



普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 新编

# 基础物理实验

吕斯骅 段家祇 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 新编基础物理实验

吕斯骅 段家祗 主编

高等教育出版社

## 内容简介

本书是北京大学基础物理实验教学中心十年教学改革成果之一,是普通高等教育“十五”国家级规划教材。基础物理实验的首要任务是“加强基础”,本书的选题反映了作者对什么是物理实验“基础”的理解。基础实验 - I 和基础实验 - II 是本书的重点,既保留了原“普通物理实验”中的精华,又引进了一批有近代物理内容和实验技术的实验,如低温、真空、超导、传感器、虚拟仪器、光纤、光谱、微波、核物理、X光、核磁共振等方面的实验。

本书的编排打破了原普通物理实验中力、热、电、光的界线和普通物理实验与近代物理实验的界线,分为预科实验、基础实验 - I、基础实验 - II、设计实验和综合物理实验五部分。综合物理实验部分(基础物理阶段)的课题均来自教学、科研和生产,学生可以用一个学期的时间完成一个课题,这些题目能够激发学生的学习兴趣,增强学生的实践能力,并能培养学生的创新能力,作者精选部分题目以论文和讲稿的形式收录在光盘中,供读者参考。

本书可作为高等学校理科各专业教科书或参考书,并适合不同层次的教学需要。

## 图书在版编目(CIP)数据

新编基础物理实验/吕斯骅,段家柢主编. —北京:  
高等教育出版社, 2006.1  
ISBN 7-04-017679-3

I.新... II.①吕...②段... III.物理学-实验-  
高等学校-教材 IV.O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 106804 号

策划编辑 刘伟 责任编辑 陈海柳 封面设计 王凌波 责任绘图 黄建英  
版式设计 胡志萍 责任校对 金辉 责任印制 杨明

---

|      |               |      |  |
|------|---------------|------|--|
| 出版发行 | 高等教育出版社       | 购书热线 | 010-58581118   |
| 社址   | 北京市西城区德外大街4号  | 免费咨询 | 800-810-0598   |
| 邮政编码 | 100011        | 网址   | <a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a><br><a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>                       |
| 总机   | 010-58581000  | 网上订购 | <a href="http://www.landracoco.com">http://www.landracoco.com</a><br><a href="http://www.landracoco.com.cn">http://www.landracoco.com.cn</a> |
| 经销   | 蓝色畅想图书发行有限公司  | 畅想教育 | <a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>  |
| 印刷   | 北京市联华印刷厂      |      |  |
| 开本   | 787×1092 1/16 | 版次   | 2006年1月第1版   |
| 印张   | 35.25         | 印次   | 2006年1月第1次印刷   |
| 字数   | 860 000       | 定价   | 41.70元(含光盘)  |

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17679-00

## 编者的话

十年思考,十年改革,十年实践,十年奋斗。本书是北京大学基础物理实验教学中心十年教学改革的成果之一。

十年前我们从教学和科研的实践中已深刻地认识到,当时的物理实验课程已严重地滞后于物理学科和科学技术的现状,到了非改不可的地步。培养满足 21 世纪需要、又有创新能力的人才是我们教育工作者义不容辞的任务,但在基础课特别是基础物理实验课中如何贯彻这一精神是我们必须思考的问题。培养学生的创新能力是我们的最终目标,在四年培养过程中各门课程都有各自的培养目标。基础物理实验是学生本科阶段接触的第一门实验课,而我们的学生在中学阶段的物理实验训练比较薄弱,因而打好基础显得尤为重要。所以我们改革的首要任务是“加强基础”,这也符合目前大家公认的“加强基础,淡化专业”的教学改革的方向。但什么是基础,这是改革中不能回避的问题,它具体地体现在实验的选题上。不同的时期对基础的要求会有很大的差异,知识和科技更新的加速,迫使我们必须重新审视“基础”的内涵。例如,数字天平和数字电表的普及,已使光电天平和电位差计退出了历史舞台,使指针式电表在人们的记忆中淡化。传感器与计算机的发展和运用打破了传统的力、热、电、光的界线,促进了它们之间的融合。低温、光谱、真空、磁共振等一些属于原近代物理实验范畴的内容和技术已广泛用于科研、生产和人们的日常生活中,它们是物理实验中最有活力和应用价值的部分,理所当然要把这些内容反映到我们的教学中来。本书的选题正反映了我们对什么是“基础”的理解。我们在力、热实验中增加了低温、真空、材料热导方面的实验;在电磁学实验中加强了示波测量,用读出示波器和数字存储示波器替代了普通的模拟示波器,引进了虚拟仪器;光学实验中用光学平台取代了光学导轨,用光栅光谱仪替代了棱镜摄谱仪,用光电传感器取代了目视观察,使定性观察提高为定量测量;将核物理、X 光、核磁共振、微波等一批重要的近代物理实验内容和技术引入基础物理实验课程。

如何“因材施教”培养优秀人才也是我们重点思考的问题,一方面要创造条件使拔尖人才迅速成长,但更重要的是让全体学生都从改革中受益,前面提到的实验都是面向全体学生的。原来的物理实验课按照力、热、电、光这样的学科体系来安排实验,相互独立排课而没有联系。科学的发展已打破这些学科间的界线,同时考虑到中国学生的特点和循序渐进的认识规律,我们对课程的体系作了调整。考虑到中学实验教育的差异,我们安排了几个预科实验以缩小学生地区间的差别。基础实验 - I 中包含力、热、电、光方面最基本的实验,重点强调基本知识、基本技能、基本方法的训练,培养学生做实验的好“习惯”。基础实验 - II 挑选了一些综合性、应用性强的物理实验,对学生以后的学习和工作打下一个有用的基础。为激发学生学习的积极性,使优秀学生学到更多的东西,我们在基础物理实验阶段安排了三个层次的设计实验内容。第一层次是学生在完成必做的实验内容后安排一些选做的内容,供有余力的学生选择。第二层次是用几周的时间安排一定数量的设计性实验,要求学生运用学到的知识来独立完成一些小课题,具体题目已列入本书中。第三层次我们称为综合物理实验(基础物理阶段),学生用一个学期的时间完成一个课题,这些课题均来自教学、科研和生产,每年的课题都不一样,自从 1997 年开设综合实验课以来,八

年共完成一百多个课题,其中也有一些学生自己提出的课题。综合物理实验这些真刀真枪的题目激发了学生的学习兴趣,增强了实践能力,使学生的创造才能得以充分发挥,培养了学生的创新能力。本书所附的光盘中就是他们发表的论文和部分课题总结,以供读者参考,遗憾的是前几年的资料已收集不到了,还有学生编写的CAI课件也未收入光盘。

十年在历史的长河中只是眨眼就过的瞬间,但在人生的里程中,十年是一段漫长的、值得回忆的历程。我们为基础物理实验课的改革努力工作了十年,谨以此书答谢十年来支持我们工作的学校和学院的领导以及参与工作的全体同事。

直接参与本书编写的有吕斯骅、段家恂、陈凯旋、季航、钟灿涛、吴思诚、陆果、荀坤、刘志渊、冯庆荣、王德煌、王胜、元民华、廉宗隅等老师。参加前一版编写的有张洁天,刘进,吴建华,张毓英,刘雪林,王祖铨,蒋以立等老师,本书的出版也有他们的功劳,郑纹工程师整理了综合物理实验(光盘)的资料并编写了光盘检索程序,在此一并表示感谢。同时感谢高等教育出版社胡凯飞和刘伟两位编辑为本书的出版给予的支持。

我们渴望减少书中的不妥和错误,但愿望与现实总有差距,如有不当之处,望读者不吝指正。

编者

2005年4月

# 目 录

|          |   |
|----------|---|
| 绪论 ..... | 1 |
|----------|---|

## 预 科 实 验

|                        |    |                      |    |
|------------------------|----|----------------------|----|
| 实验一 单摆实验 .....         | 6  | 实验五 普通模拟示波器的使用 ..... | 34 |
| 实验二 测定冰的熔化热 .....      | 9  | 实验六 测量薄透镜的焦距 .....   | 45 |
| 实验三 电学实验基本知识 .....     | 15 | 实验七 显微镜 .....        | 51 |
| 实验四 测量非线性元件的伏安特性 ..... | 29 |                      |    |

## 基础实验 - I

|                         |     |                                   |     |
|-------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| 实验八 测量误差和不确定度 .....     | 58  | 实验十九 非平衡电桥测量铂电阻的温度系数 .....        | 153 |
| 一、测量误差和测量结果的不确定度 .....  | 58  | 实验二十 霍尔效应测量磁场 .....               | 159 |
| 二、处理数据的几种方法 .....       | 72  | 实验二十一 $RC$ 和 $RL$ 串联电路的稳态特性 ..... | 165 |
| 三、关于不确定度的进一步的知识 .....   | 79  | 实验二十二 $LCR$ 电路的谐振现象 .....         | 171 |
| 实验九 测定金属的杨氏模量 .....     | 93  | [附录] 读出示波器的使用 .....               | 175 |
| 一、CCD 成像系统测定杨氏模量 .....  | 93  | 实验二十三 弗兰克-赫兹实验 .....              | 182 |
| 二、光杠杆装置测定杨氏模量 .....     | 98  | 实验二十四 虚拟仪器基础——LabVIEW 入门 .....    | 188 |
| 三、梁的弯曲测定杨氏模量 .....      | 102 | 实验二十五 分光计的调节和用掠入射法测折射率 .....      | 203 |
| 实验十 刚体转动实验 .....        | 107 | 实验二十六 光学成像系统的分辨本领 .....           | 211 |
| 一、转动法测定刚体转动惯量 .....     | 107 | 实验二十七 光的干涉现象 .....                | 214 |
| 二、扭摆法测定刚体转动惯量 .....     | 111 | 实验二十八 夫琅禾费衍射现象 .....              | 220 |
| 实验十一 气轨上弹簧振子的简谐振动 ..... | 113 | 实验二十九 光衍射的定量研究 .....              | 225 |
| 实验十二 扭摆的受迫振动 .....      | 117 | 实验三十 观察光的偏振现象 .....               | 232 |
| 实验十三 复摆实验 .....         | 122 | 实验三十一 迈克耳孙干涉仪 .....               | 239 |
| 实验十四 测定空气的密度 .....      | 128 | 实验三十二 光纤光学 .....                  | 246 |
| 实验十五 测定媒质中的声速 .....     | 134 |                                   |     |
| 实验十六 弦上驻波实验 .....       | 139 |                                   |     |
| 实验十七 冷却法测定液体的比热容 .....  | 144 |                                   |     |
| 实验十八 直流电桥测量电阻 .....     | 147 |                                   |     |

## 基础实验 - II

|                          |     |                               |     |
|--------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 实验三十三 用玻尔共振仪研究受迫振动 ..... | 260 | 实验三十四 共振法测定杨氏模量及其与温度的关系 ..... | 263 |
|--------------------------|-----|-------------------------------|-----|

|   |     |   |     |
|---|-----|---|-----|
| 实验三十五 高温超导材料特性测试和低温温度计 .....            | 269 | 实验四十七 光栅特性及测定光波波长 .....                 | 375 |
| 实验三十六 闪光法测定不良导体的热导率 .....               | 280 | 实验四十八 偏振光的定量研究 .....                    | 380 |
| 实验三十七 动态法测定良导体的热导率 .....                | 289 | 实验四十九 全息照相 .....                        | 390 |
| 实验三十八 真空镀膜 .....                        | 296 | 实验五十 阿贝成像原理和空间滤波 .....                  | 397 |
| 实验三十九 交流电桥 .....                        | 304 | 实验五十一 光源的时间相干性 .....                    | 403 |
| 实验四十 交流电路 .....                         | 310 | 实验五十二 光栅光谱仪的校准和使用 .....                 | 410 |
| 一、单相供电电路及单相异步电动机 .....                  | 310 | 实验五十三 颜色的测定 .....                       | 415 |
| 二、测量交流电路功率 .....                        | 316 | 实验五十四 黑体辐射实验 .....                      | 426 |
| 实验四十一 RLC 串联电路的暂态过程 .....               | 322 | 实验五十五 激光相位调制干涉型光纤温度传感器 .....            | 435 |
| [附录] 数字存储示波器 .....                      | 329 | 实验五十六 用光学多通道分析器(OMA)研究氦原子光谱 .....       | 442 |
| 实验四十二 虚拟仪器在物理实验中的应用——伏安法测电阻与非线性元件 ..... | 337 | 实验五十七 用 $\beta$ 粒子验证狭义相对论的动量-动能关系 ..... | 447 |
| 实验四十三 磁滞回线的测量 .....                     | 342 | 实验五十八 激波的布拉格衍射 .....                    | 452 |
| 一、静态法测量软磁材料的磁滞回线 .....                  | 342 | 实验五十九 X 射线的吸收 .....                     | 457 |
| 二、示波器观测动态磁滞回线 .....                     | 347 | 实验六十 X 射线衍射 .....                       | 466 |
| 实验四十四 介电常数的测量 .....                     | 351 | 实验六十一 核磁共振 .....                        | 471 |
| 实验四十五 集成运算放大器的应用 .....                  | 361 | 实验六十二 核磁共振成像 .....                      | 477 |
| 实验四十六 测定物质的色散曲线 .....                   | 371 | 一、用自旋回波法测弛豫时间 .....                     | 477 |
|   |     | 二、核磁共振成像 .....                          | 485 |

## 设计实验

|                          |     |  |     |
|--------------------------|-----|--|-----|
| 设计实验一 测定速度和加速度 .....     | 494 | 设计实验六 用传感器测弯曲应变并测定材料的杨氏模量 .....            | 501 |
| 一、用极限法测定瞬时速度 .....       | 494 | 设计实验七 自组光路用伸长法测定金属丝的杨氏模量 .....             | 502 |
| 二、测定瞬时速度和加速度 .....       | 494 | 设计实验八 冷却规律的研究 .....                        | 503 |
| 三、测定重力加速度 .....          | 495 | 设计实验九 温差电偶和 P-N 结温度计在 77~300 K 温区的标定 ..... | 504 |
| 设计实验二 测量质量和密度 .....      | 496 | 设计实验十 简易万用电表的设计及校准 .....                   | 505 |
| 一、测量质量 .....             | 496 | 设计实验十一 测定光电二极管特性 .....                     | 508 |
| 二、测定密度 .....             | 496 | 设计实验十二 研究 P-N 结的温度特性 .....                 | 509 |
| 设计实验三 测定角速度和角加速度 .....   | 497 |  |     |
| 设计实验四 用应变片研究碰撞过程 .....   | 498 |  |     |
| 一、瞬时力的微机实时测量 .....       | 498 |  |     |
| 二、冲量的测量和直接检验动量定理 .....   | 498 |  |     |
| 设计实验五 用霍尔传感器研究碰撞过程 ..... | 500 |  |     |

|         |                       |     |         |                            |     |
|---------|-----------------------|-----|---------|----------------------------|-----|
| 设计实验十三  | 热敏电阻温度开关              | 510 | 设计实验二十九 | 基于 LabVIEW 的线性刻度的热敏电阻虚拟体温计 | 537 |
| 设计实验十四  | 制作数字温度计               | 511 | 设计实验三十  | 虚拟相关法测量相位差                 | 538 |
| 设计实验十五  | 制作数字频率计               | 512 | 设计实验三十一 | 虚拟 RLC 测试仪                 | 540 |
| 设计实验十六  | 用电流场模拟静电场             | 518 | 设计实验三十二 | 用 M-干涉仪测量物质折射率和物体厚度        | 541 |
| 设计实验十七  | 测量地磁场强度的水平分量          | 519 | 设计实验三十三 | 用光栅多色仪测量蓝光发光材料的光吸收特性       | 542 |
| 设计实验十八  | 测量磁场分布                | 520 | 设计实验三十四 | 标定棱镜单色仪波长与鼓轮读数的关系          | 543 |
| 设计实验十九  | 测定互感器的互感系数            | 521 | 设计实验三十五 | 用极限法测液体折射率                 | 545 |
| 设计实验二十  | 用霍尔传感器测量电机转速          | 522 | 设计实验三十六 | 比较 CD 和 VCD 光盘的刻线密度        | 546 |
| 设计实验二十一 | RC 移相电路及测量相位差         | 523 | 设计实验三十七 | 测定太阳镜防紫外线的能力               | 547 |
| 设计实验二十二 | 研究 F-H 实验中栅极电位和温度的影响  | 524 | 设计实验三十八 | 制作全息光栅                     | 548 |
| 设计实验二十三 | 用 F-H 实验装置研究 Hg 的高激发态 | 525 | 设计实验三十九 | 像面全息                       | 549 |
| 设计实验二十四 | 测定真空二极管阴极材料的逸出功       | 526 |         |                            |     |
| 设计实验二十五 | 红外传感探测器               | 527 |         |                            |     |
| 设计实验二十六 | 超声测距                  | 528 |         |                            |     |
| 设计实验二十七 | 智能检测                  | 529 |         |                            |     |
| 设计实验二十八 | 虚拟频谱分析仪               | 536 |         |                            |     |

### 综合物理实验(光盘)

|            |     |                |     |
|------------|-----|----------------|-----|
| 一、学生已发表的论文 | 552 | 二、综合物理实验报告(选编) | 552 |
|------------|-----|----------------|-----|



## 绪 论

物理学是一门重要的基础学科,是整个自然科学的基础.物理学的发展不仅推动了整个自然科学,而且对人类的物质观、时空观、宇宙观和对整个人类文化都产生了极其深刻的影响.物理学又是当代技术发展的最主要源泉.

物理学是实验的科学.人们通过观察物理现象,定量测量或测定物理量,并根据测量结果分析这些物理量之间的关系,从而实现了对物理规律的认识和证实.物理实验在物理学的建立发展过程中起着重要的和直接的推动作用,它是物理学的基础.对于已经建立起来的物理定理,如果和新的实验事实发生矛盾,就必须加以修正或改造.这样,物理学不断获得新的发展.正因为物理实验这样重要,而且它又有自身的特点和一套实验知识、实验方法、实验技术等独特的内容,所以在高等学校开设物理理论课的同时,还开设了物理实验课.这两门课程虽然有密切的联系,但是也有明显的区别.它们反映了人们研究物理学的两个不同的侧面.

物理实验是用实验的方法去研究物理学的规律.物理实验课的一个显著特点是它的实践性.做实验的时候,要充分考虑到各种实际的情况,得出的结论要尽量符合实际.在上物理理论课时,大家学习过质点、刚体的概念;在分析物体的某些运动时,常常假设运动是没有摩擦的.这种经过抽象的、理想化了的模型,对于理论研究无疑是重要的,但是在做实验的时候,情况就不同了.你到哪里去找真正的质点、刚体和没有摩擦的运动呢?这是找不到的.即使一个布朗微粒,它也有一定大小的体积,否则它就不会在同一时刻受到很多液体分子或气体分子在不同方向上的撞击;即使很坚硬的钢铁,它也有一定程度的弹性,否则就无法测量声波在其中传播的速率;气垫导轨是一种低摩擦实验装置,滑块在上面运动的摩擦阻力是很小的,可是气垫导轨上的不少物理实验,正是研究摩擦阻力对实验结果的影响;在实际生活中,甚至连一个真正的圆球也难以找到,因为对一个实际的“圆球”从不同的方向测量它的直径,数值往往是不相同的.所以实际情况与理想化了的模型是不同的.做实验的时候,就要考虑到这些差别.

实践性的另外一层意思是动手能力的培养和锻炼,这在实验课中占有重要的地位.必须进行实际的操作,光说不练是不行的.有的同学认为只要把实验原理、仪器装置、实验方法都看明白了,不必动手测量和计算,或者只粗略地测量和估算一下,就算完成了实验.他们对实际的操作和计算缺乏兴趣,认为这并不重要,这种看法是不对的.要知道如果不去仔细地调整实验装置,不去仔细地进行测量和计算,就不能了解实验的微妙之处,就不能学到实验的真谛.这些同学往往眼高手低,“一看就懂,一做就错”.这也反映了他们对实验课的特点还缺乏认识.

大家可能很欣赏物理理论课程的系统性、逻辑性.在这方面,实验课的情况又不太相同.两个不同的实验题目之间可能很少有直接的内在联系,所以有时先做哪一个实验无关紧要.这也是实验课和理论课不同的地方.然而,一个物理实验涉及到的知识领域往往是很宽广的,即使一个简单的力学实验,也常常涉及到电学、光学、热学、机械学、电子学和计算机等方面的知识.所以物理实验课的另一个特点是综合性.它要求我们在做实验的时候,要根据具体情况灵活应用我们曾经学过的一切知识.一个优秀的实验工作者,他的知识面必须很宽广,不仅有丰富的理论知识,还要

有丰富的实践经验;不仅在某一学科有较深的造诣,而且在其他学科领域也有一定的修养.有的人重理论,轻实验,认为搞理论高深复杂,搞实验低级简单.这实在是一种误解.目前我国的学生与发达国家的学生相比较,在理论知识方面并不比他们差,然而在实验方面,在动手能力方面,还存在一定的差距.这种情况应该引起我们的注意.

在谈了物理实验的重要作用 and 物理实验课的特点之后,再来谈谈开设物理实验课的目的以及怎样才能学好这门课程.

开设物理实验课的目的简单说来有以下三点:

首先,使学生学到物理实验的基本知识、基本方法和基本技能.包括学会使用各种测量仪器,了解各种物理量的测量方法,学会观察分析各种实验现象,还要了解测量误差的理论知识,学会正确地记录和处理数据,正确地表达实验结果,对实验结果进行正确的分析评价,并在扎实的基本训练基础上,进一步进行设计实验,让学生通过自己设计实验,独立进行实验观测的过程,去发现新现象,研究新问题,并总结出规律性的实验结果,提高实验能力,为以后的科学研究工作或其他科学技术工作打下良好的实验基础.

第二,逐步培养起严肃认真、实事求是的科学态度和工作作风,养成良好的实验习惯.科学是老老实实的学问,来不得半点虚假和马虎.良好的实验习惯是做好实验的重要条件,一旦形成不好的习惯,以后就很难改正.要在每次实验中有意识地锻炼自己.

第三,通过实际的观察和测量,加深对物理理论知识的理解和掌握.同时激发大家对学习物理科学的兴趣.

为了上好每一次物理实验课,同学们要做好以下三个环节的工作:

(1) 做好预习:实验课前要把讲义上的实验内容仔细阅读一遍,弄明白这次实验的目的要求,依据什么原理和公式,有什么近似条件和要求;使用什么实验方法,特别是基本的测量方法;使用什么实验仪器以及要注意什么问题等.要准备一个实验记录的本子,预先写好测量公式、测量步骤,画好电路图、光路图、数据表格,以备上课时使用.

(2) 做好实验:到实验室后要遵守有关的规章制度,爱护仪器设备,注意安全.动手之前要先了解仪器的性能、规格、使用方法和操作规则,不要乱动仪器.调整仪器装置时要仔细认真,一丝不苟.还要注意满足测量公式所要求的实验条件.在整个实验过程中,要脑手并用.一方面,要多动脑筋,头脑里要有清晰的物理图像,对实验原理有比较透彻的理解,对实验中出现的各种现象要仔细观测.要有意识地去学着分析实验,对实验得到的结果要想一想是否合乎物理规律,有没有道理.在进行某些操作之前,先想想可能会出现什么结果,然后再看看是否和预期的相符合.如果不相符合,要仔细分析原因,找出改进措施,绝不能拼凑数据.实验中不要只是机械地按讲义上或教师要求的实验步骤一步一步做完就算完事.实验过程中思想状态是积极主动的,还是消极被动的,对收获大小的影响极大.另一方面,要注意培养和锻炼自己的动手能力.实验操作要做到准确、熟练、快速.如在力学实验中如何调水平、调铅垂;在电学实验中如何连接电路;在光学实验中如何调节元件共轴等,都是一些很基本的操作,都应该熟练掌握.动手能力还表现在能否及时发现并排除实验中可能遇到的某些故障.仪器装置的小毛病,可以在教师指导下自己动手解决.要注意学习教师是如何判断仪器故障,如何修复仪器的(指可能当场修复的情况).实验中还要养成记录好原始数据(就是在测量时直接从仪器上读出来的数据)的习惯,要一边测量,一边及时记录,要记得准确、清楚、有次序.做完实验,要将实验数据交给教师检查,得到认可后,再将仪器归

整复原好,方可离开实验室.

(3) 写好实验报告:实验报告是对实验的全面总结.内容除实验名称和姓名外,一般包括:实验目的、仪器用具、原理公式、数据及结果等.要用指定的实验报告用纸并按规定的格式书写实验报告,要字迹清楚、文理通顺、图表正确.准确、完整而简明地表述实验报告中各部分内容,以上是实验课训练的重要方面之一.要按时交实验报告.

上述三个环节中,第二个环节虽然是主要的,但是对第一、第三个环节也绝不应忽视.只有这三个环节都做好了,才算是上好了物理实验课.



# 预 科 实 验

## 实验一

### 单摆实验

#### 【目的要求】

- (1) 用单摆测定重力加速度；
- (2) 学习使用计时仪器(停表、光电计时器)；
- (3) 学习在直角坐标纸上正确作图及处理数据；
- (4) 学习用最小二乘法进行直线拟合。

#### 【仪器用具】

单摆装置,带卡口的米尺,游标卡尺,电子停表,光电计时器。

#### 【实验原理】

把一个金属小球拴在一根细长的线上(见图 1-1)。如果细线的质量比小球质量小很多,而球的直径又比细线的长度小很多,则可将此装置看作是一个不计质量的细线系住一个质点,这就是单摆。略去空气的阻力和浮力,在摆角很小时,小球的运动方程是

$$\ddot{x} + \frac{g}{l}x = 0 \quad (1.1)$$

式中: $x$  是从平衡点开始计算的位移; $g$  是重力加速度; $l$  是单摆的摆长。

式(1.1)的解为

$$x = A \cos(\omega t + \alpha) \quad (1.2)$$

式中: $A$  和  $\alpha$  由初始条件决定; $\omega$  是角频率,

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

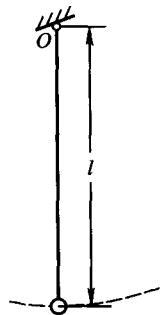


图 1-1 单摆示意图

单摆周期为

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1.3)$$

式中:单摆的摆长  $l$  是从悬点到小球球心的距离。

可见单摆周期只与摆长和重力加速度有关。如果测量出单摆的摆长和周期,就可以计算出重力加速度  $g$ 。这是粗略测定重力加速度的一个简便方法。

#### 【实验内容】

1. 固定摆长,测定重力加速度  $g$

(1) 取摆长  $l$  为 100 cm 左右,用带刀口的米尺测量从悬点  $O$  到小球最低点  $A$  的距离  $l_1$ ,用游标卡尺测小球沿摆长方向的直径  $d$ ,则摆长(如图 1-2 所示)为

$$l = l_1 - \frac{d}{2}$$

| 悬点 $O$ 的位置 $x_1/\text{cm}$ | 小球最低点 $A$ 的位置 $x_2/\text{cm}$ | $l_1 (=  x_1 - x_2 )/\text{cm}$ | 游标卡尺零点 | 小球直径 $d/\text{cm}$ |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------|--------------------|
|                            |                               |                                 |        |                    |

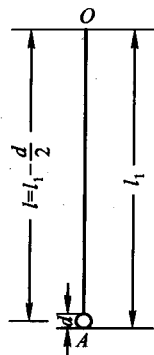


图 1-2 测量摆长的示意图

估计  $l_1$  的极限误差  $e_{l_1}$ ,  $d$  的极限误差  $e_d$ , 计算出标准差

$$\sigma_{l_1} = \frac{e_{l_1}}{\sqrt{3}}, \quad \sigma_d = \frac{e_d}{\sqrt{3}}$$

则

$$\sigma_l = \left[ \sigma_{l_1}^2 + \left( \frac{\sigma_d}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

故摆长

$$l = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$$

(2) 使单摆作小角度摆动,待摆动稳定后,用停表测量摆动 30 次所需的时间  $30T$ ,重复测量多次,求平均值.

| 测量次数           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 平均 |
|----------------|---|---|---|---|---|----|
| $30T/\text{s}$ |   |   |   |   |   |    |

$$30T = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \text{ s}$$

在测量周期时,应选择摆球通过最低位置时计时.为了避免视差,在标尺中央放一个有竖直刻线的平面反射镜,每当摆线、刻线和摆线在镜中的像三者重合时计时.

(3) 由式(1.4)计算  $g$ ,并算出标准差  $\sigma_g$  (计算时可把  $30T$  作为一个量,且不必求出  $T$ ).

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4\pi^2 l}{\left(\frac{30T}{30}\right)^2} = \frac{\pi^2 l \times 3600}{(30T)^2} \quad (1.4)$$

$$g = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} [ \quad ]$$

## 2. 改变摆长,测定重力加速度 $g$

使  $l$  分别为 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 cm 左右,测出不同摆长下的  $30T$ .

(1) 用直角坐标纸作  $l - (30T)^2$  图,如果图是直线,说明什么?

(2) 对  $l$  及相应的  $(30T)^2$  的数据用最小二乘法作直线拟合,求斜率,并由此求出  $g$  (参看实验八中“处理数据的几种方法”一节内容).

## 3. 固定摆长,改变摆角,测周期 $T$

使摆角分别为  $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ ,用光电计时器测摆动周期.用周期  $T$  随摆角  $\theta$  变化的近似公式

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left( 1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\theta}{2} \right) \quad (1.5)$$

计算出上述相应角度的周期数值.将实验值与计算值进行比较,并给出合理的解释.

**【思考题】****选择题**

- (1) 测  $30T$  而不直接测  $T$  是因为( )。
- ① 多次测量能减小偶然误差。
  - ② 能减小电子停表的误差。
  - ③ 能减小按停表不及时的误差。
- (2) 在小球最低点开始计算周期是因为( )。
- ① 最低点便于观察。
  - ② 在最低点安装反射镜比较方便。
  - ③ 因为在同样位置误差下,最低点的计时误差最小。

**【附录】****光电计时器**

本实验室所用光电计时器为 BD100 型智能频率计。它由两个部分组成,主体称为频率计,以 MCS-51 系列单片微型计算机为核心,附件称为光电门,由红色发光二极管(一般生产厂家都使用红外发光二极管,考虑到发光管出故障时,在可见光波段易于被发现,便于实验维修,故本实验室使用了红色发光二极管)和光电三极管(作为光信号的接收元件)组成,并被装在特制支架上。上述两部分就构成了智能化测时仪器。其输入部分由两路光电门及 4 个命令键组成,输出部分为 6 位发光数码管。仪器通电后,开始执行芯片内部固化的专用程序。该程序首先初始化仪器各项内部参数,启动系统时钟,然后进入等待状态。此后若光电门被挡光,相应的光信号被光电接收电路转换成电信号,触发单片机进入中断服务子程序。该子程序按照系统时钟读取并存储挡光时刻的时间,本仪器最多可存储挡光 52 次的时间。当用 4 个按键输入命令时,仪器根据命令种类对存储数据进行一系列运算,显示出相应结果(时间间隔、周期、频率等)。

本仪器是针对力学实验需要而设计的,适用于一般物体运动或低频机械振动的测量。测时范围(相邻两次挡光时间间隔)为  $100 \sim 4\,000 \mu\text{s}$ ,测时精度为  $10 \mu\text{s}$ 。



## 实验二

### 测定冰的熔化热

#### 【目的要求】

- (1) 了解热学实验中的基本问题——量热和计温；
- (2) 了解粗略修正散热的方法；
- (3) 学习进行合理的实验安排和参量选择。

#### 【仪器用具】

量热器, 电子天平, 数字温度计( $-10.0 \sim 100.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), 玻璃皿, 冰, 停表, 干拭布。

#### 【实验原理】

##### 1. 一般概念

一定压强下晶体物质熔化时的温度, 也就是该物质的固态和液态可以平衡共存的温度, 称为该晶体物质在此压强下的熔点. 单位质量的晶体物质在熔点时从固态全部变成液态所需要的热量, 叫做该晶体物质的熔化热。

本实验用混合量热法来测定冰的熔化热. 它的基本作法是: 把待测的系统 A 和一个已知其热容的系统 B 混合起来, 并设法使它们形成一个与外界没有热量交换的孤立系统 C( $C = A + B$ ). 这样 A(或 B) 所放出的热量, 全部为 B(或 A) 所吸收. 因为已知热容的系统在实验过程中所传递的热量  $Q$  可以由其温度的改变  $\delta T$  和热容  $C$  计算出来, 即  $Q = C\delta T$ , 因此, 待测系统在实验过程中所传递的热量也就知道了。

由此可见, 保持系统为孤立系统是混合量热法所要求的基本实验条件. 这要从仪器装置、测量方法以及实验操作等各方面去保证. 如果实验过程中系统与外界的热交换不能忽略, 就要作散热(或吸热)修正。

温度是热学中的一个基本物理量. 量热实验中必须测量温度. 一个系统的温度, 只有在平衡态时才有意义, 因此测温时必须使系统各处温度达到均匀. 用温度计的指示值代表系统温度, 还必须使系统与温度计之间达到热平衡。

##### 2. 装置简介

为了使实验系统(包括待测系统与已知其热容的系统)成为一个孤立系统, 我们采用量热器. 因为传递热量的方式有三种——传导、对流和辐射, 所以必须使实验系统与环境之间的传导、对流和辐射都尽量减少, 量热器可以满足这样的要求。

量热器的种类很多, 因测量的目的、要求和测量精度的不同而异. 最简单的一种如图 2-1 所示, 由良导体做成的内筒置于一个较大的外筒中组成. 通常在内筒中放水、温度计及搅拌器, 这些东西(内筒、温度计、搅拌器及水)连同放进的待测物体就构成了我们所考虑的(进行实验的)系