



中央民族大学“985工程”建设项目

ZHONGYANG MINZU DAXUE 985 GONGCHENG JIANSHE XIANMUGU

普通物理实验 (一)

◎ 朱 民 张灿书 李 云 / 编著

中央民族大学出版社
China Minzu University Press



中央民族大学“985工程”建设项目
ZHONGYANG MINZU DAXUE 985 GONGCHENG JIANSHE XIANGMU

Putong Wuli Shiyan

普通物理实验 (一)

朱 民 张灿书 李 云 / 编著

中央民族大学出版社
China Minzu University Press

图书在版编目 (CIP) 数据

普通物理实验 (一) / 朱民等编著. —北京: 中央民族大学出版社, 2010. 10

ISBN 978-7-81108-945-5

I. ①普… II. ①朱… III. ①普通物理学—实验
IV. ①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 225315 号

普通物理实验(一)

编 著 朱 民 张灿书 李 云

责任编辑 吴 云

封面设计 布拉格

出 版 者 中央民族大学出版社

北京市海淀区中关村南大街 27 号 邮编: 100081

电话: 68472815(发行部) 传真: 68932751(发行部)

68932218(总编室) 68932447(办公室)

发 行 者 全国各地新华书店

印 刷 厂 北京九州迅驰传媒文化有限公司

开 本 880×1230(毫米) 1/32 印张: 4.625

字 数 110 千字

版 次 2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-81108-945-5

定 价 15.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

普通物理实验是高等学校部分理科专业学生和工科学生的一门必修课,是学生进入大学后系统接受科学实验能力培养的开端,是进行科学实验方法和实验技能训练的重要基础。

本书由朱民、张灿书、李云三位老师参考我校大学物理理论课的内容,根据国家教育委员会理工科物理实验课程教学基本要求,结合我校学生和物理实验设备的现状,同时又考虑了我校物理实验将来的发展和改革而编写的。

该教材从2007年就以讲义的形式在教学中试用,通过几年试用和不断改进,学生反映效果较好。本书绪论部分、第一章、第二章由张灿书老师、李云老师编写,第三、第四章由朱民老师编写。

《普通物理实验》共三册,分别为力热部分、电磁学部分和光学部分,后两册正在编写中。

本书可以作为普通高等工科院校、综合大学及师范类物理专业的或相近专业普通物理实验课程的教材,也可以供相关人员参考使用。

目 录

绪论	1
一、普通物理实验的目的和要求	1
二、怎样写实验报告	3
三、实验室规则	5
第一章 物理实验基础知识	7
一、测量与误差	7
二、常用的数据处理方法	22
习题	28
第二章 基础物理实验	32
一、长度的测量	32
二、密度的测量——长度的测量	37
三、用比重瓶法测定固体的密度	41
四、单摆实验	45
五、自由落体运动	48
六、气轨上速度加速度的测定	49
第三章 综合性物理实验	54
一、金属线热胀系数的测定	54
二、杨氏模量的测量（伸长法）	56
三、刚体转动的研究	60
四、冷却法测量金属的比热容	62
五、用稳态法测量不良导体的导热系数	66
六、液体表面张力系数的测定	70
七、空气比热容比的测定	73

八、变温法测液体的黏滞系数	76
九、混合法测冰的溶解热	82
第四章 设计与研究性实验	86
一、倾斜气垫导轨上的滑块运动研究	86
二、验证牛顿二定律	90
三、碰撞实验	93
四、碰撞打靶实验	98
五、声速的测定	102
六、气垫导轨上谐振动的振动研究	110
七、动量守恒定律研究	112
八、机械能守恒定律研究	116
九、弹簧劲度系数研究	119
十、液体比汽化热的测量	120
十一、多普勒效应与声速综合实验	126
十二、利用杨氏模量测定仪来实现金属 线膨胀系数的测定	136
十三、利用气垫导轨设计其他实验	137
参考文献	138
后记	139

绪 论

一、普通物理实验的目的和要求

物理学从本质上说是一门实验科学，特别是普通物理，更是与实验密不可分。任何物理概念的确立和新规律的发现都必须以严格的科学实验为基础；人们所提出的理论是否正确，又必须通过科学实验和生产实践来检验。就像牛顿在 1672 年给他的朋友奥尔登保的信中说的那样：“探求事物属性的准确方法是从实验中把他们推导出来……考察我的理论的方法就在于考虑我所提出的实验是否确实证明了这个理论；或者提出新的实验去验证这个理论。”

在物理学发展过程中，离开了实验，物理理论就苍白无力，就会成为“无源之水，无本之木”，就不可能得到发展。普通物理实验课是对学生进行实验教育的入门课程。通过普通物理实验课程的学习可实现以下目的：

1. 通过普通物理实验严格而系统的训练，可掌握物理实验的基本知识、基本方法和培养做实验的基本技能。

基本知识：实验的原理、各类仪器的结构与工作机理、实验的误差分析与不确定度评定、实验结果的表述方法、对实验结果进行分析与判断等。

基本方法：根据实验目的和要求确定实验的思路与方案、选择和正确使用仪器、减少各类误差、采用一些特殊方法来获得通

常难以获得的结果等。

基本技能：各种调节与测试技术（粗调、微调、调零、读数等）、真空技术（真空获得、维持、测量、应用等）、电工技术（识别元件、焊接、排除故障、安全用电等）、电子技术（微电流检测、弱信号放大等）、传感器技术（力传感器、位移传感器、温度传感器、光传感器等）、金工技术（基本的车工和钳工），以及查阅文献的能力、自学的能力、协作共事的能力、总结归纳能力、口头表达能力。

这三项基本训练体现了最基本的实际动手能力，没有这种基本训练很难成为高素质人才。

2. 通过物理实验训练，学习用实验的方法研究物理现象、验证物理规律，加深对物理理论的理解和掌握，并在实践中提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。

研究物理现象和验证物理规律是进行物理实验的根本目的。而进行物理实验是真正理解和掌握物理理论的重要手段。

3. 通过物理实验训练，培养学生实事求是的科学态度和积极创新的科学精神。

这是在整个教学过程中都要贯彻的要求。物理学研究“物”之“理”，就是从“实事”中去求“是”，只有养成了实事求是的科学态度和积极创新的科学精神，才有可能具备一个科学工作者最基本的素养。

为了更好地实现实验教学目的，提出如下具体要求：

1. 课前预习：预习是上好实验课的基础和前提。不预习可能会听好一堂理论课，但绝不可能完成好一堂实验课。预习的基本要求是仔细阅读实验教材及其他有关资料，通过预习明确实验目的和要求、了解实验原理、弄清实验步骤及应注意事项，初步了解仪器的使用方法，实验前做到心中有数。写出预习报告（有些实验不要求另写正式的报告了，预习报告就是正式实验报告），

画好实验数据记录所需的表格(数据表格是很重要的,往往是真正懂得如何做实验才能画好这个表格)。表中要留有余地,以便在有估计不到的情况发生时能够记录。

2. 进入实验室开始做实验前,要检查和熟悉仪器,根据操作规程安装和调试仪器,然后按实验程序进行实验。

3. 实验过程中,要观察、测量,及时地记录。要先观察所研究的物理现象、看明白仪器的说明书及仪器使用注意的事项,然后再对被研究的现象进行定量测量。在调节时,先粗调后微调;在读数时,应先取大量程后取小量程;测量时应如实、及时地做好记录,记录要条理清晰,字迹清楚,避免错误,不可事后凭回忆“追记”数据,更不可为拼凑数据将记录随心所欲地涂改,设计的数据表中的数据只能用钢笔或圆珠笔填写。同时不要忘记记录有关的实验环境条件、仪器的规格、仪器的精度及测量单位。实验原始数据的优劣决定着实验的成败。

4. 在有关测定进行完后,要及时整理实验数据,经指导老师检查签字后整理好仪器设备,填好“仪器设备使用情况卡”,关好水、电等,方可离开实验室。这些都是一个实验工作者的基本素质,要养成良好的习惯。

5. 交实验报告。做实验时老师要检查本次实验的预习报告,并收取报告。

二、怎样写实验报告

实验报告可以在预习报告的基础上完成,也可以重新另写一份。写实验报告是培养实验研究人才的重要一环。从事实验研究工作的人员一般都需要有一个实验研究记录本,用以记录实验中发生的各种现象和数据,这是科学研究的宝贵资料,一般将长期

保存在实验室中。为了养成良好的完整记录的习惯,训练实验研究工作的基本功,在实验报告中,要求详细记录实验条件、实验仪器、实验环境、实验现象和测量数据。

研究工作取得的成果,一般要写成论文予以发表,为了训练这种对实验成果的表达能力,在实验报告中,要求用自己的语言简要地写明实验目的、原理和步骤并进行适当的讨论。

实验报告的内容主要有以下方面:

1. 简要地阐明为什么和如何做实验。包括实验的目的、原理和步骤。写这些内容时,要尽量用自己的语言,不要从教材、书本或其他地方抄袭。内容应以别人能看懂,自己若干年后也能看懂为标准,篇幅力求简短。

2. 真实而全面地记录实验条件和实验过程中得到的全部信息。

实验条件包括实验的环境(室温、气压等与实验有关的外部条件)、所用的仪器设备(名称、型号、主要规格和编号等)、实验对象(样品名称、来源及其标号等)及其他有关器材。实验过程中要随时记下观察到的现象、发现的问题和自己产生的想法。特别在当实际情况和预期不符时,要记下有何不同。分析为何不同,记录实验数据时要认真、仔细,在记录纸上不要随意涂改。

3. 认真地分析和解释实验结果,得出实验结论不是简单的测量结果,它应包括不确定度的评定、对测量结果与期望值的关系的讨论,分析误差的主要原因和改进方法,还应包括对实验现象的分析与解释,对实验中有关问题的思考和对实验结果的评论等。

4. 实验报告中还可谈谈做本实验的体会、改进之处和对教师的建议。

实验报告是写给同行看的,所以必须充分反映自己的工作收

获和结果,反映自己的能力水平,要有自己的特色,有条理性,并注意运用科学术语,一定要有实验的结论和对实验结果的讨论、分析或评估。实验原理要简明扼要,有必要的电路或光路图等,有主要的数据处理过程,并列实验结果,尤其是利用作图求得的一些物理量。

实验报告内容为:(1)实验名称;(2)实验目的;(3)原理简述(原理图、电路图或光路图,以及主要计算公式等);(4)主要实验仪器设备;(5)实验数据表格、数据处理计算主要过程、作图及实验结果和结论;(6)实验现象分析、误差评估、小结和讨论。

三、实验室规则

普通物理实验课是对学生进行实验教育的入门课程,其教育目的在于使学生学习物理实验基础知识的同时,受到严格的训练,掌握初步的实验能力,养成良好的实验习惯和严谨的科学作风。所以,学生在进实验室做实验时必须遵守以下规则:

1. 在实验室内不允许大声喧哗、说笑打闹、接打手机、听音乐。应严肃认真,细心操作与记录。

2. 做实验前要仔细阅读实验讲义、有关教材内容及参考文献,弄清实验原理,熟悉仪器性能和操作方法,并准备好记录用的纸。

3. 做实验时要使用指定的仪器,实验前要认真检查仪器、用具,如有缺损,立即报告给老师。

4. 在不了解仪器性能时切勿动手操作,使用仪器必须严格遵守操作规程,不许擅自拆卸仪器。

5. 在实验过程中, 如有损坏仪器, 要立即向老师报告, 并写出书面说明, 由实验室根据情况酌情处理。

6. 做完实验后, 认真填写“仪器设备使用情况卡”, 应将实验数据给老师检查、签字后, 才能归整好自己使用的仪器, 并按原来的位置放好, 方能离开实验室。

第一章 物理实验基础知识

一、测量与误差

1. 测量

物理实验以测量为基础。所谓测量，就是用合适的工具或仪器，通过科学的方法，将反映被测对象某些特征的物理量（被测物理量）与选作标准单位的同类物理量进行比较的过程。其比较值即为被测物理量的测量值。

例如，一张桌子的长度和米尺相比，得出桌子为 1.50m；一铁块的质量与砝码相比（通过天平），得出铁块质量为 31.85g 等。

1.1 米的定义

国际单位制的长度单位“米”（m）起源于法国。1790 年 5 月由法国科学家组成的特别委员会，建议以通过巴黎的地球子午线全长的四千万分之一作为长度单位 1m，1791 年获法国国会批准。为了制造出表征米的量值的基准器，在法国天文学家捷梁布尔和密伸的领导下，于 1792—1799 年，对法国敦刻尔克至西班牙的巴塞罗那的距离进行了测量。1799 年根据测量结果制成一根 3.5mm×25mm 矩形截面的铂杆（platinum meter bar），以此杆两端之间的距离定为 1m，并交法国档案局保管，所以也称为

“档案米”。这就是最早的米的定义。

由于档案米的变形情况严重,于是,1872年放弃了“档案米”的米定义,而以铂铱合金(90%的铂和10%的铱)制造的“米原器”作为长度的单位。米原器是根据“档案米”的长度制造的,当时共制出31只,截面近似X形,把档案米的长度以两条宽度为 $6\sim 8\mu\text{m}$ 的刻线刻在尺子的凹槽(中性面)上。1889年在第一次国际计量大会上,把经国际计量局鉴定的第6号米原器(31只米原器中,在 0°C 时最接近档案米的长度的一只)选作国际米原器,并作为世界上最有权威的长度基准器保存在巴黎国际计量局的地下室中,其余的尺子作为副尺分发给与会各国。规定在周围空气温度为 0°C 时,米原器两端中间刻线之间的距离为1m。1927年第七届国际计量大会又对米定义作了严格的规定,除温度要求外,还提出米原器须保存在1标准大气压下,并对其放置方法作出了具体规定。

但是把米原器作为米的客观标准也存在许多缺点,如材料变形、测量精度不高(只能达 $0.1\mu\text{m}$),难以满足计量学和其他精密测量的需要。另外,万一米原器损坏,复制将无所依据,特别是复制品很难保证与原器完全一致,给各国使用带来了困难。因此,采用自然量值作为单位基准器的设想一直为人们所向往。20世纪50年代,随着同位素光谱光源的发展,发现了宽度很窄的氪-86同位素谱线,加上干涉技术的成功,人们终于找到了一种不易毁坏的自然标准,即以光波波长作为长度单位的自然基准。

1960年第11届国际计量大会对米的定义作了如下更改:“米的长度等于氪-86原子的 2P_{10} 和 5d_1 能级之间跃迁的辐射在真空中波长的 1650763.73 倍”。这一自然基准,性能稳定,没有变形问题,容易复现,而且具有很高的复现精度。我国于1963年也建立了氪-86同位素长度基准。米的定义更改后,国

际米原器仍按原规定保存在国际计量局。但是原子光谱的波长太短，又难免受电流、温度等因素的影响，复现的精确度仍受限制。20 世纪 60 年代以后，由于激光的出现，人们又找到一种更为优越的光源，用激光代替氪谱线，可以使长度测量更为准确。只要确定某一时间间隔，就可以光速与这一时间间隔的乘积定义长度的单位。20 世纪 80 年代，用激光测量真空中的光速 c ，得 $c = 299792458 \text{ m/s}$ 。

随着科学技术的进步，20 世纪 70 年代以来，对时间和光速的测定，都达到了很高的精确度。因此，1983 年 10 月在巴黎召开的第 17 届国际计量大会上又通过了米的新定义：“米是 $1/299792458$ 秒的时间间隔内光在真空中行程的长度”。这样，基于光谱线波长的米的定义就被新的米定义替代了。

1.2 千克的来源

国际单位制中米、千克、秒制的质量单位，也是国际单位制的 7 个基本单位之一。法国大革命后，由法国科学院制定。原计划制作的是新颁布的质量的主单位——克的标准器，但因为当时工艺和测量技术所限，故制作了质量是克的 1000 倍的标准器，即千克标准原器——这也是国际单位制中质量单位是千克而不是克的原因。最初的定义和长度单位有关。1791 年规定了 1 立方分米的纯水在 4°C 时的质量，并用铂铱合金制成原器，保存在巴黎，后称国际千克原器。1901 年第 3 届国际计量大会规定：千克是质量（而非重量）的单位，等于国际千克原器的质量。千克用符号 kg 表示。千克力是工程技术中常用的计力单位，规定为国际千克原器在纬度 45° 的海平面上所受的重力。符号为 kgf 。工程技术书中常把“力”字省略，因此易与质量单位混淆，故 20 世纪我国曾规定使用重力又称重量，单位是千克力。

2008 年 4 月, 位于不伦瑞克的德国国家计量研究院的研究人员表示, 他们将采用直径 10cm (4 英寸) 的纯硅体去界定比现在的千克质量定义更为标准的度量方法。目前, 一个质量与千克最接近的铂铱圆柱体, 作为国际统一重量单位一直存放在法国巴黎郊外戒备森严的金库内, 但是由于消耗与磨损, 它的质量正慢慢地减少, 基本单位的准确性受到影响, 误差越来越大。

新的纯硅体确实十分特殊, 耗资 200 万欧元 (约合 320 万美元), 是合俄罗斯、澳大利亚和德国科学精英之力, 历时 5 年打造的, 重量无限接近于 1kg, 是完美的球体, 纯度极高, 99.99% 的材料是一种称为硅 28 的硅同位素。德国不伦瑞克的科学家将对纯硅体实施数千次实验, 以测算制成它的硅原子数量。

2. 测量手段

按获得测量结果的手段不同测量可分为直接测量和间接测量。

2.1 直接测量——是将待测物理量与选定的同类物理量的标准单位相比较, 直接得到测量值。(测桌长、测铁块质量)

2.2 间接测量——是利用直接测量得到的量与被测量之间的已知函数关系, 求得被测物理量。例如, 圆柱体积的测量: $V = 1/4\pi d^2 h$ 。

物理实验当中大部分实验属于间接测量。

测量值 = 读数值 (有效数字) + 单位 (仪器上显示的数字均为有效数字)。

3. 测量误差和不确定度估算

测量: 是指把被测物体与仪器相比较的实验过程。

真值：物理量在一定实验条件下的客观存在值叫做真值。

测量误差：测量值 (x) 与真值 (a) 之差称为测量误差 (ϵ)。

$$\text{测量误差} = \text{测量值} - \text{真值} \quad (\epsilon = x - a)$$

测量误差存在于一切测量过程中，可以控制的范围越来越小，但不可能为零。

测量误差也称绝对误差或真误差。

相对误差：测量误差与被测量的真值的比值称为相对误差。

$$\text{相对误差} = \epsilon / a \times 100\%$$

测量不可避免地伴随有误差。分析测量中可能产生的各种误差，尽可能消除或减少误差影响，并对测量结果的误差作出估计，是物理实验和其他科学实验中不可少的工作。

由于真值是不能确知的，所以测量值的误差也不能确切知道。测量者的任务具体如下：

(1) 给出被测量值真值的最佳估计值。

(2) 给出被测量值真值的最佳估计值的不确定度。

测量中的误差分为系统误差和偶然误差两大类。

3.1 系统误差

定义：在对同一被测物的多次测量过程中，绝对值和符号保持恒定或随测量条件的改变而按确定的规律变化的误差叫做系统误差。

产生原因：由于测量仪器、测量方法、环境带入。

(1) 仪器误差：由于仪器本身的缺陷所造成的误差。如天平左右臂长不完全相等引入的误差、米尺刻度不均匀、温度计零点未校准等，都是仪器误差，也叫系统误差。

(2) 方法（理论）误差：由于实验方法或实验理论公式不完善引起的误差。例如，用分析天平称衡物体质量时，没有考虑空气浮力的影响；在单摆实验中由于摆球不是质点，摆幅过大引入