

第一册

大学物理实验

万春华 主编



南京大学出版社



本书编写人员

主 编 万春华
编 者 苗永智 杨润光 韩光跃 张开德
 王永新 沙振舜 潘元胜 万纯娣
 于 瑶 万春华

书 名 大学物理实验 第一册

主 编 万春华

出 版 者 南京大学出版社

(南京汉口路 22 号南京大学校内 邮编 210093)

印刷 江苏省地质测绘院印刷厂

发行 江苏省新华书店 全国各地新华书店经售

开本 850×1168 1/32 印张 9.5 字数 246 千

1999 年 9 月第 2 版 1999 年 9 月第 1 次印刷

印数 1~4 000

定价 11.80 元

ISBN 7-305-02387-6/O·155

声明: (1) 版权所有, 侵权必究.

(2) 本版书若有印装质量问题, 本社发行部负责退换.

发行部订购、联系电话: 3592317、3596923、3593695

序 言

物理学是研究物质运动的最一般规律和物质结构的学科,是自然科学中的基础学科之一. 物理学的研究归结为理论物理方法和实验物理方法. 这两种研究方法有着内在的联系. 大学物理实验作为一种教学方式是为了给学生奠定实验物理学的基础. 通过这门课程的教学活动,使学生获得实验物理学最基本的知识和技能,并且在这个过程中培养学生初步地建立起实验物理学的基本思维方式和形成初步的从事物理实验研究的能力. 与此同时,还要培养学生逐步地树立起如何将已为人们所掌握的物理规律运用于实际问题的意识和激发学生从事探索未知规律的热情. 科学的发现和科学的实现是实验物理学的两项基本任务. 而大学物理实验则是为培养学生能从事这两项任务奠定基础.

物理实验具有很强的理论联系实际的特性. 因为实验需要理论的指导,但它又是面对着实际的、未被抽象过的物理现象和问题,而且要最终地解决问题. 观察与分析现象,把握现象的本质,排除次要因素的干扰,创造主要规律得以呈现的条件,定量地研究决定基本规律诸因素之间的联系,从实验数据的分析得出正确的结论,如此等等,这既需要掌握一定的实验技能,能够正确组织和使用的实验条件,还需要一整套的科学思维方法,而这一切都是在生动的物理现象的研究过程中进行的. 因此,物理实验对人们认识世界最具有启发性,基础物理实验则是引导学生入门的向导. 事实上,即使是作为验证一些早已被人们从理论上认识的物理规律的实验,在实际的实验过程中也会出现那些在理论研究抽象过程中被排除的一些次要因素的干扰,这些干扰对实验物理工作者来说并不是不值一提的.

南京大学基础物理教研室的教师们根据他们对教学规律的认识和对培养现代人才的要求的理解,在近年来的实验教学改革中做了一点尝试.从整个基础物理实验的教学内容的组织,实验的教学方法的实施和实验的教学要求的确定都与过去传统的做法有了一些变化.这部大学物理实验教材就是在过去几年的实验讲义的基础上编写的.这份教材反映了他们的一些想法和做法.教学改革是一个长期的探索过程,作为一个阶段性的成果,提供给同行们评议和作为进一步改革的新起点.希望国内广大的物理教师和同学能够给他们以批评指正,帮助他们得到进步.

冯致光

识于南京大学

1992年4月

前 言

南京大学物理类专业物理实验课程的教材共四册.本书是其中第一册,又是非物理类专业学生物理实验课教材的全一册.

“大学物理实验”是为南京大学物理类专业一、二年级学生编写的物理实验教科书,其内容安排没有像普通物理学那样按物质运动形态划分为力学、热学、电学、光学等四个部分作为每册的内容,而是按照物理实验课本身的特有规律和结构来划分的.划分的原则是在内容安排上由浅入深,循序渐进,分层组合.在结构处理上,也是从培养学生养成良好的实验习惯,独立完成实验,直到具有相当水平的独立观察研究物理现象,独立完成综合性实验甚至从事简单的科研工作考虑的.本书中除较全面地叙述了基本物理实验方法和数据处理方法外,还列选了基本的、少量应用性的包括力、热、电、光各类实验,因此也适用于非物理类专业学生使用.

我们认为,这样的安排更符合学生的认识和接受规律,也更容易达到实验课以培养学生能力为重点的培养目标.

由于本册书的授课对象是刚入学的一年级学生,在实验课中用到的理论知识,他们在理论课上尚未学到,而且其中一些内容是很难在理论教学课堂上学习到的,因此本书有关原理知识方面介绍得比较系统、详细.此外,本书选入的是一些最基本的力学、热学、电学和光学实验,通过学习这些实验学习到一些基本的实验方法、基本仪器的使用及基本的数据处理方法,力求使学生得到规范化的实验方法训练,在实验能力和实验素养等方面得到严格的良好培养,以期为后续的实验课乃至今后的科学技术工作打下坚实的基础.

本书 1994 年出版以来,随着形势的发展,在内容上作了某些

调整,例如考虑到非物理类专业学生的需要,增加了地磁水平分量的测量,用电视显微油滴仪测电子电荷,夫兰克-赫兹实验等内容.

本册书是在南京大学“大学物理实验(一)”现用讲义的基础上改编的.原讲义是由多年来担任该课的实验室主任张开德、潘元胜、万春华和许多任课教师及有关实验室技术人员的集体劳动形成的成果.其中有些实验是由当时任课教师编写的,后又经历届实验室主任不断充实并延用至今的.有些则是近期任课教师编写或对原实验作了重大改动而重新编写的.现将编者列述如下:

苗永智教授 实验 18

杨润光副教授 实验 8

韩光跃副教授 实验 1

张开德高级工程师 实验 3,15

王永新副教授 实验 19

沙振舜教授 实验 14

潘元胜教授 实验 4

万纯娣副教授 实验 13

于 瑶高级工程师 实验 11(合编),12

万春华教授 实验 5,6,7,9,10,11(合编),16,17,20 以及第一章全部和第二、三、四章的第一节

陈丽如工程师、范全林高级工程师、田文英实验师、孙秀华实验师、施惠宁工程师、王如礼工程师、龚国斌工程师、张久源助理工程师、高惠滨工程师、潘永华工程师、江洪健助理工程师、周惠君助理工程师等对各实验的开设和改进都做了很多工作.

江洪健、周惠君同志在誊写原稿工作中付出了辛勤的劳动.

编者在此对上述同志以及所有对本书的形成作过贡献的同事表示衷心的感谢.

特别要说的是南京大学原副校长冯致光教授对本书的出版和编写自始至终都给予了极其热情的支持和悉心的指导,在此表示深深的谢意.

由于本书的这种编法也是本课程教学改革的一部分,尚属一种新的尝试,对本书诸多不妥和疏漏之处,敬请同行和读者不吝赐教.

编者

1999 年 5 月

目 录

第一章 绪 论

第一节 引言	1
第二节 物理实验的基本方法	3
第三节 物理量的测量结果及其误差的计算和表示	19
第四节 有效数字的基本知识	28
第五节 物理实验中常用的数据处理方法	33
绪论练习	52
书写实验报告参考范例	60
用单臂直流电桥测中等值电阻(实验教材)	60
实验报告书写方法	66
参考文献	71

第二章 力学、热学实验

第一节 力学、热学基本物理量测量及常用仪器介绍	74
第二节 力学、热学实验	94
实验 1 用分析天平测量空气密度	94
实验 2 用扭摆法测定金属(钢)的切变模量和内耗	100
实验 3 用光杠杆法测钢的杨氏模量	106
实验 4 用拉脱法测量液体表面张力系数	112
实验 5 气垫导轨上的碰撞实验	118
实验 6 测定冰的熔解热	123
参考文献	127

第三章 电学实验

第一节 电学实验基本知识	130
实验 7 地磁水平分量的测量	145
实验 8 分压电路和制流电路的特性研究	149
实验 9 补偿电路的应用——电位差计	155
实验 10 示波器的使用	165
实验 11 应变传感器的一种应用	176
实验 12 集成运算放大器及其简单应用	185
实验 13 用电视显微油滴仪测电子电荷	195
实验 14 夫兰克-赫兹实验	203

第四章 光学实验

第一节 光学实验基本知识和仪器	212
第二节 光学实验	233
实验 15 薄透镜焦距的测量	233
实验 16 透镜组基点的测量	240
实验 17 用分光计测量玻璃的折射率	250
实验 18 平行光束在球形界面上的反射和折射	261
实验 19 黑白照相技术(1)——摄影与负片冲洗	267
实验 20 黑白照相技术(2)——印相和放大	271
参考文献	274

附录一 中华人民共和国法定计量单位	275
附录二 常用物理常数表	278
参考书目	293

第一章 绪 论

第一节 引 言

一、物理实验课的意义

物理学是研究物质运动一般规律的科学,普通物理学课程的作用在于使学生建立起全面的系统的有关物质运动的物理概念和物理图像,同时培养和训练学生的物理思维能力.物理学又是一门以实验为基础的学科,物理实验不仅是建立物理理论的源泉,而且是物理理论、学说的检验标准.科学实验与生产实践和自然现象的不同在于:实验能在一定条件下再现某一自然现象,让人们有时间和机会去研究现象发生的原因和规律;实验能把复杂的自然现象分解成为若干简单的现象,以进行个别的和综合的研究;实验还可以实现对研究对象的人为控制,以及对现象进行比较和分析.总之,从一定意义上讲,没有科学实验,就不会有今天的科学技术高度发展.

本世纪 50 年代以前,世界各国对物理实验课的作用,停留在认为“物理实验课程是物理学课程教学的一个环节”的认识上.直到 60 年代初,人们才逐渐认识到科学实验在尖端技术发展中的地位,因此随之而来的以“新物理运动”为出发点的改革浪潮,明确地提出了“加强基础理论教学与加强基础实验教学并重”,于是物理实验教学脱离了物理理论教学而单独开设,并从实验课程的特有规律出发强调实验方法、实验素质的训练.实践证明,物理实验课程在培养学生独立地从事科学技术工作的能力、理论联系实际的分析综合能力与思维和表达能力等方面均具有独特的优势.所以说,“物理实验”这门课程与物理理论课程既有着密切的联系,又有

很大的区别,它不仅仅是向学生传授知识和技能,而且更重要的是培养学生开拓性研究的能力,在科学研究中,常常是实验中的某些物理现象为我们提供了种种线索,而要从这些线索中作出独特的判断,还需要有丰富的想像力去对蕴藏在所有线索后面的令人惊讶的简单而又非常奇特的图像进行猜测,然后再用实验手段来验证这种猜测的正确性,这个想象过程是很难的,又是最具挑战性的.因而,作为一个物理学家,不仅要进行实验,还要去想象、推演和猜测,也就是假设.所以在物理实验课教学过程中,同学们要认识到从事科学实验,动手能力的形成是以实验的基本知识、基本方法、基本技能的熟练掌握为基础的,还要注意到创造性地从事科学实验更需要物理思维能力,因此要求学生主动地寻求和接受这方面的训练和培养.此外,平时还要养成良好的实验素养,比如良好的观察习惯和正确的记录数据方法以及对实验结果的分析与思考等等.

二、物理实验课程的上课方法

(一) 预习阶段

进行物理实验时,应像从事一项科学研究一样,有一个明确目的和思路,实验中需要哪些理论知识,采取什么实验方法,选用何种仪器,如何进行调试和操作等等问题,在实验课前都要搞清楚.这项工作就是预习阶段的内容,预习时除了仔细阅读教材外,还要写一份预习报告,预习报告的内容和格式如下:

一、实验目的. 可参考教材并加上自己的理解,多少不限.

二、实验原理. 这部分要求比较全面和详细,在充分理解了教材内容之后,用自己的语言概括性地叙述该实验的基本原理和测量方法,包括理论依据所用的公式的推导以及结果、图示,例如电路图和光路图等等.

三、实验仪器. 根据实验原理的需要列出本实验所需仪器,在可能条件下注明仪器型号,必要时应列出仪器的使用方法,例如示波器就应适当介绍示波管的结构,以及观察波形的原理.

四、数据记录和处理. 首先要列表格, 为了课上记录数据可在课前根据教材要求列出数据表格, 最好另外用一张纸简略画表, 待课上填好数据, 经任课教师批改无误签字后再抄在报告上的本栏目内.

(二) 上课阶段

上实验课时, 必须按要求正确操作, 包括调整仪器进入使用状态, 进行物理量测量, 并认真和仔细地观察、分析实验中的现象, 正确记录数据. 测量的数据经过任课教师检查确认无误后, 方得拆开电路、整理仪器, 打扫卫生后离开实验室.

(三) 总结阶段

实验报告是实验者工作成绩的总结, 既要全面又要力求简单明了, 应该用语确切、字迹工整, 图表合乎规范并且美观, 这些都可作为自己工作能力的一种训练.

实验报告可以接续预习报告来完成, 首先继续进行第四项, 将表格及数据填好, 接着进行数据处理. 按要求将所列数据进行处理, 以表示出测量的正确结果, 一定要具有误差和有效数字观念.

五、回答思考题和讨论. 教材中, 每个实验后面均列有思考题, 要求予以回答. 此外, 还可以根据自己的实验过程写出心得和看法等讨论内容.

第二节 物理实验的基本方法

物理实验包括在实验室人为再现自然界的物理现象、寻找物理规律和对物理量进行测量三个部分. 因此, 物理实验与物理测量虽然不是一回事, 却有着紧密的联系. 在任何物理实验中, 几乎都含有测量物理量的内容, 故人们有时也把物理量测量称为物理实验, 而且把具有共性的测量方法归纳起来, 叫做物理实验方法. 下面简介几种基本物理实验方法.

一、比较法

比较法是物理量测量中最普遍、最基本的测量方法.它是将被测量与标准量进行比较而得到测量值的.比较法可分为直接比较和间接比较两类.

直接比较是将被测量与同类物理量的标准量具直接进行比较,这就要求事先制成很多供比较用的标准量具,如砝码、直尺、角规等,它们均被赋予标准量值,供比较使用.

有些物理量难于制成标准量具,因而先制成与标准量值有关的仪器,再用这些仪器与待测量进行比较,这种仪器也可称为量具,比如温度计、电表等均是量具.

有时,仅有标准量具还不够,还要配置比较系统,使被测量和标准量具能够实现比较,比如,只有标准电池还不能直接用补偿法测电压,还需要由比较电阻等附属装置组成电位差计方可用来测电压,这些装置便称为比较系统.

还可以将被测量转换为能进行比较的另一种物理量再进行比较,比如用李萨如图形测量交流电信号频率就是先将被测信号和标准信号同时输入示波器转换为特殊图形后,再由标准信号的频率换算出被测信号之频率.

在测量中常用的代替法、置换法,其实也是比较法的一种,它的特点是异时比较.

实际上,所有测量都是将待测量与标准量进行比较的过程,只不过比较的形式不都那么明显而已.

二、放大法

在测量中,有时由于被测量过分小,以至无法被实验者或仪器直接感觉和反应,那么可以先通过某种途径将被测量放大,然后再进行测量.放大被测量所用的原理和方法便称为放大法.

许多物理量的测量,最后往往都归结为长度或角度的测量,所以长度和角度的放大是放大法的主要内容.下面列举几种实例.

(一) 光杠杆法测微小长度变化

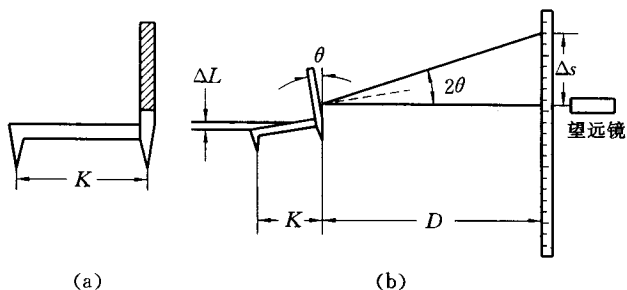


图 I-1 光杠杆放大系统

图 I-1(a)是光杠杆示意图,一个小平面镜装在三足架上,小平面镜平面通过两前足并与三个足尖决定的平面垂直,后足与被测物一端的接触.当后足随被测物一端一起上升或下降了 ΔL 时,镜面法线将转过一个 θ 角,从而使入射到望远镜的光线改变 2θ 角,如图 I-1(b).用望远镜观察从平面镜中反射而得到米尺的像,则可发现叉丝所对准米尺像上的读数变化了 Δs ,它和光束转过的 2θ 角相对应.设光杠杆后足到前足连线的距离为 K .因后足位移为 ΔL ,则从图 I-1(a)可得

$$\tan\theta \approx \frac{\Delta L}{K},$$

$$\tan 2\theta \approx \frac{\Delta s}{D},$$

当 ΔL 值很小时, θ 很小,于是有近似关系

$$\theta \approx \frac{\Delta L}{K},$$

$$2\theta \approx \frac{\Delta s}{D},$$

可得

$$\Delta L \approx K \cdot \frac{\Delta s}{2D}.$$

于是难于测量的微小量 ΔL 的测量,被放大为 Δs 的测量,这里定义

$$B = \frac{\Delta s}{\Delta L} = \frac{2D}{K} \quad (1-1)$$

为光杠杆系统的放大倍数. 增加 D 或减小 K 均可提高装置的放大倍数,放大倍数越大,测量精度越高,但过分减小 K 会导致 θ 变大,从而破坏了测量原理所要求的近似条件,因此,常常用适当调节 D 值的大小来获得可资使用的数据.

(二) 用镜尺法测量微小角度

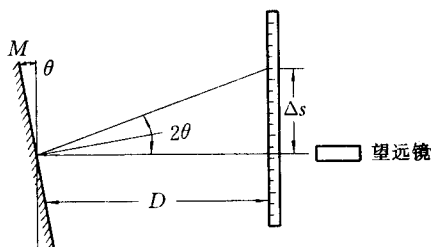


图 1-2 镜尺放大原理

图 1-2 是用平面镜和直尺组成的镜尺系统,可以将微小角度放大,然后转化为长度(或弧长)测量. 光点式悬线电表就是用此方法来测量角度的. 将平面镜 M 与待测系统联结在一起,当它们一起转动了 θ 角时,来自垂直方向的入射光线被镜面反射后,偏离了 2θ 角,于是物体转动的角度被放大了两倍. 而且,还可以将角度的测量转变成长度(或弧长)的测量. 由图 1-2 得

$$\tan 2\theta = \frac{\Delta s}{D},$$

式中 Δs 为光点在标尺上移动的距离, D 是反射镜到标尺的距离. 于是,角度 θ 的测量转换成长度 Δs 的测量. D 越大, Δs 也越大,测量的精度越高.

(三) 视角放大法

正常人的眼睛能够分辨的角度约为 $1'$ ，它在明视距离(约为 25cm)所对应的长度约为 0.07mm，小于这个距离的图样细节人眼便不能分辨，一些复杂的图样的细节因不能分辨而被看成只是一个点。为了提高人眼分辨图样细节的能力，可将图形对人眼的张角加以放大，比如放大镜、显微镜和望远镜等均是视角放大的仪器。由于这些仪器在观察中只起放大视角作用，并非把实际尺度加以变化，所以并不增加误差，因而许多仪器都在最后的读数装置上加一个视角放大设备以提高该仪器的测量精度。

(四) 螺旋放大

螺旋测微计和读数显微镜都是用螺旋放大进行精密测量的。将与被测物关联的测量尺面与螺杆连在一起，螺杆尾端加上一个圆盘，称为转鼓，如图 1-3 所示。设其边缘等分成 50 格，转鼓每转一圈，恰使测量尺面移动 $l=0.5\text{mm}$ 。那么当转鼓转动一小格时，尺面便移动了 0.01mm。若转鼓尺寸制得大些，比如转鼓外径 $D=16\text{mm}$ ，则周长 $L=\pi D\approx 50\text{mm}$ ，每一格的弧长便相当于 1mm 的长度，也就是说当测量尺面移动 0.01mm 时，在转鼓上变化了 1mm，于是微小位移被放大了。其放大倍数为

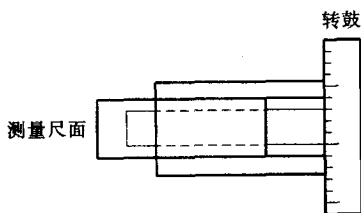


图 1-3 螺旋放大原理

$$\beta = \frac{\pi \cdot D}{l} = \frac{50\text{mm}}{0.5\text{mm}} = 100,$$

这种装置使测量的精度提高了 100 倍。

利用机械的方法，将微小长度的测量加以放大，称为机械放大。

电学实验中，微小的电流或电压常需用电子仪器将被测信号加以放大之后再测量，属电子电路方法放大。

三、补偿法

补偿法在物理实验中常被使用,它的定义如下:某系统受某种作用产生 A 效应,受另一种同类作用产生 B 效应,如果由于 B 效应的存在而使 A 效应显示不出来,就叫做 B 对 A 进行了补偿.补偿方法大多用在补偿法测量和补偿法校正系统误差两个方面.

(一) 补偿法测量

设某系统中 A 效应的量值为被测对象,但由于物理量 A 效应量值不能直接测量或难于测准,就用人为方法制造出一个 B 效应与 A 补偿,制造 B 效应的原则是 B 效应的量值应易于测量或已知.于是用测量 B 效应量值的方法求出 A 效应的量值.

我们常见的测力仪器,比如天平、弹簧秤等都是采用了最简单的补偿法所形成的补偿装置.其根据是,因为在力学测量中常常是人为施力于系统使之与待测力达到平衡,也就是与待测力补偿从而求得待测力的.

完整的补偿测量系统由待测装置、补偿装置、测量装置和指零装置组成.待测装置产生待测效应,要求待测量尽量稳定,便于补偿.补偿装置产生补偿效应,要求补偿量值准确达到设计的精度.测量装置可将待测量与补偿量联系起来进行比较.指零装置是一个比较系统,它将显示出待测量与补偿量比较的结果.比较方法可分为零示法和差示法两种,零示法称完全补偿,差示法称不完全补偿.人们一般都采取零示法,这是因为人的眼睛对刻线重合比刻线不重合而去估读的判断能力要高出 10 倍,从而可以提高补偿测量的精度.

补偿法测量应用广泛,下面举两种常见的应用实例.

1. 电位差计

电位差计是测量微小电压和电动势的装置,其特点是精度很高,例如 UJ-24 型电位差计可精读到 10^{-6}V .

如果用电压表测量电压,因电压表自身的分流作用总会改变原来电路的参量,因而产生误差.用电位差计测电压时,对原电路