很快看到本质，准确无误地观察实验的真实情况，不是一件轻而易举的事。有些人对一些异常现象视而不见，听而不闻。而有些人却从中有了新的发现和发明。

(2) 掌握“三先三后”的原则。在定量实验中，为了更好地进行观测，最好先观察后测量，先练习后测量，先粗测后细测。此即“三先三后”。

(3) 注意“三基”，抓住重点。每门实验课根据教学大纲要求，提出了应着重掌握的内容。例如，基本知识、基本方法和基本技能，称为“三基”，这是需要重点掌握的。应注意把主要精力放在重点内容上。

(4) 充分发挥学习的主观能动性

做好实验，固然教师的主导作用是重要的，但更重要的是学生具有研究问题的主动态度，对实验应有信心、耐心和细心。要逐步摆脱对教师的过分依赖，改变按实验讲义上的步骤看一步做一步的学习方法。要动脑思考，在实验室里不是要一个塞满东西的头脑，而是一个善于分析思考的头脑。曾经听到过一个小故事：一天深夜，著名的物理学家卢瑟福(D. Rutherford)查看实验室时，见一个学生还在埋头做实验，便问他：“你上午干啥？”学生回答：“做实验”。“下午呢？”同样的回答。卢瑟福提高了嗓门问：“那么晚上呢？”学生答道：“也是做实验。”同时这学生稍微挺起胸脯，准备接受老师的夸奖。然而卢瑟福却严肃地对他说：“你整天做实验，还有什么时间用于思考呢？”这个故事的寓意是不言而喻的。

(5) 不要单纯追求数据，学会分析实验

定量实验一般总要获取数据。有些指导实验的教师手里有所谓“标准数据”。然而，不要以为实验的目的就是为了做出与标准数据一致的结果。有的人满足于自己的结果与“标准数据”或理论计算一致，认为这样就大功告成。而当两者差别较大时，就感到失望，认为：“倒霉”，抱怨仪器装置，甚至拼凑数据或涂改数据结果。这都是极其错误的。实验中要学会分析实验。不论数据好坏，都要找出原因。分析实验包括分析实验方法、仪器设备、人的因素、操作技能、测量次数和周围环境对测量结果的影响。当自己的数据结果与指导教师的或别人的数据相差很大时，可能是自己有错，也可能仪器出了毛病，或有异常现象。这时要

检查自己的操作和记录，必要时可重复一下实验。如果毛病出在仪器上，尽量争取自己解决，学会分析和排除故障，实在解决不了，再请教老师。

(6) 要养成良好的实验习惯

实验室工作的基本素养是逐渐养成的，而且一开始就应注意。例如，记录观测结果应该用记录本，不要随便用纸片，因为纸片极易丢失。记录本上记错了也不能撕掉。法拉第的实验室笔记是我们的楷模。记录数据要正确简明，有条有理，自始至终认真对待。如实记下观测数据、简单过程和出现的一切不正常的或自己认为有意义的现象，以便写报告时分析讨论。数据要记在表格中并注明单位。

(7) 严格要求，注意安全，遵守规则

实验中要贯彻三个“严”字的要求，即严肃的态度、严格的要求、严密的观测。

另外实验室里有电、机械、化学、温度、压力、辐射等可能发生危险的因素，绝不能疏忽大意。为了实验的顺利进行，避免人身事故和损坏仪器，必须注意安全，遵守必要的规章制度。

4. 写好实验报告

实验报告是实验的全面总结。写实验报告不是为了交差，而是实验的必然结果。应通过实验报告恰如其分地评定自己的实验工作。因此写报告应该实事求是，严肃认真，不能敷衍了事，更不能伪造和抄袭。实验结束后应尽早把报告写出，趁热打铁，一气呵成。

(1) 应该用实验报告纸书写。文体要端正，字句要简练，用语要确切，图表要按规定格式绘制，使得一目了然。

(2) 实验报告一般包括题目名称、目的、原理摘要或计算公式、仪器设备及编号、简图、实验步骤、观测和数据记录、数据处理、结论、问题回答及讨论等等。

(3) 实验报告上要有实验的分析讨论，这是培养分析能力的重要方面，应努力做好。听说有位青年教师到法国巴黎大学去进修，按照国内传统的方式写实验报告，数据及处理都是正确的，就是缺少讨论和误差分析。导师说，这种报告不及格！可见国外对实验讨论的重视。实验后可供讨论的很多，例如：

① 实验的原理、方法、仪器你感到掌握了没有？实验目的达到否？

② 实验误差的分析讨论，有那些误差来源？那些是主要的？那些是次要的？系统误差表现在那里？如何减少或消除？

③ 改进实验的设想。怎样改进测量方法或装置？实验步骤怎样安排更好？讲义如何改写。教学方法应如何改进？对老师的希望。

④ 观察到什么异常现象，如何解释。遇到什么困难，如何克服。

⑤ 测量结果是否满意。误差是否在允许范围内，如实验结果不好，是何原因。

⑥ 该实验对进一步加深和巩固理论知识有何帮助。实验涉及的原理、方法有何实用价值。

(4) 误差计算、作图、有效数字运用要符合要求，这是基本素养的重要方面。作图一定要用坐标纸或专用作图纸。作图法不仅具有简明直观的特点，而且是求很多量的有用方法，需要逐步掌握。

从某种意义上来说，实验报告是论文的前奏，有的实验报告本身就是一篇小论文。写实

验报告是写论文和技术报告的很好锻炼，这项训练搞好了，对今后是有用的。

在要结束本文时，作者感到言犹未尽，这里谈的怎样做好实验的几点意见，可能是挂一漏万。况且理工农医各科的实验类型很多，差别也较大，这里说的可能不尽符合各科的具体情况。再说，这里的看法系一孔之见，可能是片面的，有失偏颇。那么请读者批判地接受。总之，实验课是提高我们分析问题和解决问题不可缺少的教学环节，要学好这门课不但要下功夫，还要有一定的方法，相信大家通过严肃、认真和勤奋的学习，一定能有所收获。

(沙振舜)

误差与数据处理

1. 随机误差的统计分布

物理实验离不开对物理量的测量，测量值与物理量客观存在的真值之间总有一定差别，即有误差存在。按照误差产生的原因，它的性质和对结果的影响可以分为三大类：系统误差、随机误差和粗差。系统误差是在测量过程中所产生的一些误差，它们的值是恒定的，或者是遵循一定规律变化的误差。系统误差来源于仪器、实验方法、环境以及观测者，它可以被检验而发现系统误差的存在，可以通过适当方法加以消除或减小。随机误差是指在相同条件下对同一物理量进行多次重复测量时，误差的大小和符号没有确定的规律，也不可预定，但具有抵偿性的误差。随机误差来源于许多微小的、相互独立的因素(如：物理量本身的随机性；环境、仪器及实验者等的微小变化)的综合影响。它服从统计规律，所以可以用统计分布来描写。粗差是由于实验差错引起的误差。

(1) 二项式分布

二项式分布是离散型分布。在对某一随机事件进行独立测量时，若事件出现的概率为 p ，不出现的概率为 $q(q=1-p)$ ，那么 n 次独立重复测量中，该事件出现 k 次的概率为：

$$P_n(k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k q^{n-k} \quad (A-1)$$

它的数学期望或称平均值为 $\bar{k}=np$ ，方差为 $\sigma^2(k)=npq$ 。

(2) 泊松分布

泊松分布是离散型分布。当二项式分布中的 n 很大 p 又很小时，也就是说，对稀有事件进行很多次测量时，泊松分布是二项分布的渐近表达式。泊松分布为：

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (A-2)$$

其中 k 为该事件出现的次数， $\lambda=np$ 。在实际应用中，当 $n \geq 10$ ， $p \leq 0.1$ 时，就可以选用泊松分布来描述。泊松分布的数学期望与方差都等于 λ ，即 $\bar{k}=\lambda$ ， $\sigma^2(k)=\lambda$ 。因此，只要知道 λ 值，就可完全地确定其泊松分布。泊松分布如图 A-1 所示，它是一个不对称分布。

(3) 正态分布(高斯分布)

正态分布是应用最多的一种分布，是连续型分布。随机误差的特征就是正态分布的特征。所以在测量结果的随机误差分析中，正态分布的性质起着极重要的作用。正态分布的概率密度函数可表示为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (\text{A-3})$$

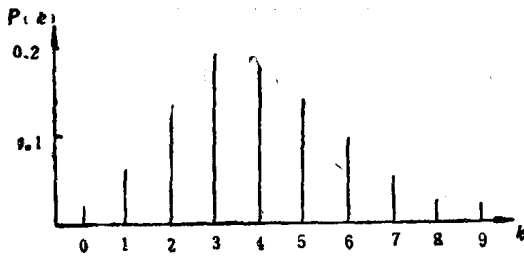


图 A-1 泊松分布

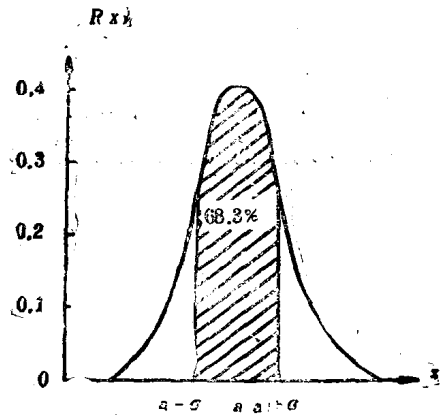


图 A-2 正态分布

式中 x 为随机变量, 取值在 $-\infty < x < +\infty$ 范围, 正态分布的数学期望为 a , 方差为 σ^2 。正态分布是对称的, 当 $x=a$ 时取最大值。如图 A-2 所示。可以算出, 服从正态分布的变量 x , 其取值在区间 $[a-\sigma, a+\sigma]$ 、 $[a-2\sigma, a+2\sigma]$ 、 $[a-3\sigma, a+3\sigma]$ 内的概率分别为 68.3%、95.4%、99.7%。通常把 $\pm 3\sigma$ 称为极限误差。

2. 物理实验中随机误差的估算

(1) 等精度测量的数据处理

在相同的条件下, 用相同的仪器和方法进行测量的测量值是等精度的。被测物理量, 在一定条件下, 它们本身客观上有一个确定的值, 称为真值。由于物理测量的随机性和物理量本身的随机性, 使待测的物理量的真值 a 测量不到。测量值 x_i 和真值 a 之间必然存在误差 Δ_i ,

$$\Delta_i = x_i - a \quad (\text{A-4})$$

除粗差外, 测量误差包括系统误差和随机误差。关于系统误差另外介绍, 这里主要讨论随机误差的估算。因为真值 a 测量不到, 相应的误差 Δ_i 就无法计算, 所以必须对 a 和 Δ_i 进行估值。

① 物理量真值的估值——算术平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{A-5})$$

式中 x_i 是第 i 次测量的测量值, 共进行了 n 次独立重复测量。 \bar{x} 是真值 a 的最佳估值。

② 随机误差的估值——标准偏差

多次测量的随机误差估值用平均值的标准偏差 $S_{\bar{x}}$ 表示, 计算公式为

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{A-6})$$

③ 测量结果的表示

由于 \bar{x} 是真值的估值, 因此无法准确确定物理量真值是多少, 只能对真值作概率意义上的推断, 即只能说明真值 a , 它在以估值为中心, 某个区间内的概率是多少。把此区间称为