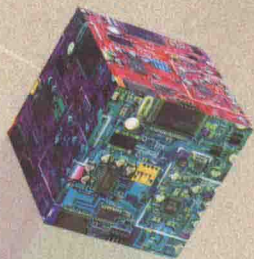


● 高允锋 主编



普通

物理实验

P UTONGWULISHIYAN

普通物理实验

主 编 高允锋

副主编 于立军 齐金刚

郭锦泉 罗 涛

吉林大学出版社

普通物理实验

高允锋 主编

责任编辑、责任校对：李卓彦

封面设计：张沐沉

吉林大学出版社出版

(长春市明德路 421 号)

吉林大学出版社发行

长春市南关区太平印刷厂印刷

开本：850 × 1168 毫米 1/32

印张：9.5

字数：230 千字

2005 年 10 月第 1 版

2005 年 10 月第 1 次印刷

印数：1—1000 册

ISBN · 7-5601-2962-4

定价：17.80 元

如发现印装质量问题，影响阅读，请与印刷厂联系调换。

目 录

绪论	1
----------	---

第一部分 实验理论

第一章 测量结果的评定及数据处理	10
1.1 测量及其分类	10
1.2 误差及其分类	12
1.3 系统误差的发现与消除	17
1.4 偶然误差的统计分布	21
1.5 测量结果的不确定度评定	25
1.6 有效数字及其运算	33
1.7 实验数据处理的常用方法	38
第二章 物理实验的基本测量方法	57
2.1 比较法	57
2.2 放大法	60
2.3 补偿法	61
2.4 转换法	63
2.5 模拟法	66

第二部分 基础物理实验

第三章 力学实验部分	68
实验一、长度测量	68
实验二、单摆	76
实验三、固体和液体密度的测量	83
实验四、杨氏模量的测定 ——（伸长法）	89
实验五、牛顿第二定律的验证	94

目 录

实验六、动量守恒定律的验证	99
实验七、转动惯量的测定	105
实验八、用混合法测固体的比热容	110
实验九、液体表面张力系数的测定 ——（拉脱法）.....	115
实验十、非良导体导热系数的测量	118
第四章 电磁学实验部分	124
电磁学实验基础知识	124
实验一、电表的使用	145
实验二、伏安法测二极管的特性	150
实验三、电位差计测电池电动势和内阻	153
实验四、用惠斯通电桥测电阻	157
实验五、示波器的使用	164
实验六、磁场描绘	174
第五章 光学实验部分	182
实验一、薄透镜焦距的测定	182
实验二、用双棱镜干涉测光波波长	189
实验三、用牛顿环干涉测透镜曲率半径	194
实验四、用阿贝折射仪测定透明介质的 折射率	201
实验五、分光计的调节和棱镜角的测量	211
实验六、用透射光栅测定光波波长	223
实验七、迈克耳逊干涉仪的调节和使用	228
实验八、光具组基点的测定	236
 第三部分 综合与设计性实验	
实验设计知识	239
实验一、易溶于水的颗粒状物质的密度测定 ...	242

目 录

实验二、用流体静力称衡法和比重 瓶法测定物体密度	243
实验三、弹簧振子和简谐振动的研究	243
实验四、关于金属比热容的测定	244
实验五、电表改装和校准	244
实验六、制作万用表	248
实验七、测量小灯泡伏安特性曲线	252
实验八、用冲击电流计测高阻	252
实验九、法布里——珀罗标准具	253
实验十、利用光电效应测定普朗克常量	258
实验十一、发光强度和光能量的测量	263
实验十二、单色仪的定标	269
附录一 中华人民共和国法定计量单位.....	277
附录二 常用物理参数	280

绪 论

普通物理实验是一门独立设置的实验基础课，是理科各专业实验的重要基础，物理实验过程对培养学生用实验方法研究问题、分析问题、解决问题的能力起着重要的作用。教学中应着重在实验思想、实验方法、实验技能和数据处理 4 个方面对学生进行训练，从而能够培养具有独立工作能力和勇于创造的人才。实验是学生在教师指导下独立进行的，学生要主动自觉地在 4 个方面努力，为今后开展教学工作打下扎实的基础。

1. 物理实验课程的地位、作用和任务

物理学是自然科学中最重要、最活跃的带头学科之一。物理学的发展不仅在自身的学科体系内生长和发展出许多新的学科分支，而且还是许多新兴学科、交叉学科以及新技术产生、成长、发展的基础和前导。

物理学是一门实验科学，无论是物理概念的产生还是物理规律的发现都是建立在严格的科学实验基础上的，同时建立起来的理论还必须通过实验来验证是否正确。因此，我们说物理实验在物理学的发展过程中占有重要的地位和起了重要的作用。

在古代社会中就已经开始进行物理实验。我国元代赵友钦根据他所做的光学实验证明了光的直进性，还说明了光源的大小和强度、光源与不同直径小孔的距离、象与大小和亮度这三者的复杂关系。而古阿拉伯人伊本·海赛木则通过大量的光学实验认定光线在不同介质的界面上折射时，入射线、折射线和

法线在同一平面上，同时正确指出人能看见物体是由于物发出的光线进入人眼所致等。他的实验结果和解释为近代光学的研究奠定了基础。

在 15 世纪以前，物理实验基本上是对生产过程和自然过程的直接观察，是记录和整理生产经验和观测到的自然事实，专门以探索为目的的活动不多。真正把科学的实验方法引入物理学研究中来，从而使物理学走上真正科学道路的是 16 世纪意大利物理学家伽利略 (G. Galilei, 1564—1642)。为了彻底否定亚里士多德 (Aristotle, 公元前 384—前 322) 关于速度与外力成正比等错误的运动学理论，伽利略在做了著名的比萨斜塔实验后又做了斜面实验。在设计思想巧妙的斜面实验中，他把难以直接测量的速度和时间的关系，转化为路程和时间的关系，并通过实验的研究和数学推理得到了反映匀加速直线运动重要特性的时间平方定律，从而断定斜面运动是匀加速直线运动；在改变斜面倾斜度实验时获得同样的定律，推断出自由落体运动也应是匀加速运动，从而揭示出自由落体运动之谜。伽利略卓越的实验思想和实验方法结合数学的分析、归纳和演绎确立科学的定律，是他研究方法的精髓，也是他留给后人的宝贵财富。

在 16 世纪和 17 世纪，科学的实验方法已初具规模，但许多实验主要是以隔离某些因素，排除外部干扰来进行的，而不是以强化和激化自然过程为主，到了 19 世纪这种实验方法才得到充分发展。现举电磁学的发展来说明。实验证明了摩擦能生电，莱顿瓶能储存电。18 世纪 80 年代法国物理学家库仑 (C. A. de Coulomb, 1736—1806) 在卡文迪许 (H. Cavendish, 1731—1810) 等人实验的基础上对静电现象进行定量的测量，确立了静电学的基本定律——库仑定律，奠定了电磁学的基础。1800 年意大利教授伏打 (A. G. A. A. Volta, 1745—1827) 用锌片与铜片夹以盐

水浸湿的纸片做成电堆进行实验，使人们第一次获得持续电流——伽伐尼电池，为电流研究准备了物质基础。在 19 世纪以前，人们普遍接受吉尔伯特的观点，认为电和磁是两种本质不同的现象。1820 年丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)在课堂演示时发现了电磁现象，以后通过实验证明了电流与磁之间的相互作用，冲破了电与磁无关的学说。同年法国物理学家安培(A. M. Ampere, 1775—1836)通过实验证明了电流与电流之间的相互作用，提出了一切磁现象起源于电流的假说。与此同时，法国物理学家毕奥和萨伐尔(Biot and Savart)通过实验总结出直线电流对磁针作用力正比于电流强度、反比于距离的实验规律。全面研究电与磁的相互转化关系的是英国自学成才的物理学家法拉第(M. Faraday, 1791—1867)。他经过连续 10 年的实验，在 1831 年实现了“磁性发电”的设想，并结合实验进行了定量计算，总结出了电磁感应定律。英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)发展了法拉第关于场的概念，系统总结了电学和磁学的新成就，提出了著名的电磁场理论。在这个理论中，他预言了电磁波的存在，并预见到光也是一种电磁波。麦克斯韦的电磁场理论把电、磁和光三个领域综合到一起，具有划时代意义。但这个预言只有在 20 年后由德国物理学家赫兹从实验发现了电磁波之后，才真正被人们所接受。

在现代物理学的进展中，物理实验起着更重要的作用。20 世纪物理学的革命首先是电子、X 射线和放射性，它们都是在物理学家致力于实验研究的结果。在 19 世纪中叶，不少物理学家在低压气体放电管的实验研究中发现了阴极射线，并认为是一种电磁波。这个世纪末期，英国物理学家汤姆逊(J. J. Thomson, 1856—1940)用不同的方法，对不同的阴极和气体产生的阴极射线进行荷质比的测量，都得到相近的结果，认

为阴极射线是带电的微粒子流，而不是一种电磁辐射，这个微粒就是电子。美国物理学家密立根(R. A. Milikan, 1868—1953)在著名的油滴实验中得到了精确的电子电量，并证明了一个电子的电量 e 是电荷的基本单位。电子是人类认识的第一个基本粒子。

19 世纪末，德国物理学家伦琴(W. K. Röntgen, 1845—1923)在用真空放电管做实验时发现了另一种性质不同于阴极射线的射线——X 射线。X 射线的发现，暗示人们在原子内部有着复杂的结构，宣布 20 世纪新的物理学即将到来。其实伦琴不是第一个看到 X 射线的人，而它被伦琴发现，在于他十分重视实验在科学研究中的作用。伦琴认为“实验是最有力的最可靠的手段，能使我们揭示自然之谜。实验是判断假说应当保留还是放弃的最后鉴定。”这对我们是很有教益的。

继 X 射线之后，法国的贝克勒尔发现铀盐会自动放出一种新射线，1897 年居里夫妇发现了钍、钋和镭等元素也放出与 X 射线不同的射线，英国的物理学家卢瑟福(E. Rutherford, 1871—1937)在 1900 年前后通过实验发现了 α 、 β 和 γ 射线；并通过实验分别被证明为氦为正离子流、电子流和原子核内部的电磁波。这些射线就是放射性。电子、X 射线和放射性的发现，以实验动摇了关于原子不可分的观点，把物理学从经典物理阶段推进到现代物理阶段，科学实验也从只观测宏观现象进入到同时考察微观现象，使物理学进入到一个新的领域。理论的正确与否是需要实验进行检验的。正确的就发展，错误的就摒弃。在物理学发展史中这类例子很多，现仅举光的波动、微粒说之争和爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)的相对论被人们接受的例子来说明。

在人们探索光的本质的过程中，出现了长达三个世纪的所

谓“微粒说”和“波动说”之争。这个争端反映了唯物辩证法对立统一的规律,1666年牛顿(I. Newton, 1642—1727)提出了光的微粒说,同一时代另一位著名学者荷兰物理学家惠更斯(C. Huygens, 1629—1695)于1678年提出了波动说,由于牛顿的声望和波动说的粗糙,微粒说占据了上风。1801年英国医生托马斯·杨(T. Young, 1773—1829)做了双缝干涉实验。动摇了微粒说的统治地位,以后又通过菲涅耳(A. J. Fresnel, 1788—1827)等人的实验支持了波动说,在19世纪末,波动说占了绝对优势。在20世纪初,光电效应实验又揭示了光的粒子性,1923年康普顿的X射线散射实验中,发现了康普顿效应,证实并使人们认识到光的波粒二象性。

在19世纪末期到20世纪初,伟大的物理学家、科学巨匠爱因斯坦在物理实验和理论的基础上,天才地创立了具有划时代意义的广义相对论学说。这一学说提出后,当时很难被人们接受,还是在观测到水星近日点的进动、光谱线的红移和引力场会使光线弯曲等事实之后,才被人们广泛接受。

从上面的描述中,物理实验的重要性是显而易见的,当然在强调实验的重要性时,绝不意味着理论不重要。在物理学的发展中,理论和实验有着同样的重要性,任何轻视理论或实验的态度都是不对的。

物理理论和实验的发展,哺育着近代高新技术的成长和发展。物理实验的思想、方法、技术和装置常常是自然科学研究和工程技术发展的生长点。普通物理实验课是学生进入大学后接受科学实验方法和实验技能训练的开端,本课程是对学生进行物理实验理论、物理实验方法和物理实验技能方面的基本训练,使学生初步了解科学实验的主要过程和基本方法。它重点训练学生深入观察物理现象,建立合理的物理模型,定性定量研究变化规律,分析、判断实验结果,激发学生的想像力、创造力和创新意识,在培养和提高学生独立开展科学研究的素质

和能力方面具有重要的奠基作用。

在物理学发展的过程中,实验物理形成了自己的一套理论、方法和技术,成为进行各类科学实验的基础。

本课程的具体任务是:

1. 初步培养学生进行科学实验的能力。

(1)通过自行阅读实验教材或资料组织实验,提高阅读和运用资料的能力。

(2)通过实验熟悉常用仪器的原理、结构及使用方法,在进行具体测试中,提高获得准确实验结果的能力。

(3)通过对实验现象的观察、判断实验结果的数据处理及误差分析,提高理论联系实际的能力。

(4)通过在实验过程中发现问题、分析解决问题,拓宽学生视野,培养创新能力。

(5)通过正确记录及处理实验数据、撰写合格的实验报告,提高正确论述的表达能力。

2. 通过实验,培养学生实事求是、理论联系实际的科学作风以及严肃认真、一丝不苟的工作态度,主动研究的探索精神和遵守纪律、爱护公共财物的优良品德。

3. 通过实验加深对物理学理论的理解。

总之,通过每一个实验完成规定的测量任务、获取应有的数据是本课程的教学手段,而目的是培养和锻炼学生进行科学实验的能力并获取实验知识,提高实验技能。

二、实验课的基本过程

任何实验过程都包括:1. 准备;2. 观测与记录;3. 写实验报告这三个步骤。

1. 准备(预习)

实验前的预习是保证实验顺利进行,并能取得最佳结果的重要步骤。

(1)阅读实验教材有关内容及参考资料,弄清实验的目的、原理和使用的仪器,全面地了解测量的方法、实验的内容和注

意事项，并能回答[预习]中提出的问题。

(2) 写好预习报告。预习报告主要内容是：实验名称、目的、简要的实验原理(或主要的计算公式)、实验内容(要弄清哪些是已知量、控制量和待测量)、记录数据表格、遇到的问题和注意事项等。

每次实验前，教师要检查预习情况。

2. 观测与记录

(1) 认真听讲：做实验前，教师要作简要的讲解，这对做好实验是有益处的，要认真注意听讲，可起到事半功倍的效果。

(2) 实验操作：在操作前，先熟悉主要仪器，了解使用方法，然后进行安装调整并检查仪器是否完好，如有问题要及时向教师提出，切不可盲目从事，待基本符合要求后，方可进行实验操作、测试数据。

(3) 记录数据及实验现象：应科学地、实事求是地记录下实验中的全部有关数据和出现的各种现象。有关数据中除了直接的测量数据外，还应当包括实验条件(如与实验结果有关的温度、湿度和气压等)，主要仪器的名称、型号、规格、准确度等。在记录数据时要特别注意它的有效数字和单位。

测试结束后，把原始数据记录给教师审阅签名认可后，方可整理仪器结束实验。

3. 写实验报告

实验报告是对一次实验的总结，是学生巩固、提高和深化实验收获的过程，实验报告一律用统一规定的实验报告纸书写，文体要端正，字句要简炼，字迹要清楚，图表要按规定要求格式绘制。

实验报告的内容包括：

(1) 实验名称。

(2) 实验目的: 不需写出所有目的, 只写实验目的。

(3) 实验原理: 写出简要的原理及有关的计算公式(不需写出推导过程), 如有必要的图(电路图、光路图等), 还要描绘出来。

(4) 实验仪器: 包括实验用的所有仪器、量具和材料的名称和型号、规格。

(5) 实验数据: 把测得的原始数据及必要的中间计算结果认真地填写在设计好的记录表格之中, 不允许用有教师签字的那张原始数据纸代替实验报告的这部分内容。

(6) 数据处理: 按所讲述的数据处理方法处理数据, 并按结果表达式写出实验结果。

(7) 实验现象、误差等的分析、讨论以及对实验的建议、体会等。

(8) 附上经教师审核签字的原始数据记录。

三、实验课的基本要求

1. 课前预习实验讲义, 明确实验目的, 了解实验原理, 弄清实验步骤, 初步了解仪器的使用方法, 画好记录表格。未做预习, 不得动手做实验。

2. 上课时, 首先检查和熟悉仪器, 根据操作规程正确安装和调整仪器, 然后按实验程序进行实验。

3. 实验时, 一定要先观察欲研究的物理现象, 在观察的基础上, 再对被研究的现象进行定量测量。测量时, 应如实及时做好记录(记录要整洁, 字迹清楚, 避免错记)。不可事后凭回忆“追记”数据, 更不可为拼凑数据而将原始记录做随心所欲的涂改。

4. 测量完毕后, 要及时整理实验数据, 经指导教师检查签字后, 方可结束实验。

5. 实验完毕，应把实验仪器整理清点好，注意保持实验室的整洁，经指导教师同意，方能离开实验室。

6. 严格遵守实验室规则，爱护实验仪器。仪器如有损坏，应及时报告教师。凡属学生责任事故者根据情节轻重，要赔偿部分或全部损失。

7. 认真按时完成实验报告。

第一部分 实验理论

第一章 测量结果的评定及数据处理

§1.1 测量及其分类

一、测量(measurement)

在物理实验中,要用实验的方法研究各种物理规律,因此要定量地测量出有关物理量的大小。例如,测出一摆线长为 0.9867m , 某物体质量为 6.87g , 某电路的电流强度为 1.56A , 某地的重力加速度为 $9.796\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 电子电荷为 $1.6021917\times 10^{-19}\text{C}$, 等等。所谓测量就是借助仪器用某一计量单位把待测量的大小表示出来,即待测量是该计量单位的多少倍。

二、直接测量和间接测量

按测量方式的不同,测量可分为直接测量和间接测量两类。

1. 直接测量(direct measurement)(又称简单测量)

用待测量与同量纲的标准量直接进行比较,或者从已用标准量校准的仪器、仪表上直接读出测量值,其特点是待测量的值和量纲可直接得到。例如用米尺、游标卡尺、千分尺测长度,用秒表测时间,用天平称质量,用电流表测量电流等均为直接测量。而相应的被测量——长度、时间、质量、电流等称为直

接测量量。直接测量简单、直观，是最基本的测量方式，也是间接测量的基础。

2. 间接测量(indirect measurement)(又称复合测量)

多数物理量不便或不能直接测量，而是依据待测量与直接测量量的函数关系，先测出直接测量量，代入函数关系计算出待测量，这种测量称为间接测量，相应的被测量称为间接测量量。例如在用单摆(simple pendulum)测量重力加速度中，用秒表、米尺分别对周期 T 和摆长 L 进行直接测量，则重力加速度 g 可通过 $g = 4\pi^2 L / T^2$ 计算出来， T 、 L 是直接测量量， g 是间接测量量。

当然，一个物理量是直接测量量还是间接测量量并不是绝对的，要由具体测量的方法和仪器来确定。例如用伏安法测电阻时，电流、电压是直接测量量，电阻是间接测量量；用欧姆表测量时，电阻又成了直接测量量。

三、等精度测量和非等精度测量

根据测量条件的不同，测量又分为等精度测量和非等精度测量。

1. 等精度测量

等精度测量是指在相同测量条件下对同一物理量所做的重复测量。例如，在相同的环境下，由同一个测量人员，用同样的仪器和方法，对同一个待测量，作相同次数的重复测量。由于各次测量的条件相同，测量结果的可靠性是相同的，没有理由认为哪次测量更精确或不精确，所以每次测量的值是等精度的。应该指出，要使测量条件完全相同、绝对不变是难以做到的，一般测量实践中(包括物理实验)，一些条件变化很小，或某些次要条件变化后对测量结果影响甚微，一般可按等精度测量处理。