



新世纪高等学校规划教材·物理学系列

# 中学物理 实验教学研究

主 编◎李春密

副主编◎俞晓明 郑少山

ZHONGXUE WULI

SHIYAN JIAOXUE YANJIU



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社



新世纪高等学校规划教材·物理学系列

# 中学物理 实验教学研究

主 编◎李春密

副主编◎俞晓明 郑少山

ZHONGXUE WULI

SHIYAN JIAOXUE YANJIU



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社

---

图书在版编目(CIP)数据

中学物理实验教学研究 / 李春密主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2018. 1

新世纪高等学校规划教材·物理学系列

ISBN 978-7-303-23433-2

I. ①中… II. ①李… III. ①中学物理课—实验—教学研究—高等学校—教材 IV. ①G633.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 021604

---

营销中心电话 010-62978190 62979006  
北师大出版社科技与经管分社 www.jswsbook.com  
电子信箱 jswsbook@163.com

---

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com  
北京市海淀区新街口外大街 19 号  
邮政编码: 100875

印刷: 北京玺诚印务有限公司  
经销: 全国新华书店  
开本: 787 mm×1092 mm 1/16  
印张: 19  
字数: 416 千字  
版次: 2018 年 1 月第 1 版  
印次: 2018 年 1 月第 1 次印刷  
定 价: 43.00 元

---

策划编辑: 刘风娟	责任编辑: 刘风娟
美术编辑: 刘 超	装帧设计: 刘 超
责任校对: 赵非非	责任印制: 赵非非

**版权所有 侵权必究**

反盗版、侵权举报电话: 010-62978190

北京读者服务部电话: 010-62979006-8021

外埠邮购电话: 010-62978190

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-62979006-8006

# 前 言

2014年4月,教育部印发了《关于全面深化课程改革落实立德树人根本任务的意见》,提出全面深化课程改革“五个统筹”的工作任务,并针对课程改革的关键领域、主要环节和制约课程改革的体制机制障碍,提出了十项措施,如研究制定学生发展核心素养体系和学业质量标准、修订课程方案和课程标准等。2017年9月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于深化教育体制机制改革的意见》,强调在培养学生基础知识和基本技能的过程中,强化学生关键能力培养,即培养认知能力、合作能力、创新能力、职业能力。

新一轮课程改革注重发展和培养学生的物理学科核心素养,物理实验是物理教学的重要内容,对于培养学生的物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任等具有特殊的地位和作用。物理学是以实验为基础的自然科学,实验是物理学研究的重要方法。在中学物理教学中,阐述物理现象、形成物理概念、建立物理规律、测量物理常数等,都以实验为基础。

通过物理实验创设某种情境,让学生在观察和体验后有所发现、有所联想,萌发出科学问题,在实验中创设一些任务,让学生在完成任务中运用科学思维,自己提炼出探究的科学问题。通过实验提高学生提出科学问题、形成猜想和假设、设计实验与制订方案、获取和处理信息、基于证据得出结论并作出解释,以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思的能力。同时,物理实验还能培养学生的科学态度和科学精神,培养学生严肃认真对待实验的态度,尊重实验结果与事实,把实事求是的作风带到平时的学习和生活中去。

基础教育阶段物理教师、物理教育工作者或管理者,必须贯彻以实验为基础的思想,必须具备良好的实验素养和坚实的实验技能,必须具备一定的实验教学与研究能力,才能适应基础教育课程改革和培养创新人才的需要。

为推动中学物理教师和师范院校学生开展实验教学研究,我们编写了《中学物理实验技能训练》(天津教育出版社,2006年7月),旨在以物理学的理论、方法和教育学、心理学理论为指导,探讨实验教学的理论问题和研究方法,并结合21世纪新的课程改革,加强实验技能训练,加强探究实验的研究,注重现代化教学手段,特别是计算机辅助实验教学的研究。

为帮助师范院校课程与教学论(物理)专业硕士研究生、教育硕士生专业学位学科教学(物理)专业方向学员及有志于从事基础物理教学的人员提高实验教学与研究水平,我们编写了这本《中学物理实验教学研究》,它将物理实验教学与物理实验研究融为一体,进一步提高物理实验的素养和技能,提升物理实验的教学与研究水平。

《中学物理实验教学研究》一书共分11章。第1章概述中学物理实验教学研究的现状。第2章介绍物理实验误差与数据处理有关知识及其应用。第3章介绍物理测量的基本方法。第4章介绍中学物理实验教学研究的一般方法。第5章介绍中学物理演示实验的研究。第6章介绍中学物理学生实验的研究。第7章介绍物理设计性实验的研究。第8章介

绍非常规物理实验研究。第9章介绍中学物理实验故障研究。第10章介绍信息技术与物理实验教学的整合。第11章介绍中学物理实验教学的评价。

全书在编写过程中,吸取了兄弟院校的经验 and 长处,所录参考文献中如有疏漏之处,敬请谅解。对被引用文献的各位长期潜心从事物理实验教学研究的专家和学者表示衷心的感谢。

本书的出版得到了北京师范大学出版社刘风娟、邢颖同志的关怀和支持,在此向他们表示感谢。

由于编者水平所限,不当之处在所难免,希望得到同行和读者的指正。

编者

2017年10月

# 目 录

<b>第 1 章 中学物理实验教学研究概述</b> .....	1
1.1 物理实验与物理学 .....	1
1.2 物理实验在中学物理教学中的重要作用 .....	6
1.3 中学物理实验教学研究的现状 .....	9
1.4 中学物理实验教学研究的能力 .....	16
1.5 中学物理实验教学研究的目的是、目标和任务 .....	23
<b>第 2 章 物理实验误差与数据处理方法</b> .....	27
2.1 物理实验误差 .....	27
2.2 数据处理方法 .....	43
2.3 不确定度理论及数据处理方法的应用 .....	52
<b>第 3 章 物理测量的基本方法</b> .....	60
3.1 比较法 .....	60
3.2 放大法 .....	65
3.3 模拟法 .....	75
3.4 传感器法 .....	85
<b>第 4 章 物理实验教学研究的一般方法</b> .....	97
4.1 实验模型 .....	97
4.2 实验原理 .....	102
4.3 实验方法 .....	107
4.4 实验装置 .....	113
<b>第 5 章 物理演示实验教学研究</b> .....	122
5.1 物理演示实验的教学要求 .....	122
5.2 物理演示实验的教学策略 .....	127
5.3 物理演示实验的设计与研究 .....	137
<b>第 6 章 物理学生实验教学研究</b> .....	145
6.1 物理学生实验的教学研究 .....	145
6.2 物理探究性实验教学研究 .....	155
6.3 物理验证性实验教学研究 .....	160

<b>第7章 物理设计性实验研究</b> .....	164
7.1 物理设计性实验的研究 .....	164
7.2 物理课外实验研究 .....	174
7.3 黑箱实验设计与研究 .....	178
<b>第8章 “非常规”物理实验研究</b> .....	186
8.1 “非常规”物理实验概述 .....	186
8.2 “非常规”物理实验的分类及其特点 .....	191
8.3 自制教具实验 .....	192
8.4 随手取材实验 .....	197
8.5 利用玩具的实验 .....	206
<b>第9章 中学物理实验故障排除</b> .....	211
9.1 实验故障排除概述 .....	211
9.2 实验故障排除的具体方法 .....	213
9.3 中学物理典型实验故障排除 .....	218
<b>第10章 信息技术与物理实验教学的整合</b> .....	228
10.1 信息技术与物理实验教学整合概述 .....	228
10.2 信息技术在物理实验数据处理中的应用 .....	230
10.3 数码产品在物理实验教学中的应用 .....	237
10.4 数字化信息系统实验室在物理实验教学中的应用 .....	243
<b>第11章 中学物理实验教学评价</b> .....	253
11.1 中学物理实验教学评价的要求与目标 .....	253
11.2 中学物理实验教学评价的内容与类型 .....	255
11.3 中学物理实验评价的体系 .....	259
<b>附录</b> .....	279
<b>参考文献</b> .....	296

# 第1章 中学物理实验教学研究概述

在自然现象的研究中,实验作为一种经验认知方式,是自然科学最直接、最重要的认识基础,自然科学理论的建立或检验无不以实验为试金石。实验研究是科学研究的基石,没有实验研究就没有真正的科学。

物理学是以实验为基础的自然科学。古代物理学、经典物理学和现代物理学的发展都离不开物理实验,物理实验对物理学发展的推动作用体现在如下5个方面:产生新分支,开拓新领域;发现新现象,探索新规律;证实基础理论,驳斥错误假设;测定物理常数,促进理论发展;促进科学进步,加速技术发展。

中学生以感性认识为主的特点决定了在中学物理教学过程中需要以实验为基础。物理实验是培养学生的观察、实验能力,发展学生思维能力的重要手段;是学生学习基本科学方法的重要途径。物理实验能引起学生的兴趣,调动学生学习的积极性、主动性;能培养学生严格的科学态度和科学作风,全面发展学生的核心素养。

对我国博士论文数据库、学术期刊《课程·教材·教法》和美国学术期刊《科学教育》(Science Education)进行搜索及调研,调研结果反映出我国的物理实验教学研究具有如下优点:一是在实践中探索出多种实验类型;二是对实验教学功能进行了翔实的研究;三是研究内容从笼统到具体;四是文章类型从经验总结到理论研究。研究的同时也指出我国实验教学研究存在不足之处,如实验教学策略缺乏细致的研究、忽视对学生学习、教学效果的研究、对教师专业化发展的研究不足以及缺乏中外实验研究交流等。

中学物理实验教学研究的能力由3个核心要素组成:一是中学物理实验能力,包括中学物理实验观察能力、中学物理实验操作能力、中学物理实验思维能力、中学物理实验数据处理能力、中学物理实验设计能力;二是中学物理实验教学能力,包括中学物理实验素养、中学物理实验知识与技能、中学物理实验教学能力;三是中学物理实验研究能力,包括对演示实验的研究、学生实验的研究、设计性实验的研究、疑难实验的研究、现代化技术与实验教学整合的研究以及实验教学评价的研究。

## 1.1 物理实验与物理学

### 1.1.1 物理实验与物理学的发展

#### 1. 物理实验与古代物理学的发展(1600年以前)

在古代,亦即公元前七八世纪后,中国和希腊形成了东西方两个科技发展中心,科学已经以经验科学的形态从生产劳动中分化出来。但此时的物理学还只是“自然哲学”的重要组成部分,基本上还处在对现象的描述、经验的简单总结阶段,实验的巨大作用还未被充



分认识到。尽管如此,不论是在中国还是在外国,很多人都曾做过许多实验或观测,还制造了不少仪器,这对古代物理学的发展起了积极的推动作用。

在我国:①计时工具的使用。早在尧舜时代,就用“圭表”来观象授时,后来又使用“日晷”来测量时间,到春秋时期(公元前7世纪)普遍使用水滴滴漏的方法计时。②浮力知识的应用。神童曹冲五六岁时就提出“以舟量物”的思想,宋僧怀丙利用船只打捞万斤铁牛等。③光学知识的应用与研究。西周时期有利用青铜阳隧起火的记载;西汉有利用冰透镜起火的记载;战国时期墨翟对平面镜、凸面镜和凹面镜的反射原理、性能、成像进行分析研究;宋代沈括研究油膜干涉色彩、衍射色彩、物体颜色及其透光之色、各种冷光,总结得出冷光本质为“有火之用,无火之热”,特别是其研究凹面镜成像并记述了“离镜一、二寸,光聚为一点,大如麻菽”。④磁学的应用。战国时期人们制造了司南以辨别方向,之后制造出“指南鱼”“指南龟”,最终发展成了举世瞩目的指南针;秦始皇建筑阿房宫以磁石为门以吸引“隐甲怀刃者”,西晋骁将马隆“夹道累磁石”以吸引路过鲜卑敌军的枪械;宋代沈括还发现了地磁偏角,这比哥伦布横渡大西洋时观测到地磁偏角要早400多年。⑤缕悬法的应用。沈括采用缕悬法支挂小磁针,这比库仑扭秤实验、卡文迪许扭秤实验等要早700多年,该方法至今仍在使用。

在西方:古希腊人泰勒斯在公元前600年左右,发现摩擦过的琥珀可以吸引轻小的干草叶,卢克莱修(约公元前99—前55)在《物的本性》中对天然磁石吸铁现象作出解释。古希腊欧几里得(约公元前330—前275)在《反射光学》中明确地提出了光的直进性,比较深入地探讨了光的反射现象,并用几何学方法表达了光的反射定律,该书还论述了凹面镜焦点的概念。古希腊阿基米德(公元前287—前212)在《浮体》一书中描述了浮力定律等。

这一时期,物理实验的特点是:

①这些实验毕竟还是零星的。

②定量的实验较少,而定性的实验较多。

③大多数实验没有提升概括出理论,多只限于现象的描述,或者只作了一般的解释而没有形成系统的理论。

④即使形成了一些理论,也没有用实验去检验它。

## 2. 物理实验与经典物理学的发展(1600—1900年)

伽利略(G. Galilei, 1564—1642)创立的实验方法、理想实验方法、严格的逻辑与数学推理方法,开辟了科学方法的新道路,正如爱因斯坦所说:“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。”自此,物理学成为集哲学的概括性和抽象性、数学的严密性和逻辑性以及实验的实践性和操作性于一身的自然科学。

一批批杰出的科学家,对物理学的发展作出了划时代的贡献。伽利略设计了斜面实验和落体实验,发现了运动定律和自由落体定律;库仑(C. Coulomb, 1736—1806)设计了扭秤实验,得到了静电力的平方反比定律;奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)发现了电流的磁效应;法拉第(M. Faraday, 1791—1867)发现了电磁感应现象;布朗(R. Brown, 1773—1858)通过观察水中花粉颗粒的运动,发现了布朗运动;托马斯·杨(T. Young, 1773—1829)设计双缝干涉实验,确证了光的波动性;马吕斯(E. L. Malus, 1775—1812)发现了反射时光的偏振,确定了偏振光强度变化的规律。

经典物理学与其他自然科学一样,来源于人类的社会实践,而生产实践以及后来从生产实践中分离出来的科学实验,则又成为检验经典物理学理论真伪的标准。

这一时期实验研究方法和实验科学思想的特点是:

①把实验与数学结合起来,既注意逻辑推理,又依靠实验检验,构成了一套完整的科学研究方法。

②实验时有意识地抛开一些次要因素,创造理想化的物理条件。既力求使实验条件尽可能地符合数学要求,又设法改变实验测量的条件,使之易于测量。

③用实验去验证理论。科学实验是为了证明理论概念(或观察规律),不是盲目的、无计划的,而理论又必须服从实验判决。

④把实验与理论联系起来。把各物理量之间的关系用数学表达式联系起来,使实验结果上升到普遍的理论高度。在实验的基础上,进行理论的演绎和逻辑的推理,可得出超越实验本身的更为普遍的理论结论。

这是从观察到实验的历史性转变,从此物理学的发展建立在可靠的实验基础之上,物理学也从定性研究过渡到定量研究。

### 3. 物理实验与现代物理学的发展(20世纪初至今)

从16世纪初到19世纪末,历经300多年的迅猛发展,经典物理学各基础学科(力学、光学、热学和电磁学等)都已建立起来,并且成为物理学其他发展方向和其他自然科学发展的典范。然而,19世纪末也出现了许多无法用经典物理学理论加以解释的物理现象,如三大发现:电子的发现、X射线的发现和放射性现象的发现,以及迈克尔逊(A. A. Michelson, 1852—1931)和莫雷(E. W. Morly, 1838—1923)关于以太漂移的“零结果”实验、黑体辐射实验、固体比热容的测定、光电效应、康普顿效应等,经典物理学理论与实验事实的矛盾,引起了物理学的革命,导致了现代物理学的诞生,推动了现代物理学的发展、完善。

现代物理实验的特点是:

①物理实验提供了电子显微镜、射电望远镜、高能加速器、电子计算机等大批大型精密的实验装置,光谱分析、质谱分析、X射线衍射等分析技术也得到很大的发展,物理实验在精密、高能、快速和自动化方面达到了新的水平,物理学观测的视野也得到了很大的拓展。

②物理实验除了能够用更有效的手段纯化实验条件和隔离实验因素外,还发展了有效地施加外部干扰和使研究对象处于极限条件,在对象的激发状态或破坏状态下进行观测的实验方法,更加充分地发挥了实验的变革作用和控制作用,更好地揭露了物理现象中各种内在的和外在的因素之间的相互联系。

③物理实验由于规模越来越大,因此它的集体化、社会化的程度也越来越高,许多实验是在较大规模的实验机构中进行的,有些实验需要全国甚至国际的力量才能完成。

④实验研究对象远远超出人们直观经验的领域,实验与观察依赖于理论,通过实验所获得的认识实际上要受制于仪器和实验设计中所蕴含的假设,所以不能离开理性思维的指导。

#### 1.1.2 物理实验在物理学发展中的作用

物理实验是物理学理论的基础,也是物理学发展的基本动力,主要体现在以下5个方面。

### 1. 产生新分支、开拓新领域

1820年,丹麦物理学家奥斯特发现通电导线的周围存在横向环绕电流的“电冲突”,“电冲突”可以透过所有非磁性物体,并且可以推动磁性物体发生偏转,这就是电流的磁效应,从此揭开了电与磁联系的序幕。1831年,英国物理学家法拉第凭借高超的实验技巧和大量的实验事实发现了电磁感应现象,并概括了可以产生感应电流的5种类型:变化着的电流,变化着的磁场,运动的恒定电流,运动的磁铁,在磁场中运动的导体。电磁感应的发现,为发电机的发明奠定了理论基础,打开了电力时代的大门。

1896年,法国物理学家贝克勒尔(H. A. Becquerel, 1852—1908)发现了铀的天然放射性现象,使人类第一次看到了原子核的变化,这一发现被认为是原子核物理学的开端。1919年,英国物理学家卢瑟福(E. Rutherford, 1871—1937)通过实验第一次发现可以用人工的方法来实现原子核的转变,由此开辟了人工核反应的道路。

### 2. 发现新现象、探索新规律

1666年,英国物理学家牛顿(I. Newton, 1642—1727)进行了著名的棱镜白光色散实验,在人类历史上第一次看到了白光的彩色光谱。1886年到1887年,德国物理学家赫兹(H. Hertz, 1857—1894)在做证实麦克斯韦的电磁理论的火花放电实验时,发现了光电效应。为探明阴极射线的性质,凭借超常的细心和耐心,德国物理学家伦琴(W. C. Rontgen, 1845—1923)于1895年发现了X射线,天然放射现象被发现。

英国物理学家波义耳(R. Boyle, 1627—1691)做了一系列实验来考察空气的压力和体积的关系,得出“空气的压强和它的体积成反比”的数学关系。1785年,法国物理学家库仑使用自己发明制作的扭秤测量同种带电球之间的斥力,证明了距离的反平方定律,第二年又通过振动法对异种带电球之间的引力进行研究,得到了同样的结论。库仑定律是静电学中第一个定量的基本规律,成为电磁学理论的基础。1841年,英国物理学家焦耳(J. P. Joule, 1818—1889)用金属导线研究电流热效应时提出“在一定时间内伏打电流通过金属导体产生的热与电流强度的平方及导体电阻的乘积成正比”的规律。

### 3. 证实基础理论、驳斥错误假设

1887年,赫兹在直线振荡器的基础上设计出了“感应平衡器”,并利用沥青等绝缘物质进行实验,确证了麦克斯韦“位移电流”的存在,给予麦克斯韦的理论以决定性的证明。1914年,德国物理学家弗兰克(J. Franck, 1882—1964)和G. 赫兹(G. Hertz, 1887—1975)用慢电子与稀薄气体的原子碰撞方法,测量原子的激发电位和电离电位,证实了原子能级的存在,清晰地揭示了原子的能级图像,给玻尔的原子理论提供了有力的证据。1921年,斯特恩(O. Stern, 1888—1969)和盖拉赫(W. Gerlach, 1889—1979)设计了让一束银原子通过非均匀磁场的实验,发现银原子分裂为两束,不但直观地显示了原子磁矩,而且确凿地证实了1916年索末菲(A. Sommerfeld, 1868—1951)和德拜(P. J. W. Debye, 1884—1966)提出的原子角动量空间量子化概念。

开普勒(J. Kepler, 1571—1630)认真地研究了第谷多年对行星进行仔细观察所做的大量记录,于1609年在其伟大著作《新天文学》中提出了他的行星运动定律,彻底否定了托勒密的复杂宇宙体系,完善并简化了哥白尼的日心说。1609年,伽利略进行了科学史上有名的斜面实验,否定了近2000年来亚里士多德关于“物体的下落速度与其质量成正比”的落体学说。1887年,迈克尔逊和莫雷进行了著名的迈克尔逊—莫雷实验,实验的“零结

果”否定了以太的存在。

#### 4. 测定物理常数、促进理论发展

物理常数大致可以分为两类，一类如沸点、比热、导热系数、电阻率、电阻温度系数、折射率等，这些常数表征物质的固有属性，称之为物质常数。另一类如真空中的光速、基本电荷量、普朗克常数、里德伯常量等，这些常数与具体的物质属性无关，是普适的，称之为基本物理常数。<sup>①</sup>

了解物质的物理属性要通过实验测量与物质属性有关的各种常数，而基本物理常数的测定和研究，尤为重要。因此，在物理学的发展过程中，围绕物理常数的测量而开展的实验很多，一些重大的物理现象的发现和物理理论的创立，常常同物理常数的发现或准确测定有着密切的联系。

焦耳花费三四十年时间测量热功当量，采用多种方法，得到大量数据，为热力学第一定律的建立提供了确凿的依据。1897年，英国物理学家汤姆逊(J. J. Thomson, 1856—1940)在测定阴极射线的荷质比 $e/m$ 时，发现了电子，人类在历史上第一次发现了小于原子的粒子。汤姆逊发现电子并测量其荷质比后，美国物理学家密立根(R. Millikan, 1868—1953)设计了油滴实验，不仅证明了电荷的不连续性(即所有电荷都是基本电荷 $e$ 的整数倍)，而且测量到了基本电荷(即电子电荷)。此外，光速的测量不仅推动了光学的发展，也打破了光速无限的传统观念，还为粒子说和波动说的争论提供了判定依据，成为狭义相对论的出发点之一。

#### 5. 促进科学进步、加速技术发展

1800年，伏打发明了电堆，为人们获得比较稳定的持续电流提供了方法，使电学从对静电的研究进入到对动电的研究，并由此促成了电磁学、化学等一系列重大的科学发现的问世。

1895年，英国物理学家威尔逊(C. T. Wilson, 1869—1959)发明了被卢瑟福誉为“科学史上最妙不可言和新颖的仪器”的“径迹型”核探测器——云室，将“来无影去无踪”的粒子的运动径迹直观地展现在人们眼前。此外，物理学家利用威尔逊云室方法及改进的云室方法，还发现了正电子、 $\mu$ 子、 $K^0$ 介子等。

1948年，美国物理学家肖克利(W. B. Shockly, 1910—1989)、巴丁(J. Bardeen, 1908—1991)和布拉顿(W. H. Brattain, 1902—1987)在半导体研究的基础上，发明了晶体管，大大缩小了广播、通信、电子计算机等电子设备的体积，极大地减小了电能消耗，为集成电路、微电子学和计算机科学开辟了道路。

1981年，美国IBM公司苏黎世实验室两位实验物理学家宾尼(G. Binnig, 1947— )和罗雷尔(H. Rohrer, 1933— )发明了世界上第一台扫描隧道显微镜(简称STM)，人类第一次在技术上实现了对单个原子的控制与操作，为纳米科学技术的诞生奠定了基础。

伏打电堆、威尔逊云室、晶体管以及扫描隧道显微镜等科技成果仅仅依靠总结生产经验是发现不了的，只有在科学家的实验室里才会被发现。因此，“科学实验是科学理论的源泉，是自然科学的根本，也是工程技术的基础。”

<sup>①</sup> 郭奕玲，沈慧君. 物理学史[M]. 北京：清华大学出版社，1993.

## 1.2 物理实验在中学物理教学中的重要作用

### 1.2.1 物理科学实验与物理教学实验

#### 1. 分类及其概念

物理学实验根据实验的主体与客体、实验的功能与目的的不同,可分为两类:一类是物理学家在特定实验室环境里运用特定仪器设备去探索未知世界、发现新规律的物理科学实验,简称为科学实验;另一类是教师或学生在教室或教学实验室中为实现物理教学目标或学习目标所进行的物理教学实验,简称为物理实验。

科学实验是人类有目的、有计划地运用科学仪器和设备,在人为地控制或模拟自然现象,并对自然事物及物理现象进行缜密、反复的观察,测定和记录必要的的数据,计算和分析实验结果,借以探索其内在规律性的行为。

物理实验是人们根据研究的目的,运用科学仪器设备,人为地控制、创造或纯化某种自然过程,使之按预期的进程发展,同时在尽可能减少干扰客观状态的前提下进行观测,以探究物理过程变化规律的一种科学活动。<sup>①</sup>

#### 2. 两者关系

科学实验是为了发现人类未知的新的物理现象,探索和确立至今尚未被人们所认识的物理规律而开展的,常常要求实验者自行设计实验方案、设计或改进实验装置,在特定的实验室环境里通过反复观察物理现象的变化,测定和记录必要的的数据,计算和分析实验结果,逐步找出物理规律。科学实验过程中影响因素较多,实验道路曲折、过程艰辛,其结果可能成功也可能失败,当然还可能存在意外收获而带来新的发现,如穆斯堡尔效应的发现。

物理实验是为学生更好地积累知识、形成概念、掌握技能、提高素质、培养能力而开展的物理活动,一般不要求学生自己设计实验方案、设计实验装置。物理实验是按一定的教学目的而设计,根据教学实际需要而安排,在集中的时间内、在教室或教学实验室中引导学生观察物理现象的变化,测定和记录必要的的数据,计算和分析实验结果,验证物理规律等,是在教师启发、指导下,排除了次要因素,采用科学的方法,让学生走比较正确的道路,一般都会成功,但新的发现较少。

#### 3. 其他

物理科学实验源自人类的社会实践,并且成为检验物理学理论真伪的唯一标准,它是其他学科科学实验(如化学实验、生物学实验、心理学实验、生理学实验等)的先驱,体现了科学实验的共性,在实验思想、实验方法及实验手段等方面是各学科科学实验的基础。物理科学实验的成功与否,主要是看它的物理思想是否正确、与真实物理情景是否一致。

<sup>①</sup> 陶洪. 物理实验论[M]. 南宁:广西教育出版社,1996.

## 1.2.2 物理实验在中学物理教学中的重要作用

### 1. 物理教学的概念

物理教学是在教学目的的规范下,教师的教与学生的学共同组成的一种活动。它是学生在物理教师创设的物理学习环境中,在教师的指导和帮助下,在原有认知的基础上,通过各种途径认识物理客体,采用多种方式掌握物理基础知识与技能,经历科学探究过程,学习科学方法,形成正确的情感、态度和价值观,以实现科学素养全面发展的过程。

### 2. 物理实验在中学物理教学中的重要作用

物理实验不仅是物理学的重要研究方法,也是物理教学的重要组成部分。这里所说的物理实验包括演示实验、学生实验、设计性实验、疑难实验等。

#### (1) 中学物理教学需要以实验为基础

学生学习的知识虽然是前人经过实践总结出来,又经过实践证明是正确的,但对学生来说,要想掌握这些知识,还必须按照认识论规律,由感性到理性,再回到实践中检验、应用。

首先,中学物理教师在教学过程中应有意识地引导学生观察物理现象(尤其是大自然界中的物理现象)和进行生产参观,让学生逐步体会到物理现象的美妙及观察物理现象的愉悦,同时也应让学生意识到自然界的物理现象是千变万化的,而生产实际又比较复杂,体会到物理教学实验的必要性。其次,在物理教学实验中,教师可根据教学需要,把自然界中的物理现象,有控制地重现在课堂上,给学生以感性认识。特别是中学阶段所讲的物理概念和规律,大都直接来自实践。要使学生建立起物理概念,确切掌握物理规律,必须以丰富的感性材料为基础。另外在得出规律以后,通过实验验证理论、应用理论知识指导实验,有利于学生深刻地掌握物理概念和规律。最后,由学生亲自动手做物理实验,对巩固知识、使所学的知识能更好地在实践中应用显然是很有帮助的。

#### (2) 通过物理实验培养学生的观察、实验能力,发展学生的思维能力

物理课程标准明确指出要培养学生的观察、实验能力,思维能力,分析和解决实际问题的能力。复杂的物理现象、物理过程,要求观察者具备细致性、全面性、灵敏性等观察品质。这些都要在物理教学中有计划、有目的的培养。通过学生实验,训练学生的实验操作能力,如正确选择、使用仪器,正确读数并记录、处理数据,实验设计等能力。实验能力只能靠实验来培养,要让学生亲自动手操作。但也并不是说只要安排了实验课就一定能达到目的,学生实验操作的规范化,实验能力的灵活性、创造性品质,还必须经过有目的、有计划的培养才能形成。

演示实验和学生实验可以引导学生从观察和测量的结果来认识物理现象和物理过程,找出物理现象的特征以及产生这一物理现象、过程的条件,进行思考,有利于培养学生的思维能力。特别是学生在操作的过程中,手脑并用,如果善于引导,必将有效地发展学生的思维能力。思维能力是能力的核心,观察、实验能力是能力的基础。没有感知材料,思维就成了无源之水,无本之木,无法进行物理学习。在手脑并用过程中,物理实验既发展学生的观察、实验能力,又发展他们的思维能力,可见物理实验在培养学生能力方面的突出作用。

### (3) 通过物理实验引导学生学习科学方法和科学研究方法

理论是对客观世界的特征和变化规律作出的解释,方法是人们在认识和改造客观世界的实践活动中总结出来的正确的思维、行为方式、有效工具。理论本身不能作用于客观世界,必须借助于方法。因此,科学方法作为一种基本的研究途径,与科学理论平行,都应包含在自然科学的范畴之中。

物理实验中的实验验证法、实验归纳法、物理实验与物理思想实验相结合的方法等都是对学生进行创造意识训练和科学方法训练的有效途径。物理实验本身就是基本的科学(研究)方法,理应贯穿于物理教学之中。因此,《义务教育物理课程标准(2011年版)》、《普通高中物理课程标准(2017年版)》等都多次提出要加强科学方法和科学研究方法的教学。

例如,在《义务教育物理课程标准(2011年版)》中8次提出了“科学方法”、3次提出“科学研究方法”。8次“科学方法”分别是:在阐述“课程性质”时提出“物理学不仅含有探索大自然的知识成果,而且含有探索者的科学思想、科学方法、科学态度和科学精神等。”在第3部分课程内容的“科学内容”中提出“义务教育物理课程应让学生通过观察、操作、体验等方式,经历科学探究过程,认识物理概念和规律,学习科学方法,树立正确的世界观。”在教学建议的“依据课程目标进行教学设计”中提到“学生不仅应学到物理知识,而且应学到科学方法,发展探究能力,逐步形成科学态度与科学精神等。”“要让学生学习基本的科学方法,并能将这些方法迁移到自己的生活之中。”“用物理学的科学方法和精神对待周围的事物。”在评价内容中提出“注重评价学生在学习概念、规律过程中的表现,以及运用物理知识和科学方法解决实际问题的表现。”“能否尝试利用科学方法来解决实际问题。”在内容的呈现中提到“使学生除了学到科学知识和科学方法外,还能感受到时代的脉搏,保持积极向上的精神状态。”3次“科学研究方法”分别是:在阐述“课程基本理念”时提出“注重采用探究式的教学方法,让学生经历科学探究过程,学习科学研究方法,培养其创新精神和实践能力。”在阐述“课程目标”中提出“学习终身发展必需的物理基础知识和方法,养成良好的思维习惯,在分析问题和解决问题时尝试运用科学知识和科学研究方法。”在阐述“过程与方法”这一分目标时也提出“通过学习物理知识,提高分析问题与解决问题的能力,养成自学能力,学习物理学家在科学探索中的研究方法,并能在解决问题中尝试应用科学研究方法。”

再如,在《普通高中物理课程标准(2017年版)》中1次提到了“科学方法”,在必修3的教学提示中提到“努力创设激发学生探究欲望的问题情境,引导学生进行科学探究,懂得如何应用科学方法解决问题,培养实验设计、分析论证、反思评估等能力”。2次提到“科学研究方法”。分别是:在“课程性质”中提出“引导学生经历科学探究过程,体会科学研究方法,养成科学思维习惯,增强创新意识和实践能力”;在“内容选择”中提到“关注科学家在科学探索过程中所凝练、升华的科学思维方式和科学研究方法,让学生学习科学家的科学思维、研究方法及科学态度等。”

### (4) 物理实验能引起学生的兴趣,调动学生学习的积极性、主动性

一般学生都乐于感知客观事物,对感知客观事物感到满足;有的学生则有操作的兴趣,他们不满足于观察某种自然现象,而要通过自己的活动去对它施加影响。他们有了了解如何引起或改变自然现象的要求以及进行种种实践活动的尝试,开始注意现象与条件的变

化。许多有经验的教师都说,有些学生认为物理难学,主要原因之一是太抽象,如果加强实验,把枯燥的概念、规律变成生动有趣的内容,多数学生都会喜欢它。例如帕斯卡裂桶实验,纸杯烧水实验,电磁感应现象的演示,光导纤维作用的演示,都能引人入胜,并发人深思。学生一定会想:“加入那么一小点水,怎么桶就被胀裂了?”“我们用的锅都是金属的呀,怎么纸锅在火上不被烧着?”“在那个有电表的电路里并没有电池呀,怎么会使电表指针摆动?”中学生好奇、好动,新奇、有趣的演示实验就吸引着他们,使他们跃跃欲试。物理实验能激发学生的学习动机,学生动手操作,则能引起更浓厚的兴趣,带着浓厚的兴趣,学生自然会主动,积极地进行学习、探索。

#### (5)物理实验培养学生严格的科学态度和科学作风

实事求是、按客观规律办事,是科学的态度。这种态度需要在实践活动中逐步培养。物理实验可以培养学生尊重事实、严谨认真、不怕困难、敢于创新的精神,可以培养学生爱护仪器、遵守纪律、团结友爱、勤俭节约的优良作风。物理教师要在教学中言传身教,使学生受到教育、受到熏陶,在潜移默化中形成良好的态度和作风。

总之,在中学物理教学中加强物理实验决不能单纯看成是为了使学生学好物理知识而采取的手段,它在发展学生能力方面,甚至在学生的非智力因素的开发方面都起着非常重要的作用。因此,在物理教学中千方百计地创造条件,多做演示实验,且使学生能有更多机会亲自动手,是每个物理教师的责任。

## 1.3 中学物理实验教学研究的现状

### 1.3.1 实验教学与物理实验教学

#### 1. 实验教学

19世纪初期,科学开始进入学校。从那时起,实验教学就在科学教材中占有重要的地位。在使用美式英语的国家,实验教学被称为“laboratory activities”;在使用英式英语的国家,实验教学被称为“practical activities”。在科学进入课堂将近200年的时间里,实验在科学教育中的使用很频繁,以至于人们感觉对这一术语没有必要进行定义。学校实验包含着丰富的内涵。V. N. Lunetta等人认为学校实验这一术语是指在学校环境中,学生通过接触具体物体或二手的数据(如天文照片和虚拟实验等),来观察和理解物质世界的经历(The terms have meant experiences in school settings where students interact with materials to observe and understand the natural world)。这些活动既包括学生个人的实验、小组或班级的演示实验,也包括持续数周的探究或项目研究(project),以及在校外进行的相关活动。在韦氏大词典中,experiment的词义是为了揭示未知事物所进行的活动或过程,laboratory的词义是进行科学实验或研究的地方或建筑物,demonstration的词义是使事情变得明显、易懂的活动、过程或手段。

意大利人、耶稣会士利玛窦(Matteo Ricci, 1552—1610)于1582年来中国,以此为标志,我国的西学东渐活动开始,西方的科学技术知识开始传入中国,我国也进入近代科学



的萌芽阶段。在西学东渐的大背景下，大量的科学著作被带到中国，并通过口授或者翻译为国人所了解。在这一过程中，科学术语也随之被翻译过来。在我国物理学发展早期，对其影响最深的是由江南制造总局翻译的《物理学》。这本书是日本的物理学家饭盛挺造编著，腾田丰八和王季烈翻译的。这是中国第一部全面系统的物理学书籍，我国的“物理学”这一术语也是在这本书中开始被使用的。在这本书中，experiment 被译为“试验”。在洋务运动推动下，1862 年清政府设立了京师同文馆，1866 年同文馆增设天算馆，1888 年增设格致馆，自此物理学在各级各类学校开课讲授。1949 年前，我国科学教学方法深受美国杜威的影响，陶行知的思想具有代表性。在此期间，自制简单仪器的思想也已出现（1949 年后，这一思想由朱正元等推广）。查找中国期刊全文数据库和 20 世纪我国中小学物理学科课程标准和教学大纲发现，1949 年前演示实验被称为“表演实验”或“示教实验”，直到 1956 年，“演示实验”这一术语才出现在中学物理教学大纲中，与此同时，其他的称呼也随之消失。雷树人最早使用“演示实验”这一术语。教学实验术语的变化原因可能是在 1949 年后，教育界全面学习苏联，“演示实验”可能是由俄语翻译而来的。1949 年后对我国物理教育界影响较大的是苏联的兹那敏斯基，他的著作《中学物理教学法》对我国教学论教材的结构影响深远。与此同时，在苏联教育思想的影响下，课外实验这种实验类型也在教学中出现。

## 2. 物理实验教学

物理实验是有目的、有计划地运用仪器、设备，在人为控制条件下，使物理现象反复再现，从而进行认真观测，获取大量资料的一种科学研究方法。物理实验的基本要求有两个：一是可控性，二是可重复性。

在物理教学中做的物理实验是物理教学实验，新课程注重科学探究，实质上是注重真正体现物理学研究过程和方法的物理实验。物理实验教学在新课程实施中占有重要地位。

### 1.3.2 国内实验教学研究的历史与现状

#### 1. 近 30 年来我国物理实验教学研究的状况

在近 30 年中，我国基础教育研究经历了 3 个明显的阶段，物理实验教学研究也经历了 3 个阶段的发展。

第一阶段（1978—1989）：广大物理教育工作者整理出版了已有的研究成果，为一线教师提供了丰富的实验素材，满足了基础教育阶段物理课程的教学需要。这一个阶段的研究成果有：安忠、刘炳昇主编的《中学物理实验教学研究》、教育部（原国家教育委员会）教学仪器研究所组织人员编写的初、高中物理实验教学系列著作（《初中物理学生实验》《初中物理演示实验》《初中物理自制教具》《高中物理学生实验》《高中物理演示实验》）以及王兴乃的《高中物理实验大全》。这些书籍不仅系统地梳理了中学物理实验的已有研究成果，并且对这些成果进行了高度的总结。这些书籍解决了当时物理教学的需要，成为物理实验教学的里程碑，为物理实验教学的改革和发展奠定了基础。

第二阶段（1990—2000）：我国物理实验教育工作者针对中学物理教学实际，开始了本土化研究，对实验的原理进行细致的分析。这一阶段的成果包括陶洪主编的《物理实验论》、罗星凯主编的《中学物理疑难实验研究》、李春密等主编的《中学物理教学法实验研究》等著作。这些研究从理论上深入地分析了物理实验的作用和功能，从更深层次剖析实