

王志敏 曹 丰

物理
实
验
教
学
与
教
具
制
作

中学数理化教师提高丛书

华 中 理 工 大 学 出 版 社

中学数理化教师提高丛书

物理实验教学与 教具制作

王志敏	曹 丰
刘建新	王 悦
杨路丹	

华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

物理实验教学与教具制作 /王志敏

武汉:华中理工大学出版社,1998.1

ISBN 7-5609-1687-2

I. 物...

II. ①王... ②曹...

III. 物理课-实验教学-中学-教学参考资料

IV. 633.7

物理实验教学与教具制作

王志敏 曹丰等

责任编辑:李立鹏

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

武汉测绘院印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:10.5 字数:260000

1998年1月第1版 1998年1月第1次印刷

印数:1-5000

ISBN 7-5609-1687-2/G·170

定价:11.60元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

《中学数理化教师提高丛书》编委会

主编 郑隆炘 王心宽
编委 (以姓氏笔画为序)

王心宽	孙正川	李绍参	陈文生
欧阳仲威	范鸿章	郑隆炘	杨文茂
林六十	汤光宋	梁法驯	张兆华
姚磊明	龚义建	高正兴	高仕汉
裴幼强	樊 恺		

总 序

切实加强中学教师队伍特别是青年教师队伍的建设,是教育面向 21 世纪的一项紧迫的战略任务. 为了帮助中学数理化教师提高思想与业务素质以及教学能力、教研能力、科研能力,促进中学教育教学质量的提高,我们组织编写了这套《中学数理化教师提高丛书》.

本丛书遵循以下编写原则:充分考虑 21 世纪经济建设与教育发展的需要,认真总结多年来中学教育改革的经验,以及开展中学教师继续教育的研究成果;编著的内容源于中学,又高于中学,努力挖掘中学知识与大学知识之间的联系;对中学有关知识内容,抓住实质深刻阐述,并适度拓广,插漏补缺,重点提高;努力做到应用正确的哲学与方法论和先进的教育理论指导所撰内容,并融为一体,注重科学性、时代性、系统性、实用性与可读性;尽量不与已有中学教师进修书籍重复,做到有创新的见解,有独到的分析,有新颖的内容,有作者的研究成果. 丛书由郑隆炘、王心宽等 10 多位教授、专家组成编委会,由在中学数理化教育方面有研究成果与实践经验的教授、专家,以及有研究实力的中青年同志撰稿,其读者对象是各类中等学校数理化教师、教研工作者、大学理科专业学生、高中阶段部分成绩优秀的学生,以及高中以上文化程度的自学者.

我们深信,这套丛书的出版,将对中学师资队伍建设与中学理科教育改革,起到积极的促进作用.

《中学数理化教师提高丛书》编委会

1996 年 4 月于武汉

序 言

这套丛书的出版是一件很有意义的工作。由于笔者工作范围之限,只能对数学方面提出一点看法。如果还多少有一些想法对其他学科也有些作用,则甚至有一些喜出望外了。

自文化大革命结束以来,中学教育无论在数量和质量方面都有了飞跃的进展。比之当时百废待兴的局面自然是今非昔比。尽管在未来几十年中改革和发展都还会有极多复杂的情况出现,但是总可以采取比较“正规”的,按教育客观规律办事的方法,而临时性的措施应该更少一些了。因此,中学教师的继续教育问题就亟待更有系统地提出与解决了。

当然,可以要求中学教师都有更高的学历;如果满足不了,也可以用某种形式来补一补课;也可以开一些研讨会等等来帮助解决某些问题,但是根本之图是要求中学教师能多读一点书。这样就提出了一问题,读什么书?怎样读书才能有用?有不少人认为教什么就学什么就行了,不少人(包括高等师范院校相当一批师生在内)已经感到念这么多高等数学是没有用的。有不少人认为这违反了“师范性”反而造成思想不安、队伍不稳,如此等等。也有完全相反的看法,认为只有多念更高深的数学课程,本科完了还有研究生,这样才能从“根本上”提高水平,从“根本上”稳定队伍,从“根本上”解决师范性问题。那么什么是“师范性”呢?为人“师表”,应该有什么样的“规范”呢?作为一个教师,特别是一个中学教师,他的工作对象是“人”,是十来岁思想最活跃,最具可塑性的人,要去塑造一个人,有思想政治的要求,有道德情操的要求,当然还有生活能力、劳动技能等等,而从数量上“作大头”的仍是科学文化方面的要求。对于一个数理化教师,不但要求他以自己的思想情操去感化学生,更要求他能从自己的专业方面去塑造一个人。当然,例如一

个数学教师不应该以为自己的学生将来很多人成为数学家。但是，数学不只是谋生技能，更不能只是进入高一级学校的敲门砖。从这门科学中，我们看到人类是怎样解决他们面临的许多问题，又怎样从具体问题形成了许许多多数学定理、数学理论，……，人们曾经不只是为了某个具体的目的去研究一个个具体的数学问题，而是追求深层次的真理，又怎样由此而造出美好的世界。这就是创造。我们现在常说要培养“能力”。其实，哪里有什么“抽象的能力”，如果不进行创造的实践而侈谈“能力”的培养，犹之乎不下水而谈游泳的道理一样。一个十来岁的孩子解一个简单的数学题，他可能在创造，而范进六十中举，那怕是中了状元也没有什么创造，也谈不上什么能力。当然，写八股文也算一种“能力”吧！问题不在于是念高等数学还是初等数学，而在于如何对待孩子能够接受的知识，是一个态度问题。我不相信这里有什么固定的方法，更没有什么诀窍。可以看一看每一个事业有成的人，几乎都受到一两位中学教师的影响，而这位教师的影响，最深刻的不仅在于具体的知识，而在于他的情操，他对待科学的态度等等，即在于他自己的科学素质。

我们常说把大学的知识和中学知识结合起来，其实这是培养高的科学素质的根本之途。有一些历史的经验：19世纪末到本世纪初的德国大数学家克莱因，写了一部名著《高观点下的初等数学》。应该感谢湖北教育出版社，愿意赔本出这本书，其实这是作者多年利用假期为中学教师讲课的教材，而且实际上把自己的研究的成果都讲给教师们听。直至今日我们再读这本书仍感到富有启发，使人思如泉涌，可以懂得许多自以为再也没有问题的东西，一句话，可以懂得什么叫把大学和中学结合起来。我愿向每一个有志于提高自己数学水平的数学教师推荐这本书，条件是这位教师应该读过相当于大学一、二年级的数学课程。另一个范例是前苏联的经验。其中最宝贵的是，第一流的数学家，甚至是数学大师，也都愿意为中学教师的提高尽心尽力，最近一位同志翻译了前苏联的大数学家辛钦写的《数学分析八讲》，看一下这位名重一时，贡献卓著

的概率论大师,是怎样讲最基本的数学分析知识,从什么是实数,什么是函数开始,而且并不超过大学一年级的内容,看一下他的讲法和我们自己对这门最基本的数学课程的理解,相距何在,就知道为了提高自己的“素质”还要下多少功夫。现在大家都在讲素质教育,如果在科学文化方面也要提出素质问题而不只是谋生技能,更不是进入高一级学校的敲门砖的话,那么最重要的是教师的素质。

这里我们有意不谈对数学有特殊重要性的解题,训练问题,也没有讲到特殊作用的数学竞赛问题,这是需要专门讨论的。但是可以说一句,这不会和下面讲的一切矛盾。

十分高兴,现在有一批有志者在本世纪之末开始编写这一套丛书,决心在这个方向上走上踏实的一步。尽管征途漫漫,困难重重,也不能以上面提到的大师们和他们的经典著作来要求于这丛书。方向是正确的,工作是十分有意义的,希望读者会从这丛书中得到启发,得到益处,更希望有更多的有志者投入这个工作。

齐民友

1996. 6. 1

于珞珈山

前 言

根据国家教委 1988 年颁布的《九年制义务教育全日制中学物理教学大纲》的规定,中学物理教师不仅需要掌握教材中有关的理论知识,而且还要提高实验教学的基本素质。为此,我们根据多年教学经验和授课讲义,编写了这本《物理实验教学与教具制作》。

《物理实验教学与教具制作》一共分九章撰写。其中:第一章“实验误差及数据处理”;第二章“中学物理实验教学概述”;第三章“初中物理实验教学技能训练”;第四章“高中物理实验教学技能训练”这前四章是关于实验教学技能训练部分。第五章“教具制作的意义及加工技术”;第六章“初中物理实验教具制作”;第七章“高中物理实验教具制作”;第八章“趣味物理实验教具制作”是介绍制作教具基本知识及教具制作的有关参考资料。第九章“历史上重要的物理实验简介”选择历史上一部分重要的物理实验作了简单介绍,帮助教师教学中查阅。

参加编写此书的有关教师为:第一章、第九章由曹丰编写;第二章、第四章、第七章由王志敏编写;第六章、第八章由刘建新编写;第三章由王悦编写;第五章由杨路丹编写;最后由王志敏统稿。

必须指出的是,这本书选编的教具,是该校教师与 1989 年以来全省进修学员在教学过程中制作的。我们从数百件教具中选出了部分教具,希望读者通过了解这些教具在制作过程中的设计思想与制作技巧,能有所收获。如果能使中学教师觉得读了此书有所收益,这将使我们感到莫大的欣慰。这里我们要感谢李克金、高书琴、龚义建等教师在教具制作的教学中对我们的大力支持。

限于我们的水平与经验,书中肯定有不少错误与疏漏,敬请读者批评指正。

编 者

1996 年 5 月,于武昌阅马场

目 录

第一章 实验误差及数据处理	(1)
§ 1.1 误差分析.....	(1)
§ 1.2 偶然误差的处理.....	(4)
§ 1.3 系统误差的处理	(10)
§ 1.4 有效数字及其运算规则	(13)
§ 1.5 实验数据处理	(16)
第二章 中学物理实验教学概述	(20)
§ 2.1 实验教学是中学物理教学的基础	(20)
§ 2.2 中学物理实验的教学功能	(25)
§ 2.3 实验考核问题初探	(32)
§ 2.4 演示实验的类型及教学特点	(37)
§ 2.5 演示实验教学对教师的要求	(42)
§ 2.6 掌握学生在实验中的心理	(44)
第三章 初中物理实验教学技能训练	(48)
§ 3.1 训练一 研究物态变化的演示实验	(48)
§ 3.2 训练二 研究平面镜成像、光的折射的演示实验.....	(53)
§ 3.3 训练三 简单的运动、力和运动的实验研究.....	(61)
§ 3.4 训练四 研究大气压强的演示实验	(67)
§ 3.5 训练五 研究浮力、阿基米德定律的实验.....	(77)
§ 3.6 训练六 研究动能、势能相互转化的演示.....	(79)
§ 3.7 训练七 伏安法测电阻和测定小灯泡功率的实验研究 ...	(82)
§ 3.8 训练八 研究电磁现象的演示	(88)
第四章 高中物理实验教学技能训练	(100)
§ 4.1 训练一 研究牛顿第二定律的演示实验.....	(100)
§ 4.2 训练二 碰撞中的动量守恒.....	(114)
§ 4.3 训练三 研究静电学演示实验.....	(121)
§ 4.4 训练四 电流表的改装与测电池电动势和内阻的实验	

.....	(132)
§ 4.5 训练五 教学示波器及其演示实验.....	(142)
§ 4.6 训练六 光的本性演示实验研究.....	(157)
第五章 教具制作的意義及基本加工技术.....	(170)
§ 5.1 制作教具的意义.....	(170)
§ 5.2 制作教具的几个基本问题.....	(171)
§ 5.3 小金属加工技术.....	(173)
§ 5.4 焊接技术.....	(176)
§ 5.5 玻璃材料加工.....	(178)
§ 5.6 有机玻璃板的加工.....	(183)
§ 5.7 粘接技术.....	(184)
第六章 初中物理实验教具制作.....	(192)
§ 6.1 研究声现象的教具制作.....	(192)
§ 6.2 研究光的反射与光的折射现象.....	(195)
§ 6.3 研究压强的教具制作.....	(205)
§ 6.4 研究浮力的教具制作.....	(211)
§ 6.5 电学实验的几个教具制作.....	(217)
§ 6.6 研究电磁现象及其应用的教具制作.....	(224)
§ 6.7 电子元件电路的教具制作.....	(229)
第七章 高中物理实验教具制作.....	(233)
§ 7.1 力学实验教具制作.....	(233)
§ 7.2 运动学实验教具制作.....	(242)
§ 7.3 振动与波实验教具制作.....	(251)
§ 7.4 电学实验教具制作.....	(254)
§ 7.5 电磁部分教具制作.....	(260)
§ 7.6 光学实验教具制作.....	(266)
第八章 趣味物理实验教具制作.....	(271)
§ 8.1 力学趣味实验教具.....	(271)
§ 8.2 热学趣味实验教具.....	(282)

§ 8.3	电、电磁学趣味实验教具	(287)
§ 8.4	光学趣味实验教具	(290)
§ 8.5	能量趣味实验教具	(292)
第九章	历史上重要的物理实验简介	(295)
§ 9.1	力学部分	(295)
§ 9.2	热学部分	(301)
§ 9.3	电磁学部分	(306)
§ 9.4	光学部分	(312)
§ 9.5	近代物理部分	(314)
参考书目		(321)

第一章 实验误差及数据处理

物理实验中每一个物理量都具有真值。但在测量和计算过程中,得到的只能是一个近似值。为了使实验结果尽可能地接近真值,本章从介绍误差入手,在分析误差产生原因和处理方法的基础上,讲述有效数字的运算法则及实验数据的处理方法。

§ 1.1 误差分析

物理实验中,绝大多数实验都涉及到物理量的测量和物理规律的研究,要求学生能应用所选择的合适仪器,尽可能获得令人满意的结果。一个待测物理量,在客观上具有真值。但由于受到测量仪器、测量方法、测量条件和观察者生理反应能力、操作水平等因素的限制,测得的结果只可能是一个近似值。测量值与真值之差称为绝对误差,简称误差。即

$$\text{误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

在实验中进行测量和数据处理时,都应着眼于减少误差,尽可能使实验结果接近真值。误差产生的原因是多方面的,从误差的性质和来源上可分为系统误差和偶然误差两大类。

一、系统误差

系统误差的特点是:在相同条件下,对同一物理量进行多次测量时,误差的大小和正负总保持不变,或按一定的规律变化,或是有规律地重复。

系统误差主要来自以下三个方面:

1. 仪器误差

这是由于测量仪器不完善或有缺陷,以及没有按规定条件使用而造成的误差。仪器误差常表现在下面三种情况:

(1)示值误差。如米尺由于变形造成刻度不标准;电表的轴承磨损引起示值不准等。

(2)零值误差。如千分尺由于磨损致使在零位时,读数不为零;电表在使用之前未调整零位等。

(3)仪器机构和附件误差。如天平两臂不等长;砝码不准;电桥的标准电阻不准等。

2. 方法误差

这是由于实验理论、实验方法或实验条件不合要求而引起的误差。如用伏安法测电阻,采用不同的连接方法,电表的内阻会给测量带来误差;在热学实验中,绝热条件的好坏对测量结果的影响等。

3. 人员误差

这是由于观测者个人生理和心理上的特点所造成的误差。如在使用停表计时中,有的人失之过长,有的人失之过短;在电表读数时,有人偏左而有人偏右;在估计读数时,有人习惯偏大而有人习惯偏小等。

系统误差常分为两类,即已定系统误差和未定系统误差。前者指其误差的符号和绝对值均已确定,而后者是指其误差的符号或绝对值尚未确定。

二、偶然误差

在同一条件下,对某一物理量进行多次测量时,每次测量的结果有差异,其差异的大小和符号以不可预定的方式变化着。这种误差称为偶然误差或随机误差。

偶然误差是由于一些偶然的、不确定的因素引起的。例如,各次观察时仪器对得不准;调节平衡时,平衡点确定不准;读数不准

确;实验仪器由于环境温度、湿度、振动、杂散电磁场的干扰、电源电压的波动等因素引起测量值的变化。这些因素的影响一般是微小的、混杂的,并且是随机出现的,这就难以确定某个因素产生的具体影响的大小。

每项测量的偶然误差是无规则的,但若测量次数充分多时,就会发现在一定条件下,它具有一定的规律性。这种规律性表现在偶然误差服从一定的统计规律,具体表现为

(1)绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率要大得多。

(2)比真值大的测量值与比真值小的测量值出现的概率相等。

(3)绝对值相等的正误差与负误差出现的概率相等。

三、系统误差与偶然误差的关系

系统误差的特征是它的确定性,而偶然误差的特征是它的随机性,两者经常同时存在于实验之中,有时难以严格区分。通常把一些不确定的系统误差看作偶然误差,也常把一些确定的但规律过于复杂的系统误差当作偶然误差来处理。有时,两者的区别与空间和时间的因素有关。例如,环境温度对标准仪器的影响,在短时间内可以看成是系统误差,而在长时间内则认为是偶然误差。另外,随着科学技术的发展,人们对误差来源及其变化规律的认识加深,有可能把过去认识不到而归于偶然误差的某些误差,确定为系统误差。

还必须指出,在测量中,由于读数或计算时发生错误,致使测量结果与真值之间产生较大的偏差(过失误差或粗大误差),这种偏差是错误而不是误差,它是不应该出现的,也是完全可以避免的。

四、对误差大小的评价

实验中常用精密度、准确度和精确度来评价实验结果中误差

的大小。这三个概念的涵义不同,应加以区别。

1. 精密度

表示测量结果中偶然误差大小的程度。精密度高是指在多次测量中,数据的离散性小,偶然误差小。

2. 准确度

表示测量结果中系统误差大小的程度。准确度高表示多次测量数据的平均值偏离真值的程度小,系统误差小。

3. 精确度

是对测量结果中系统误差和偶然误差大小的综合评价。精确度高是表示在多次测量中,数据比较集中,且逼近真值,即测量结果中的系统误差和偶然误差都比较小。

另外,在评价测量结果时,常用到精度这个概念。精度是一个泛指的概念,有时,它是表示系统误差的大小,即准确度的高低;有时它是表示偶然误差的大小,即精密度的大小;同时,它也可用来综合评定系统误差和偶然误差的大小,即表示测量结果的精确度。

§ 1.2 偶然误差的处理

在这一节里,我们假定在没有系统误差存在的情况下,来讨论偶然误差问题。

一、测量结果的最佳值——多次测量的平均值

对某一物理量进行测量时,最好进行多次重复测量。根据多次重复测量的结果,可能获得一个最接近真值的最佳值。

在相同条件下,对某物理量 x 进行了 n 次重复测量,其测量值分别为 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 。用 $\bar{x}$ 表示它们的算术平均值(简称平均值),得:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-1)$$

当测量次数无限增多时,根据偶然误差的性质可以证明:该平均值将无限接近于真值。所以,平均值 $\bar{x}$ 又称为测量结果的最佳值,常把它作为测量的结果。

二、算术平均绝对误差

真值无法得到,误差也就无法估算。由于平均值是最佳值,可以把它作为近真值来估算误差。一般定义测量值与平均值之差为“偏差”或“离差”,它们与误差是有区别的。然而当测量次数很多时,“偏差”会接近误差。在以下讨论中,不去严格区分“偏差”和误差,把它们统称为误差。

在多次重复测量中,每次测量值 x_i 与平均值 $\bar{x}$ 的差,取绝对值,用 Δx_i 表示,则有

$$\Delta x_1 = |x_1 - \bar{x}|, \Delta x_2 = |x_2 - \bar{x}|, \cdots, \Delta x_n = |x_n - \bar{x}|;$$

取

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i. \quad (1-2)$$

称 $\overline{\Delta x}$ 为算术平均绝对误差,简称为算术平均误差或平均绝对误差。测量结果表达式可写为

$$x = \bar{x} \pm \overline{\Delta x}. \quad (1-3)$$

三、标准误差——方均根误差 σ

在现代实验测量中,通常用标准误差来衡量一组测量值的精密性,标准误差就是均方根误差。物理量 x 的标准误差用 σ_x 表示,它的定义是:当测量次数无限多时,有

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (1-4)$$

测量次数不可能无限多,根据误差理论,当测量次数有限时,(1-4)