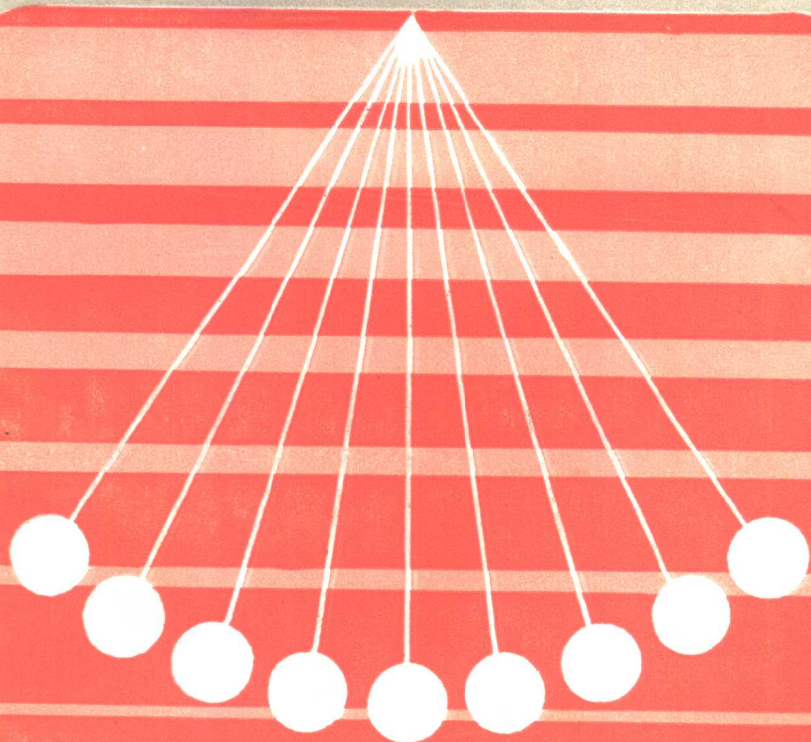


中学物理教学法参考丛书

# 中学物理实验 教学研究

安 忠 刘炳昇 主编



高等教育出版社

中学物理教学法参考丛书

# 中学物理实验教学研究

安 忠 刘炳升 主编

高等教育出版社

1985

## 内 容 提 要

本书是中国教育学会物理教学研究会为适应当前中学物理教学改革、加强物理实验基础、提高高等师范院校《中学物理教学法》课程的教学质量及研究水平和配合中学师资培训而编写的。全书比较系统地总结和吸收了近年来国内外的经验，内容丰富，选材典型，尤其注意从教学研究角度突出实践性、启发性与科学性，对所选一百多个实验示例注意从设计思想、成败关键、解决途径等进行了分析和探讨，有的还给出了核实过的参考数据。是高等师范院校（包括师专、教育学院及教师进修院校）物理系科有关教师、学生的教学参考书，也可选作研究生“实验教学研究”课的教材，还适宜广大中学、中专、中师物理教师和实验人员作为实验工作指南。

本书内容分五章：一、中学物理实验教学研究的几个基本问题；二、演示实验的设计和实验；三、学生分组实验的设计与研究；四、中学物理课外实验的研究；五、物理实验基本技术和常用仪器。另有实验室管理及常用数据、粘合剂等资料作为附录。

本书由东北师大安忠和南京师大刘炳升担任主编，周中权、胡名章、刘桂荣、顾达天、谢利民参加编写。

本书责任编辑：邹延肃。

中学物理教学法参考丛书  
**中学物理实验教学研究**  
安忠、刘炳升 主编

高等教育出版社出版  
新华书店北京发行所发行

北京印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 14.25 字数 350,000

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数：0.0001—15,700

书号 13010·01218 定价 3.20 元

# 前 言

为了适应中学物理教学改革的发展形势，满足高等师范院校《中学物理教学法》课程“实验研究”部分的教学与研究需要，我们接受了中国教育学会物理教学研究会的委托，编写了这本教学法参考书。

这本《中学物理实验教学研究》反映了中学物理教学法这门学科中一个日益迫切的重要课题。近几年来这门学科的发展和教育改革实践使人们深刻认识到：实验是物理学研究的基础，也是物理教学的基础。为了打好物理实验基础，只从技术角度出发研究中学物理实验的改进是远远不够的，必须从教学法的角度出发，全面而又有重点地研究中学物理实验教学的目的、任务、内容、方法、特点等等，才能充分发挥实验在物理教学中的作用。作为一个现在或未来的中学物理教师，必须贯彻以实验为基础的思想，掌握必备的实验技巧，具有一定的实验素养和具备从事实验教学研究的能力，才能适应为廿一世纪培养出有创造能力的人才的需要。因此，在高等师范院校（包括教育学院和教师进修院校）物理专业中学物理教学法课程中，在师范院校教学法研究生的学习中和在职中学物理教学及研究人员的工作中，都正在日益开展和加强中学物理实验教学研究。

从开设实验到开展实验教学研究，这对中学物理教师和师范院校毕业生提出了更高的要求。为了推动这种研究工作的进行，我们在编写这本书时，力求以物理学的理论、思想、方法和教育学的教学理论为指导，探讨实验教学的理论问题和研究方法，介绍和分析了一些有价值的演示实验、学生分组实验及课外实验实例。为了及早建立具有我国特色的中学物理实验教学方法论，我们努力汇总和分析了近年来国内外有关中学物理实验教学的资料、

文章、经验和实物，并作了实验检验，我们愿借花献佛，把整理研究中的点滴思想呈现在广大读者面前，如能起到抛砖引玉的作用，我们将感到十分欣慰。

1985年1月，教育部委托江西教育学院和江西师大召开了本书的审稿会，会议由物理教学研究会副理事长娄溥仁副教授主持，段天煜副教授(苏州大学)、贺瑞灵副教授(陕西师大)担任主审，参加审稿会的还有钱源海副教授(黑龙江省教育学院)、特级教师黄恕伯(南昌三中)及苏开华(湖北大学)、牟林西(西南师院)、战永杰(东北师大)、徐光美(江西省教育学院)、魏日升(唐山师专)、向立中(荆州师专)、余普华(景德镇二中)、邹延肃(高教育出版社)等同志，他们都提出了许多宝贵意见。修改稿又经段天煜、钱源海、贺瑞灵复审。夏蒙森、李伯明、李俊伦、高玉等同志为本书提供了部分稿件。高等教育出版社为本书的编辑出版做了大量的工作。本书中还引用了我国广大中学物理教学工作者不少优秀成果，有少量引自国外资料，凡我们知道的均已注明出处，但还有部分原作无法考证。在此，我们一并向为本书作出贡献的同志表示衷心的感谢！

本书由东北师大安忠和南京师大刘炳升主编，并由江西师大周中权、安徽教育学院胡名章，天津师大刘桂荣、东北师大顾达天、谢利民共同参加编写，集体讨论，互相提供资料、意见，分工执笔，并验证了全部实验和多次修改后才统一定稿。顾达天和刘桂荣等还绘制了部分插图。限于我们的认识和业务水平，本书中一定有许多不当之处，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

1985年7月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 中学物理实验教学研究的几个基本问题</b> .....	1
§ 1.1 充分认识实验在中学物理教学中的地位和作用 .....	1
§ 1.2 中学物理实验教学研究的指导思想 .....	11
§ 1.3 中学物理实验教学方法的分析与探索 .....	17
§ 1.4 实验的考核问题初探 .....	28
<b>第二章 演示实验的设计和研究的</b> .....	38
§ 2.1 演示实验的教学研究和设计的基本要求 .....	38
§ 2.2 演示实验专题研究示例 .....	48
一、胡克定律的演示 .....	48
二、微小形变的演示 .....	51
三、帕斯卡“桶裂”实验 .....	53
四、静摩擦力和它的方向 .....	56
五、超重、失重现象 .....	59
六、“凹桥和凸桥”的演示 .....	61
七、用运动的合成和分解研究抛体运动规律的演示 .....	63
八、同一直线上振动合成的演示 .....	68
九、横波的演示 .....	72
十、水波的演示 .....	75
十一、布朗运动的演示 .....	78
十二、压缩空气引火的演示 .....	81
十三、静电演示实验 .....	83
十四、闭合电路欧姆定律的演示 .....	104
十五、磁分子模型的演示 .....	109
十六、安培分子电流磁场的模拟演示 .....	111
十七、电磁感应现象的演示 .....	113
十八、自感现象的演示 .....	117

十九、电阻、电容、电感电路中电流和电压相位关系的演示	123
二十、LC振荡的演示	129
二十一、变化的电场产生磁场的演示	135
二十二、跨步电压的演示	138
二十三、用简易的装置演示光的干涉和衍射现象	139
二十四、声波干涉现象的演示	143
二十五、光偏振的演示	146
二十六、吸收光谱的观察和投影	150
附：分光镜的调节	154
二十七、用验电器演示光电效应	154
二十八、光导纤维和光通讯的演示	159
二十九、放射性现象的演示	162
<b>第三章 学生分组实验的设计与研究</b>	<b>167</b>
§ 3.1 学生分组实验教学研究和实验设计的基本要求	167
§ 3.2 学生分组实验专题研究示例	179
一、滑动摩擦力和滑动摩擦系数的测定	179
二、用斜杯溢水法测固体物质的密度	182
三、测定重力加速度的实验	185
四、用橡皮筋牵引小车研究牛顿第二定律	193
五、验证机械能守恒定律	196
六、碰撞的研究	203
七、用冲击摆测弹丸的速度	206
八、抛体运动轨迹的研究	209
九、用圆锥摆验证向心力公式	212
十、弹簧振子周期公式的研究	214
十一、晶体的熔解和凝固	216
十二、验证气体定律的几个实验	218
十三、用描迹法画静电场中的等势线	224
十四、测量导体的电阻和电阻率	227
十五、测量表头的内电阻	232

十六、测电源的电动势和内电阻	237
附：可调内阻电池	239
十七、研究电源输出功率与外负载的关系	242
十八、测量电容器的电容量	245
十九、对载流直导线周围磁场的研究	251
二十、电流天平的实验	255
二十一、验证折射定律和测定折射率	258
二十二、测凸透镜的焦距	260
二十三、用油膜法估测分子的大小	264
二十四、普适气体恒量的测定	267
二十五、测定铜的电化当量	272
二十六、用空气柱共鸣法测声波的波长	276
二十七、测定普朗克恒量	278
<b>第四章 中学物理课外实验的研究</b>	288
§ 4-1 中学物理课外实验活动的意义、类型及要求	288
§ 4-2 中学物理课外实验示例	293
一、观察性实验	293
(一) 频闪观察	293
(二) 漫反射现象的观察	297
(三) 光的色散现象的观察	298
(四) 对物体颜色的观察	299
二、课内教学的补充性实验	301
(一) 天平的妙用	301
(二) “筷子提米”实验的研究	302
(三) 用算盘研究摩擦力	303
(四) 空气有重量	304
(五) 水中的物体一定会受到浮力吗?	305
(六) 浮体的重量与所排开的液体的重量相等	306
(七) “打捞沉船”的实验	307
(八) 研究汽车为什么会行驶的实验	308
(九) 超重和失重	310
(十) 关于表面张力的几个实验	312



(十一) 测声音在空气中的传播速度 .....	315
(十二) 水为什么烧不开? .....	316
(十三) 测定水的折射率 .....	317
(十四) 全反射现象 .....	320
(十五) 自制水果电池 .....	322
三、研究性实验 .....	323
(一) 自制量杯的刻度问题 .....	323
(二) 你能跳多远? .....	325
(三) 用单摆法测定重力加速度的研究 .....	326
(四) 用数液滴法测固体物质的密度 .....	329
(五) 用杠杆法测固体物质的密度 .....	331
(六) 研究大气压强随高度变化的关系 .....	332
(七) 用牙膏皮研究船的浮沉及其稳定性 .....	335
(八) 研究麦克斯韦滚摆运动过程中的超重、失重现象 .....	338
(九) 用抛体法研究动量守恒定律 .....	340
(十) “覆杯”实验的研究 .....	341
(十一) 开尔文滴水起电机一般原理的探讨 .....	343
(十二) 用滑线变阻器作限流器和分压器使用时输出特性的 研究 .....	346
(十三) 研究小灯泡的伏安特性 .....	348
四、小制作 .....	351
(一) 简易杆秤的制作和研究 .....	351
(二) 制作简易比重计 .....	353
(三) 制作简易喷灯 .....	354
(四) 轴流泵模型及其利用 .....	355
(五) 音笛的制作和研究 .....	358
(六) 制作铅笔变阻器 .....	360
(七) 制作最简单的电动机 .....	361
(八) 自制简易平行光源 .....	362
五、趣味性实验 .....	364
(一) 吹气断铁丝 .....	364
(二) 一纸托千斤 .....	365

(三) 会上滚的圆锥 .....	366
(四) 有趣的平衡 .....	367
(五) 鸡蛋开砖 .....	368
(六) 幻杯 .....	370
(七) 纸锅烧水 .....	370
(八) 带电的人 .....	370
(九) 有趣的肥皂泡 .....	372
(十) 神奇的笔 .....	372
(十一) 黑箱实验 .....	373
附: 课外观察与实验参考题示例 .....	376
<b>第五章 物理实验基本技术和常用仪器 .....</b>	<b>380</b>
一、玻璃器皿的洗涤和干燥 .....	381
二、水银的清洁、装灌和监测 .....	382
三、铅蓄电池的使用和维护 .....	387
四、有机玻璃和泡沫塑料的手工加工 .....	391
五、投影技术的应用 .....	394
六、微型计算机在中学物理实验教学中的应用 .....	400
七、微小电流放大技术 .....	405
八、示波器的应用 .....	409
九、频闪观测技术 .....	413
十、静电起电机 .....	417
十一、电磁打点计时器 .....	421
十二、气垫导轨与数字计时器 .....	425
<b>附录: .....</b>	<b>431</b>
一、中学物理实验室的设计、设备和管理 .....	431
二、法定计量单位 .....	436
三、几种物理常数 .....	438
四、几种常用的粘合剂 .....	440
<b>主要参考书目 .....</b>	<b>443</b>

# 第一章 中学物理实验教学研究

## 的几个基本问题

### § 1.1 充分认识实验在中学物理 教学中的地位和作用

在新技术革命浪潮的挑战面前，一场世界性教育改革浪潮正在兴起<sup>①</sup>。尽管各国的具体情况、策略和措施有所不同，但都在努力使教育面向现代化，面向世界，面向未来。为了提高民族素质，培养我国九十年代和下一世纪社会主义现代化建设所需要的数以亿计的各种人才，我国的教育事业正按照《中共中央关于教育体制改革的决定》所指引的方向，跨上改革和发展的伟大征途。面对这一形势，作为基础教育一环的中学物理教学，必须为完成这一光荣的战略任务作出自己的努力，对教育思想、教学内容和教学方法进行坚决而有步骤的改革。

在中学物理教学改革中，当前最突出的问题是实验教学薄弱。实验教学的现状与物理教学的性质、教育改革形势的要求和作为基础教育重要环节的地位很不相称。因此，对于中学物理实验的基础地位与具体作用，有进一步认识的必要。

众所周知，物理学是一门以实验为基础的科学。物理学的实验基础、理论体系和研究方法，是现代科学和技术的基础，它们在学生智能结构的发展中将占有越来越重要的地位。现在课桌旁的少年一代，如果缺乏起码的物理学知识和技能训练，将如何面对二十一世纪高度现代化的建设任务？有鉴于此，中学物理实验教学的根本目的与任务应该是：通过实验观察和实验手段，使学生最有效地掌握为进一步学习现代化生产和现代科学技术所必需

<sup>①</sup> 参见：江山野：“教育改革的三个大趋势”，《国外教育》，1984年第6期。

的基础物理知识，培养初步的实际技能和创造能力。

在教育思想和方法的革新中，能力培养，特别是创造能力的早期培养已成为讨论的中心课题。孤立地把大脑当作“知识的容器”而忽略在手脑并用的实践活动中，人们认识能力的提高和创造才能的萌发，是旧教育思想的根本缺陷。在这方面，物理实验教学将日益显露出它的重要地位。许多新教学方法和经验的创造都离不开加强实验在整个认识（学习）过程中的作用。因为，不论从物理学的特点还是从教育学的观点来讲，实验活动都在实践——理论——再实践这一永不休止的对自然界规律的认识链条中起着不可替代的基础作用。

中学时期是青少年准备跨入科学与技术大门的启蒙阶段。因此中学物理教学必须考虑学生的年龄特征与心理特点。要特别注意引导他们从认识的感性阶段向理性阶段过渡，善于从具体事物中启发他们开始去认识五光十色的物质世界，培养起观察与探索的兴趣和能力。这里，实验教学再一次显露了它的特殊意义。

总之，从中学物理教学的目的与任务、物理学的特点和学生的年龄特征这三个方面综合来看，实验确实应该成为整个中学物理教学的坚实基础。

纵观目前国内外物理教学的动态，也能给我们一些启示。在一些发达国家，实验在中学物理教学中已明显得到重视和加强。例如：据英国牛津大学教育学院七十年代一份研究资料介绍<sup>①</sup>，欧洲国家，中学最后二年（即预科）的学生物理实验所占的比重较大，如英国约占整个教学时间25—50%，在中学低年级可占每堂课教学时间的70%—80%。又如，西德国民教育初中物理课程共安排了343个实验<sup>②</sup>，其中295个由学生自己完成，学生对物理学这门课的学习，几乎完全是在自己手脑并用的过程中完成的。

---

① 曹磊：《着意创造情景，全面测试能力》，物理通报编辑部1984年报告会。

② 塞尔肖夫·乌劳贝尔著：《物理》，安文铸译，文化教育出版社，1981年版。

另外据介绍，国际物理教学研究组织（简称GIREP）在1984年物理教学讨论会上<sup>①</sup>展示的演示实验仪器，几乎都有微机配合使用。在我国也有不少中学，正朝着大力加强实验教学的方向努力。以实验为基础的跟踪对比的教学改革试验，综合-探索式，综合-启发式，“启动式”等多种教学方法改革试验正在各地纷纷展开。从这些国内外中学物理教学改革资料可以看出：在指导思想上，中学物理教学坚持以实验为基础；在实验教学要求上，增大学生的实验比重，着重实验能力的训练；在教学形式上，更多地趋于采用边教边实验的方法，物理教学的课堂向专用教室发展；在实验设备条件上，重视用简单的仪器做实验，同时也注意应用现代化的实验手段，如运用计算机来控制实验、处理数据、模拟演示等；在学生物理实验活动范围方面，已扩展到第二课堂，即课内课外实验相结合。为使我国中学物理教学符合三个面向的要求，要经常注意收集和研究这类信息，更快地走出一条适合我国具体情况的改革之路。

和世界先进水平相比，我国的物理学发展速度与规模总的说来是不高的，其根本原因之一就是我国物理学的实验基础还不够强大，实验人才的成长和培养比较缓慢，大中学校的物理实验教学因长期未受到应有重视而成为薄弱环节，与今天教育科技和经济发展的迫切要求形成了尖锐的矛盾。造成这种状况的原因是多方面的，包括我国历史上形成的经济、科学文化的落后状态改变得还不快，不发达的生产力对劳动者智能的需求较为保守，实验室的物质条件不足，实验教学人员缺乏等等。要加速改变这一状态，切实加强实验教学，需要我们为实验教学的基础地位大声疾呼，进一步发挥实验在中学物理教学中的应有作用。

### 一、实验教学能使学生有效地掌握物理基础知识

“物理学家是在自然过程表现得最确实、最少受干扰的地方考

---

<sup>①</sup> 蔡怀新：GIREP 1984年物理教学讨论会，《物理教学》1985年第二期。

查自然过程的、或者，如有可能，是在保证过程以其纯粹形态进行的条件下从事实验的。”<sup>①</sup>这就是说，物理实验能够创造确实的、排除干扰的物理环境，使物理学家更好地发现和认识物理规律。由于物理实验具有这样的特点，因此它也同样能创造适合于教学活动的物理环境，供年青一代以最有效的方式迅速掌握前人已认识到的真理。学生在这种实验环境中，在教师启发下，通过观察、量度获取最典型的感性认识，通过最简捷的思维活动建立概念，总结规律，并把理论知识运用于实践。对于中学生来说，这可以求得对基本知识比较深入的、牢固的掌握和初步的运用。在中学物理实验教学过程中，学生处于主体地位，只要组织得当，他可以逐步取得探索物理知识的主动权，掌握学习方法，培养自学能力，为今后系统地学习现代科学技术或生产技能打下必要的基础。

## 二、实验教学有助于培养学生手脑并用的能力

实验是手脑并用的实践活动。中学生通过理解实验原理、操作实验仪器、观察实验现象和分析实验结果等活动，使观察能力、思维能力、操作能力都得到初步的锻炼。在实验过程中，为了进行正确的思维活动，学生必须认真地观察，而要深入地观察，又必须有思维的指导。同样，为了合理地动手操作，也必须有思维的指导，而在思维指导下的熟练的操作往往是创造产生的源泉，即所谓“熟能生巧”。可见，实验是上述能力的综合训练过程，也是创造能力得以产生的基础。在实验教学中要特别强调动手能力的训练，但绝不能把实验仅仅看作是单纯的技术训练和操作练习。我们必须从实践与思维、动手与动脑的相互联系来认识实验对培养实际技能和发展创造能力的作用。

## 三、实验教学有助于训练学生的科学方法

实验是一种基本的科学方法。在实验教学中，教师要有意识

---

① 马克思：《资本论》序言，人民出版社。

地交给学生打开知识宝库的钥匙,启发学生从接触物理科学开始,就较快地理解和熟悉实验这一基本科学方法。实验教学可以在一定程度上模仿为科学研究过程的缩影,让学生主动地探求物理规律,学习研究方法。为此,我们必须研究教学实验与科学实验的共同点,以便研究如何对学生系统地进行科学训练。一般说来,教学实验与科学实验中的基本方法大致分为如下三类:

(1) 实验归纳法。这是一种由个别到一般的认识方法。物理学家常常根据研究的目的,人为地控制条件,从大量的实验事实中找出普遍特征,形成规律。例如,理想气体三定律、电磁作用的法拉第定律、机械能转换关系等等,都是从大量的实验中归纳出来的。

实验归纳法,也是物理教学中常用的实验方法。例如,在课堂教学中,为了使學生掌握一般物体热胀冷缩的性质,就需要分别演示固体、液体、气体热膨胀实验,然后,才能归纳出结论。又如,在欧姆定律的教学中,需要通过学生分组实验,采用控制变量的方法,分别测出电流强度与电压的关系和电流强度与电阻的关系,然后,才能归纳出欧姆定律的表达式。

实验归纳法的特点是,实验在前,结论在后,实验就是探索规律的主要手段。这种实验人们常称为探索性实验。这是中学物理教学中最常见的实验方法。

(2) 实验验证法。这是一种推理、判断在前,实验验证在后的研究方法(即演绎法)。物理学家们常常在已知的物理推论或者哲学思想的基础上,经过推理,作出假设和预言,通过实验检验它的真理性,最后肯定或否定论断,得出可靠的结论。例如,麦克斯韦电磁理论的建立,中微子的发现,相对论的成功,都是通过实验验证法,最后得到肯定的。

实验验证法是与想象、推理、判断等思维形式紧密结合起来的方法,是人们的认识能力充分发展的表现。科学家运用这种研

究方法，就能走在实验的前面，推动科学向前发展。而这种研究方法既能鼓励科学家们大胆设想，勇于创新，发展预见能力，同时又可以无情地否决某些谬误，防止科学家在错误的道路上走得太远。

物理实验教学中也常用实验验证法。旧教育思想往往忽视教学实验在研究方法上的意义，有时，为了设备安排上的方便，脱离课堂教学的过程过远，使学生分组的实验成为无的放矢。实验目的不明确，就会使这种实验可有可无。近年来，人们越来越重视实验验证法在科学方法和教学方法上的重要意义。在课堂教学中，努力把验证性的演示实验或学生分组实验紧紧地与理论分析结合起来，构成推理、判断、验证、结论这样一个合理的教学程序，就能使学生在掌握规律的同时，学到这种研究方法。

探索性实验与验证性实验是两种类型的研究方法，教学中运用得当，都具有启迪思维、探索真理的作用。

(3) 理想实验的方法。理想实验是人们头脑中想象的实验，是一种思维活动，是在已有实践的基础上，经过推论、判断得出理想条件下的物理规律的方法。例如，伽利略在研究物体惯性时进行的无摩擦理想斜面实验；爱因斯坦建立狭义相对论时设计了关于同时性的相对性实验；在建立广义相对论时，设计了在自由下落的升降机里一束光因受引力作用发生弯曲的实验；在量子力学中，海森伯用以推导测不准关系所设计的电子单缝衍射实验等等，都是理想实验。这些理想实验，既以真实实验为基础，又高于真实实验。它能更深刻地反映现象的本质，揭示事物的内在联系，是人们认识能力高度发展的体现，在推动物理学发展的过程中，起着重要的作用。

在中学物理教学中也需要借助这种研究方法，帮助学生建立概念和认识规律。例如，建立即时速度概念，只能在测定有限的平均速度的基础上，推论到位移趋于零时平均速度的极限。在建



立电场中任意一点的电场强度概念时，可先研究放在电场中较大的带电体的受力情况，再推论用理想的试探电荷作试验，得出理想实验的结果。运用这种理想化方法，可以发展学生的想象能力和逻辑推理能力，具有不可忽视的科学与教学意义。

#### 四、实验教学能培养学生的科学态度和科学作风

科学的实验方法本身就要求具有实事求是老老实实的态度。因此，在实验中，我们要严格要求学生：实事求是，忠于实验数据；尊重客观事实，避免主观臆断；严谨治学、理论联系实际；有勇于献身的精神，不怕困难和失败；活跃思维培养创新精神。在实验过程中，也确实存在不少机会可以用来教育学生养成科学的态度和作风。例如，对待实验中的“机遇”就是一个富有教育意义的课题。

实验中的机遇，就是预定目标之外的偶然事件。它往往会被人们忽视，以为是微不足道的事情而轻易放过。其实，任何偶然事件都有必然的起因，在物理学发展中，许多物理学家凭借着敏锐的观察力，及时抓住机遇寻索追根，终于获得科学上的重大突破。例如，意大利解剖学家伽伐尼做青蛙解剖实验时，第一次发现了电流。伦琴在研究阴极射线管的放电现象时，偶然发现了X射线。这些例子表明，正确地追索实验中出现的机遇，能使人们打破旧观念的束缚，发现科学上的生长点，把科学探索引向新的领域。

在物理教学实验中，发现预定之外的现象是经常发生的。例如，在用示波器观察波形时，有时会出现畸变；在做玻-马定律实验时，气体的体积被压缩到一定程度后，在水银表面有时会出现凝结水；带有小量电荷的验电器箔片张开一定的角度后，当带有较大量异号电荷的带电体靠近验电器时，可以明显见到箔片张角反而增大。这些预料之外的现象都是有科学原因的，追索这些原因，能学到许多书本上没有的知识，使认识得到深化。更重要的还在