

# 大学物理实验

第 1 册

吴泳华 主编

高等教育出版社

## 内 容 简 介

本套书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材和教育部理科物理学和天文学教学指导委员会“九五”规划教材.它打破了传统实验课教材的编写模式,建立了一个能促使实验课独立发展的新的教材体系.全套书共分四册,其中第一册适应于理、工、农、医、商等各学科,为各专业的普及课程;第二册适应于理工科各专业;第三册适应于理科各专业;第四册适应于物理类专业.每册的内容都覆盖有力学、热学、电磁学、光学、近代物理等领域的实验,各册书依次逐级提高,适应于不同层次教学的需要.

本套书包含有计算机仿真实验并配有光盘,还涉及了一些科学研究前沿中众所关注的课题.

本第一册共分 8 章,含有 35 个实验,可供高等院校理、工、农、医、商等专业的学生作为物理实验课的教材,也可供社会读者阅读.

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验.第 1 册/吴泳华等主编.—北京:高等教育出版社,2001

ISBN 7 - 04 - 009262 - X

.大... .吴... .物理学 - 实验 - 高等学校 - 教材 .04 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 01483 号

责任编辑 胡凯飞 封面设计 张楠 责任绘图 尹莉  
版式设计 马静如 责任校对 马桂兰 责任印制

大学物理实验 第一册

吴泳华 霍剑青 熊永红 主编

---

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009  
电 话 010 - 64054588 传 真 010 - 64014048  
网 址 [http:// www.hep.edu.cn](http://www.hep.edu.cn)  
[http:// www.hep.com.cn](http://www.hep.com.cn)

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷

开 本 787 × 960 1/16 版 次 年 月第 版  
印 张 16 印 次 年 月第 次印刷  
字 数 290 000 定 价 13.90 元

---

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

# 序

物理学的本质是研究物质的基本结构和运动规律。物理学及其发展是揭示自然奥秘,认识自然规律从而推动人类科学文明历史前进的动力。实验物理和理论物理作为物理学的两大组成,其发展共同形成整个物理学史的前进足迹,二者之间并无伯仲之分,而是相互促进、共同发展。当实验物理中有新的发现、出现新结果时,就会激励和促进理论物理研究出现新的模型、理论,使人类对自然规律的探索向广、深推进。世界最著名奖项之一的诺贝尔物理学奖,今年分别授予俄罗斯和美国的三位科学家,奖励他们在快速晶体管、激光二极管和集成电路芯片方面的研究和发明,为现代信息技术奠定了基础。这充分说明物理学是科学的基础,实验物理是物理学的基础。

对担负着培养面向 21 世纪人才这一艰巨任务的大学教育来说,物理实验教学是关系人才科学素质培养的重要环节,教材是实施教学的基本保证。由霍剑青等人编写的《大学物理实验》是一套创新体系的实验教材,编者都是在教学第一线艰辛兢业多年,具有丰富教学经验的教师。新实验体系在中国科技大学经过教学实践考验并几经完善。这套教材既有坚实的实践基础,又适应新世纪对人才科学素质能力培养的需求,是时代发展趋势的必然。

教材新体系结构是,按实验内容的基础普遍性、难易程度与学生知识水平相适应等分为四级实验,对应为四册教材。该体系中引入了计算机虚拟(仿真)实验,这是与将大规模启动的教育手段现代化规划相一致的先行操作。特别在第四册教材中,以科研实践为主题,采用科学研究的方法进行教学实验,缩短了教与学、教学与科研以及教科书与现代科学技术前沿之间的距离,使学生独立进行科学研究的能力得以较多的锻炼和提高。

这套教材适用面相当广泛,有丰富的选择余地和灵活的运用空间。每级实验都包含有大学物理实验的各个知识面,既具有知识系统性又有相对独立性。不仅适用于如中国科技大学等综合性大学,也适用于广大理工科及其他各类大学。

作为面向 21 世纪的实验教材,在新世纪之始将本书奉献给读者也是一大幸事,她饱含着物理实验工作者的智慧、艰辛、奉献与光荣。

2000 年 10 月

# 编者的话

物理学在人的科学素质培养中具有重要的地位。实验是物理学的基础,物理实验课程曾经为培养 20 世纪的优秀人才作出了卓越的贡献。当我们即将步入 21 世纪时,站在为 21 世纪培养合格科技人才的角度看,当前物理课程的教学内容与课程体系已与跨世纪的新观念、新的思维方法及交叉学科的协调发展不甚适应。物理实验的课程体系、教学内容、教学方法必须改革。中国科学技术大学在几十年物理实验教学实践的基础上,加之这几年的改革探索,积累了一些经验。本套书的编者大都多年从事实验教学并参加了实验教学改革,因此,这套教材是中国科技大学几十年教学经验的总结,更是这几年教学改革经验的总结。编者愿意将此奉献给新世纪的教育事业,希望这套教材的出版能为培养 21 世纪的合格人才发挥作用。

传统的物理实验课程体系是按普通物理(力、热、电、光)和近代物理实验分别安排的封闭体系,学生每学期各完成其中的一门实验,限制了学生跨学科思维能力和创造能力的培养。我们打破旧的实验课程体系,建立实验课程独立发展的新体系,新体系的中心思想是把整个物理实验课程分为四级,每一级实验用一个学期完成。

其中,一级实验主要为基本量的测量、基本实验仪器的使用、基本实验技能的训练和基本测量方法与误差分析等。涉及到力、热、电、光、近代物理的各个知识点,为普及性实验。

二、三级实验逐步增加综合性实验和设计性实验的比例及难度。通过这两级课程的训练,激发学生强烈的学习热情,变学生的被动学习为主动学习,在主动学习中提高他们的思维和创造能力。由目前教师排好实验,准备好仪器,学生来做实验的状态,过渡到学生在教师的指导下,自己设计实验,自己准备仪器完成实验,培养他们的综合思维和创造能力。学生做设计实验时,能从失败与成功中受到更多的训练,整体素质将得到提高。

四级实验以科研实践为主题,组织若干个围绕物理实验的课题,以科学研究的方式进行实验教学以提高学生的科研素质。这样可以缩短教与学、教学与科研、教科书与现代科学技术的距离,学生独立科研的能力将得到较大的锻炼和提高。

在课程安排上,一级实验适用于理、工、农、医、商等各学科,为各专业的普及

课程;二级实验对理工类专业开课;三级实验对理科类学生开课;四级实验是理科物理类专业学生的必修课,理科非物理类各专业的学生可作为选修课,也可作为相关专业研究生的选修课。

本套教材共四册,第一、二、三、四册分别对应一、二、三、四级物理实验。

每册中都包含有比较多的内容,在使用中可结合具体的学时数、实验室条件和特长加以取舍,灵活变通,还可增设内容或提高要求等,这也是本套教材所具有的特点——灵活性和主动性。

本套教材在选择实验内容时注重时代性和先进性。物理实验必须与现代科学技术接轨,才能激发学生的学习积极性与热情,才能使现代科技进步的成果渗透到传统的经典课程内容之中。例如,我们将计算机技术、光纤技术、磁共振技术、核物理技术、X射线技术、软X射线显微技术、光谱技术、真空技术、传感器技术等现代技术寓于学生实验中,其中不少是各领域的科研新成果。

在传统的物理实验教学中,由于实验仪器的复杂、精密和昂贵,往往无法对实验仪器的结构、设计思想、运行机理等进行剖析,不允许学生自行设计实验参数、反复调整、观察实验现象、分析实验结果,并且存在着实验越先进,现代化技术越高,学生收获越少的倾向。大学物理计算机仿真实验以人工智能、自动控制理论对物理实验和仪器建立了内在的模型,实验者可通过运行仿真实验软件,完成实验的各项内容,弥补了上述缺陷。

计算机仿真实验的引进,把物理实验课分成了两个阶段,即仿真实验阶段和真实实验阶段。学生可先通过仿真实验,学习实验的设计思想、实验方法、仪器的设计原理、操作原理与方法,甚至拟定好实验参数、实验计划等,再去完成真实实验。也可以先做真实实验,再做仿真实验,用于对真实实验认识的深化、提高。计算机仿真实验在这几年的教学实践中正发挥着不可替代的重要作用。本套教材配有计算机仿真实验。使用这套教材进行教学,无论对学生或教师都有不同于以往的要求。要求学生积极主动的学习,除阅读要做实验的教材或相关附录参考资料和实验室提供的说明书外,还要结合思考题自行设计具体的实验步骤,完成实验。这套教材给教师以更大的选择余地和自主发挥创造思维的空间,能更好的体现教师在教学中的主导地位。

在本套教材出版之际,感谢几十年来在中国科学技术大学物理实验教学中作出过贡献的所有老师。物理实验课是一门体现集体智慧和劳动结晶的课,是日积月累、逐步完善、发展和升华的结果。此次参加编写教材的大多为在实验教学第一线辛勤耕耘多年,在实验教学方面有较高造诣、深刻理解并积累了丰富实验经验的教师。在主编和编委会的参与指导下,经集体讨论原则方案,以具体分工、个人执笔方式完成书稿。撰写人都署名在各自撰写部分之后。尽管一些老师未能直接参加教材编写,但是这套教材中也有他们多年的劳动和奉献。

本套书在编写过程中得到学校有关领导朱清时、程艺、尹鸿钧、朱滨、程福臻、向守平、吴敏等同志的大力支持,此外程路华、奚玮红、史芸等同志也作了大量的具体事务性工作,在此一并感谢。

由于我们的水平和条件所限,书中难免有不妥或疏漏,欢迎提出建议并指正。

霍剑青 吴泳华

1999年9月30日

# 目 录

绪论 .....	1
第一章 物理实验的基本方法 .....	7
§ 1.1 物理实验思想和方法的形成 .....	7
§ 1.2 物理实验分析方法 .....	8
§ 1.3 物理实验的基本测量方法 .....	12
§ 1.4 计算机虚拟方法 .....	20
第二章 测量的不确定度和数据处理 .....	24
§ 2.1 测量的不确定度 .....	24
§ 2.2 常用的数据处理方法 .....	40
第三章 基本物理量的测量 .....	50
§ 3.1 长度 .....	50
实验 3.1.1 长度测量 .....	51
§ 3.2 时间 .....	57
实验 3.2.1 时间测量中随机误差的分布规律 .....	58
实验 3.2.2 用示波器测量时间 .....	64
§ 3.3 质量 .....	70
实验 3.3.1 用天平测量质量 .....	72
实验 3.3.2 用惯性秤测量质量 .....	80
§ 3.4 电流 .....	84
实验 3.4.1 直流电表和直流测量电路 .....	85
§ 3.5 温度 .....	91
实验 3.5.1 玻璃(液体)温度计的工作原理及其校准 .....	92
实验 3.5.2 用热敏电阻测量温度 .....	97
实验 3.5.3 半导体温度计的设计与制作 .....	102
§ 3.6 发光强度 .....	107
实验 3.6.1 发光强度的测量 .....	107
第四章 物体运动规律的研究 .....	113
§ 4.1 直线运动 .....	113
实验 4.1.1 直线运动中速度的测量 .....	113
实验 4.1.2 碰撞过程中守恒定律的研究 .....	119

§ 4.2 振动和波 .....	123
实验 4.2.1 用弦振动形成的驻波求振动频率 .....	123
实验 4.2.2 单摆的设计和研究 .....	127
§ 4.3 曲线运动 .....	128
实验 4.3.1 二维碰撞运动的研究 .....	129
第五章 物性的测量 .....	133
§ 5.1 气体 .....	133
实验 5.1.1 空气密度的测量 .....	133
§ 5.2 液体 .....	139
实验 5.2.1 表面张力系数的测定 .....	139
实验 5.2.2 液体粘度的测定 .....	142
§ 5.3 固体 .....	151
实验 5.3.1 钢丝杨氏模量的测量 .....	151
实验 5.3.2 切变模量的测量 .....	155
实验 5.3.3 固体比热容的测量 .....	159
第六章 电路与电磁场的测量 .....	163
§ 6.1 直流电路 .....	163
实验 6.1.1 直流电压的测量 .....	163
实验 6.1.2 用直流电桥测量电阻 .....	167
§ 6.2 交流电路 .....	170
实验 6.2.1 交流电及整流滤波电路 .....	170
§ 6.3 电磁场的测量 .....	176
实验 6.3.1 用稳恒电流场模拟静电场 .....	176
实验 6.3.2 测量螺线管的磁场 .....	181
第七章 光学测量 .....	185
§ 7.1 几何光学 .....	185
实验 7.1.1 透镜参数的测量 .....	186
实验 7.1.2 分光计的调节与使用 .....	191
实验 7.1.3 投影仪和望远镜的设计与组装 .....	198
§ 7.2 物理光学 .....	205
实验 7.2.1 干涉法测微小量 .....	206
实验 7.2.2 衍射法测微粒和细丝的直径 .....	211
第八章 电子性质与基本常量的测量 .....	216
§ 8.1 电子性质 .....	216
实验 8.1.1 用密立根油滴实验测电子电荷 $e$ .....	216
实验 8.1.2 用电子衍射法测电子德布罗意波长 .....	222
§ 8.2 测量基本常量 .....	227

---

实验 8.2.1 光电效应法测普朗克常量 $h$ .....	227
实验 8.2.2 氢原子光谱 .....	231
物理学常量表 .....	240
中华人民共和国法定计量单位 .....	241
参考资料 .....	244

# 绪 论

## 1. 实验物理在物理学发展史上的重要性

物理学一词的英文 physics, 早先来源于希腊文  $\varphi\upsilon\sigma\iota\kappa\acute{o}\varsigma$ , 意为自然规律, 可延伸为自然及其发展规律, 现在指研究物质运动的最一般的规律及物质基本结构的科学. 物理学是实验科学, 实验是物理学的基础. 凡物理学的概念、规律及公式等都是以客观实验为基础的, 即物理理论绝不能脱离物理实验结果的验证. 此处所指的实验是近代科学实验, 是有目的地去尝试实践, 是对自然的积极探索. 科学家提出某些假设或预见, 为对其进行证明筹划适当的手段和方法, 根据由此产生的现象来判断原设计假设或预见的真与否即为科学实验. 从认识主体所起的作用来看, 科学实验同被动的经验、单纯的观察之间有很大的不同. 仅仅停留在观察试验上还不能称为科学实验和方法, 还必须使观察试验和理论研究结合起来. 可以说科学实验是人类文明发展的积极推动力之一. 因此科学实验的重要性是不言而喻的, 其中物理实验自然也雄居要位. 下面通过两个例子进行说明:

(1) 当代最引人注目的诺贝尔奖金, 宗旨是奖给有最重要发现和发明的人. 因此, 获得诺贝尔物理学奖金的成果均是物理学中划时代的、里程碑级的重大发现和发明. 从 1901 年第一次授奖至今已有近百年的历史, 有近 150 名获奖者. 其中因实验物理学方面的伟大发现或发明而获奖的占三分之二以上. 如 1901 年, 首届诺贝尔物理学奖金得主德国人伦琴(W. C. Röntgen), 他因发现 X 射线而获奖; 1902 年的得主是荷兰人塞曼(P. Zeeman), 他在 1894 年发现光谱线在磁场中分裂的现象; 1903 年的得主是法国人贝可勒尔(H. A. Becquerel)和居里夫妇(P. Curie, M. S. Curie), 他们发现了天然放射性, 由此成为了核物理学的奠基人. 由此看出, 这些实验方面的发现已被公认为是物理学发展中的最伟大的成就. 可见实验物理在物理学发展中的地位是多么重要.

(2) 从物理规律的建立过程看实验物理的重要性. 1924 年法国人德布罗意(de Broglie)在光波具有微粒性的启发下, 明确提出实物粒子具有波动性, 即物质波和粒子的缔合概念, 通常人们将它描述为波粒二重性或二象性. 假设粒子能量为  $E$ , 动量为  $\mathbf{p}$ , 就同时伴随着物质波的传播矢量  $\mathbf{k}$ , 关系是  $\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k}$ , 即  $p = \hbar k$ .

$h$  这是一个大胆而伟大的假设。物理伟人爱因斯坦(A. Einstein)对此给予充分的肯定,他称这是照亮我们最难解开的物理学之谜的第一缕微弱的光。并提名德布罗意获诺贝尔物理学奖金。要强调说明的是,理论上美妙的假设或推理,要最终成为被公认的物理规律,还必须有实验结果的验证。德布罗意本人当时指出,可以通过电子在晶体上的衍射实验来证明上述假设。果真在1927年,美国科学家戴维孙(C. J. Davisson)和革末(L. H. Germer)用被电场加速的电子束打在镍晶体上,从而得到衍射环纹照片,恰如光波在光栅上的衍射花样。同时由加速电场计算出电子束动量对应的物质波长与在晶体光栅上衍射极大值对应波长的关系,证实了德布罗意关于  $p$ 、 $\lambda$  间的假设关系成立。最终使德布罗意的假设得到公认,他本人也获得了1929年的诺贝尔物理学奖。这一历史事实雄辩地说明了实验结果在物理学概念的提出、理论规律的确立及被公认的过程中所占的重要地位和所起的关键作用。

可以毫不夸张地说,没有实验物理就没有物理学的发展。正是由于实验手段的不断进步、仪器精度的不断提高、实验设计思想的巧妙创新等,才使得人类在认识自然界的历程中不断探索、发现,进而攀登上更高的高峰。

人类对客观世界的认识是不断深化的,整个物理学的发展历史就是人类不断深化地了解自然、认识自然的过程。大到宇宙天体,小到原子、粒子等等都无不显示着这个过程的各个历史时期的前进步伐。对自然界认识的深化必然引发科学技术生产的革命,必然会推动社会向前发展。

物理学的发展是人类进步的推动力之一,实验物理和理论物理是构成物理学研究的两大支柱。实验物理在推动物理学发展过程中有着明显的重要作用,当然理论物理也有着同样重要的作用,二者密切相关、相辅相成、互相促进,形象地说恰如鸟之双翼、人之双足,不可或缺。物理学正是靠着实验物理和理论物理两大分支的相互配合、相互激励、相互促进,相辅相成的探索前进,而不断向前发展,不断深入认识自然界的。在物理学的发展过程中,这种相互促进、相互激励、相互完善的实例举不胜举。如1895年伦琴在实验上发现了新的电磁辐射,被称为X射线(它是由高速电子轰击重元素靶而产生的波长在nm量级的电磁辐射)。X射线的发现进一步推动了气体中电传导的研究。汤姆孙(J. J. Thomson)提出了被X射线照射的气体具有导电性是由于气体因分子电离而带有电荷,这给洛伦兹(H. A. Lorentz)创立电子论提供了实验基础,而电子理论又给Zeeman效应,即光谱线在磁场中会分裂这一事实以理论解释。这一连串的事实展示了实验物理和理论物理之间的密切关系和相互激励而共同推进物理学发展的进程。

物理学是一门成熟的科学,物理学所探索的各种现象的领域总在不断地扩大。现在必须承认,当实验上有新的发现或者实验方法有改进,测量精度有提高

的时候,每个物理学理论都要重新受到验证、检验或修正。

物理学研究的是物质运动的基本规律,它在揭示自然的奥秘、探索自然、认识自然世界,从而推动人类历史的前进、社会的发展等方面都有巨大的作用。物理学是自然科学的基础,实验物理是物理学的基础。

## 2. 教学实验和科学实验的关系及教学实验的重要性

科学实验是为了预测、验证或获取新的信息,通过技术性操作来观测由预先安排的方法所产生的现象,其全过程应包括四个环节,即:第一步,选定目标作出计划,即确定课题,构思模型,给出实验方案设计;第二步,制作或选择实验装置,按设计方案准备实验所需设备;第三步,观察现象和测量数据,进行实验操作,记录数据;第四步,分析、整理数据结果,得出结论。完成这四步之后,需讨论由实验结果得到的结论,是支持、肯定了原先所构思的模型方案设计,还是部分肯定,尚需改进、完善设备或设计方案,抑或是修改、否定原先的设计目标。因此,科学实验实际上包含着多次实验,甚至失败、再实验之后,最后得出结果,从而获得新的规律。科学实验是探索的过程,可能成功也可能失败,结果可能是符合预期设计的,也可能是否定预期设计的,当然还可能有意外的收获而导致新发现,从而得到未曾预期的成功(穆斯堡尔效应的发现过程就是一例)。每一次科学实验的成功都会揭示出自然界的奥秘,使人类在认识自然的道路上又前进一步。

教学实验不同于科学实验,它是以教学为目的,其目标一般不在于探索,而在于培养人才,它是以传授知识、培养人才为目的的。因此,教学实验(尤其是基础教学实验)与科学实验无论从宗旨、内容和形式上都会有区别。教学实验一般都是理想化了的,排除了次要干扰因素而简化过的实验,是经过精心设计准备,一定能成功的。一般基础实验只作科学实验过程的第三、四两步,到了高年级,视条件允许的程度,可能有少部分学生或少部分实验能涉及到第一、二两步。尽管如此,教学实验的地位仍然是非常重要的,因为该课程担负着培养学生实验能力和科学素质的任务。人们要攀登科学高峰,首先要培养自身攀登高峰的能力,这好比建造通向高峰的阶梯。攀登高峰的阶梯好像一座金字塔,有着广阔、宽厚的基础和高耸的塔尖,基础愈宽厚,塔尖可以愈高,可及的科学高峰也会更高。学生的任务主要就是积累知识、培养素质、提高能力,就是建造攀登高峰的阶梯。从某种意义上说,不管学生自己是否意识到,实际都在建造自己通向高峰的阶梯。每个人建造阶梯的过程和结果则取决于诸多主、客观因素,会有所不同。

物理实验课是一门基础实验课,是知识的底层,这底层的重要性不言而喻,因此教学实验的重要性是显而易见的。

### 3. 物理实验在人才科学素质培养中的作用

从科学发展的进程看,人的科学素质有三个主要方面:(1)求知欲望;(2)科学思维和创造能力;(3)严谨的科学作风和坚韧不拔的苦干精神。

人类自从有思想以来,就想认识客观世界,这就是人的求知欲望。科学形成、发展的过程正是人类永恒的、强烈的求知欲望的结果。

科学的发展依赖于人的思维和创造能力,正如爱因斯坦在《物理学的进化》中所述:“科学的发展过程是人类通过思维和观念大胆地探求客观世界的过程”。从物理学的发展来看,牛顿时代以来最重要的发现之一是“场”概念的提出,它揭示了“描写物理现象最重要的不是带电体,也不是粒子,而是带电体之间与粒子之间的‘场’。如果没有很强的思维和创造能力,‘场’的概念是不可能被提出和理解的,‘场’的概念,摧毁了旧观念,促进了20世纪相对论、量子理论的伟大发现和发展。因此科学发展史证明了思维和创造能力是人的科学素质的核心组成部分。

科学要求人类必须有严谨的科学作风和坚韧不拔的苦干精神。因为在探求客观世界的过程中,实践才是检验真理的唯一标准,科学上的每一个想象,必须用实验来验证。任何结果不论如何吸引人,假如与实际不符,都必须放弃。这里来不得半点虚伪和骄傲!

科学的发展是无止境的,它既需要研究相关现象之间的相互的一致性来加以类推,又需要将已解决的问题和未解决的问题联系起来,有些共同的特性常常隐藏在外表差异的背后,必须有严谨的科学作风和坚韧不拔的苦干精神,才能发现这些共同点,并在此基础上建立新的理论、新的观念和新的方法,促进科学的不断发展。

科学发展的历史长河证明了物理学的起源和发展促进了自然科学的各个领域、各个学科的建立和发展,物理学的思维和观念已渗透在各个学科、各个领域。例如,21世纪被誉为生命科学的世纪,物理学中的基本观念、基本思维方法,包括实验的误差理论与数据处理的方法都在生命科学领域内得到应用和发展。因此物理学在培养人的科学素质方面具有十分重要的地位,物理实验是其中的重要环节。

人才科学素质培养的核心是思维和创造能力的培养,人的思维和创造能力有“硬”和“软”两个方面。

从理论的角度看,“硬”的方面表现为:基本概念的掌握、推理演绎的能力、运算的技巧与能力。“软”的方面表现为:物理概念的系统理解与深化、比较和综合的能力等。

从实验的角度看,“硬”的方面表现为:基本实验技能与动手能力、现代技术的应用水平;“软”的方面表现为:实验课题的选择、实验的设计思想和实验方法等。

几十年来,物理实验教学的课程体系和教学内容从“硬”和“软”两个方面培养学生的思维和创造能力,激发他们强烈的求知欲望及严谨的科学作风和坚韧不拔的苦干精神。物理实验在人才科学素质培养中起着重要的作用。

## 4. 怎样学好物理实验

物理实验课是理、工、农、医、商等各类专业的必修课程,是培养和提高学生科学素质和能力的重要课程之一。学生通过这类课程学习积累大量知识,并沉积为科学素质的提高,进而转化为自身能力的提高,这正是自觉建造攀登科学高峰阶梯的途径,这也正是要学好物理实验课首先要明确的学习目的及其意义。

通过物理实验课的学习,学生应自觉注意自身能力的培养,简言之有以下两点:其一是培养严谨的科学作风和坚韧不拔的苦干精神,也就是实事求是和百折不挠的科学精神。在实验过程中要求认真并重视观察实验现象,一丝不苟地记录实验数据。要求记录数据要原始、完整、全面、清楚,要有必要的说明注解等。不但要用已掌握的知识去分析现象、处理数据,同时经过去伪存真、去粗取精的科学升华过程,探索新实验、新方法和新规律。科学实验包含着多次实验、失败、修改、再实验……最后才可能得出正确的结果而取得成功。在教学实验中也会遇到某些困难或问题,试图解决这些问题,克服这些困难,正是培养学生严谨科学作风和坚韧不拔精神的好途径。其二是创新实验能力的培养。教学实验虽然是经过安排设计的,但仍然要求学生要多问自己些问题。首先要思考,应该想清楚诸如每一项实验内容是要测量什么?通过怎样的途径(方法)去测量?也就是实验方法设计。为什么要这样作?这就涉及到要重视实验的提示和注意事项内容。如不这样作会怎样?会出错?会损坏仪器?会有伤害?等等。还可进一步问,此外还有哪些途径方法去测量同一内容?一般来说实验设计方法并不是唯一的。要比较设计方法是否巧妙、简明,条件是繁是简,资金耗费多少等因素,再结合实际条件来讨论、选择、优化。这更能激发学生的求知欲望和学习热情,不断提高创新意识、增强创新能力,以适应新世纪对人才科学素质的要求。

还必须提醒注意的是实验室操作规程和安全规则。学生进入实验室上实验课,会接触到各种测量器具、仪器和仪表,随着学习的深入、层次的提高,还可能接触一些先进的、精密的仪器设备,或接触各种实验环境,如高温、低温、电磁场、激光、暗室、放射性、真空系统等,这要求学生必须遵守实验室给出的具体操作规程,严格执行安全防护操作规定,养成良好的实验习惯。这也是对高素质实验人

才的一项基本要求。

## 5. 结 束 语

物理实验在人类文明的发展中,一直扮演着重要的角色,许多物理实验在历史发展中起过里程碑式的作用。可以毫不夸张地讲,没有物理实验就没有当今的人类文明,不学习物理实验,也不可能造就一代新世纪的高素质人才。愿有志于攀登科学高峰的人,在学习物理实验的过程中勇猛精进,为新世纪的发展谱写新篇章。

(吴泳华 霍剑青)

# 第一章 物理实验的基本方法

## § 1.1 物理实验思想和方法的形成

物理学发展至今,历经了数以万计的成功、失败的、著名的、简单的和平凡的实验,历代物理学家和科技工作者都曾置身于这艰苦的实验研究之中,用他们的智慧和心血,换来了今日物理学中的累累硕果.每一个实验,都会有自身的一套方法用来测量相关的物理量.我们把对物理量的具体测量的方法叫测量方法,把对各类实验都通用的方法叫实验方法,把在选用实验方法,进行实验设计,编排实验或在实验中进行调节和测量时具有普遍指导意义的思想称为实验思想.

公元前 2—3 世纪,阿基米德除了做杠杆、滑轮等实验外,还进行了浮力的观察和研究.他指出,浸在液体中的物体所受的浮力等于它排开液体的重量,从而建立了浮力定律,至今阿基米德原理仍被用于科学实验的各个领域之中.

在中国的古书中也有过古人进行物理实验的记载,如《墨经》中的小孔成像,平面镜、凹、凸面镜与成像大小的关系,像的正倒与位置关系的记载等.但毕竟那时的实验是零散的,定量的实验还较少,大多数实验仅限于现象的描述,或只作一般的解释,没有形成系统理论,或是有了理论的轮廓(或雏形),却没有经过再实验的验证循环过程去完善和提高.

物理学发展到 16 世纪以后,以伽利略为代表的一批杰出的物理学家,把物理实验方法和物理规律的研究结合起来形成了较系统的科学实验思想体系,把实验方法发展到一个崭新的高度,对物理学的发展做出了划时代的贡献.正如他自己在《两种新科学的对话》中所述:“我们可以说,大门已经向新方向打开,这种将带来大量奇妙成果的新方法,在未来年代会博得许多人的重视.”事实正是如此,当代著名物理学家爱因斯坦在《物理学的进化》中,对伽利略的科学思想方法给予了高度评价.他指出:“伽利略的发现,以及他所用的科学推理方法,是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正开端.”

伽利略的科学思想中包含有辩证唯物主义的认识论和方法论的成分,他关于物理实验的科学思想,影响着历代科学工作者,至今对我们的实验工作和学习仍具有一定的指导意义.

物理实验是探索物质间的相互作用,研究自然现象的本质与规律的必要途

径.在确定了研究方向和实验目的后,如何寻求最佳的实验方案,选择合适的实验条件及测量方法,进行精心的设计,合理的安排和认真的观测、测量,悉心的分析和处理数据,得出可靠的结论等等,是实验能否达到预期目标的关键.在实验物理学数百年的发展进程中,出现过众多卓越的实验,它们以其巧妙的物理构思、独到的处理和解决问题的方法、精心设计的仪器、完善的实验安排、高超的测量技术、对实验数据的精心处理和无懈可击的分析判断等,为我们展示了极其丰富和精彩的物理思想,提示了解决问题的途径和方法.这些思想和方法已经超越了各个具体实验而具有普遍的指导意义.学习和掌握物理实验的设计思想,测量和分析的方法,对物理实验课及其他学科的学习和研究都大有裨益.在此我们简要地介绍一些有关物理实验的测量和分析方法.

## § 1.2 物理实验分析方法

### 1. 数量级估计法

实验物理学家在着手准备精确测量之前,为选择合适的仪器和测量方法,常常需要对各种物理量的数量级先作一番估计.掌握特征量的数量级,往往是研究一个物理问题时登堂入室的关键.一个实验经验很丰富的人必然会对数量级有直觉的感知,一眼就能估计出这个实验的精度可能有多高,即哪些因素会影响实验结果,哪些因素影响比较大些,要提高测量精度,应如何改变测量条件,采取何种测量方法等,这些经验的积累需要一个长时间的过程.因此,我们在一开始学做物理实验时,就应该经常练习对各种事物的数量级作出快速的反应,粗略地估计数量级范围,留心尺度大小改变所产生的影响,各参变量之间的关系,相互作用的影响等,有意识地将这种作法养成习惯,久而久之,就可以加深我们对物理现象的感知,从而增进我们对事物本质的洞察能力.

#### (1) 通过数量级的排序分析,抓住主要影响

在实际的每一个物理实验中,都有数不清的因素会对实验过程的每一个环节带来影响,对实验有影响的因素,其自身的大小,以及它对实验结果的影响是非常悬殊的.通常我们要抓住对实验有较大影响的主要因素,而抛开(或忽略)那些与主要因素相比,影响要小得多的次要因素.“影响小得多”是指在修正了已成为测量公式一部分的系统误差后,比起影响实验结果的主要的不确定误差来说,至少要小一个数量级.

例如以最普通的单摆实验为例.理想的单摆,应该是一根没有质量、没有弹性的线,系住一个没有体积的质点.在真空中它纯粹由于重力作用,在与地面垂直的平面内作摆角趋于零的自由振动.而这种理想的单摆,实际上是不存在的.在实际的单摆实验中,悬线是一根有质量(弹性很小)的线,摆球是有质量有体积