



WU LI
AO LIN PI KE
JING SAI
SHI YAN
JIAO CHENG

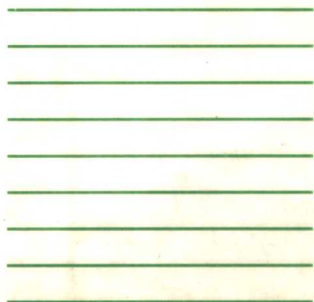


物理奥林匹克竞赛实验教程

湖南省奥林匹克竞赛
委员会物理分会编

◆ 湖南师范大学出版社

WU LI AO LIN PI KE
JING SAI
SHI YAN JIAO CHENG



物理奥林匹克竞赛实验教程

青一平 编著

湖南师范大学出版社

物理奥林匹克竞赛实验教程

青一平 编著

责任编辑：廖建军

湖南师范大学出版社出版发行

(长沙市岳麓山)

湖南省新华书店经销 湖南农科院印刷厂印刷

850×1168 32开 10印张 233千字

1995年8月第1版 1999年7月第6次印刷

印数：25411—30460册

ISBN7—81031—441—6/O·023

定价：9.00元

序

物理学是研究自然界的物质运动普遍规律的科学。因此，它是所有门类自然科学的基础，没有物理学就没有现代科学技术。诸如无线电电子学、激光、集成电路、计算机、遥感、光通讯、原子反应堆、材料科学、地球科学、空间科学、相对论天体力学、宇宙学……都是以物理学为基础建立起来的。

物理学是建立在科学实验基础上的。在物理学发展的各个阶段，除了有理论物理学家的创造性思维以外，还必须有实验物理学家(和天文学家)的创造性的实验设计和巧妙的实验观测；二者结合，才能有伟大的科学发现，才能推动物理学不断发展。1956年，李政道和杨振宁根据已有的实验结果和当时理论上遇到的困难，提出了“弱相互作用过程中宇称可能不守恒”的伟大预言。这等于(在局部领域内)推翻一个原来认为普适的定律——宇称守恒定律。这是一个多么大胆的预言！这一预言是不是科学真理，必须要经过物理实验的检验(验证)。同年，吴健雄率领的实验小组着手设计这一难度极大的实验，小组成员都是这一实验领域的专家。实验结果证实了李政道和杨振宁的预言，否定了弱相互作用中宇称守恒的结论。推翻一个普适定律与发现一个定律同样重要。这一研究成果对理论和实验研究工作的发展有深刻的指导意义。因此，他们获得了世界科学界的最高奖——诺贝尔奖。

爱因斯坦发展了牛顿的引力理论，于1916年创立了新的引力理论——广义相对论，它预言了“经过太阳附近的光线应该是弯曲

的”等一系列经典物理学无法解释的现象,均因被天文观测的实验证实而得到公认。其中一个预言经过了六十多年,于1978年才被证实,这就是引力辐射的存在。1974年,美国麻省物理学家、天文学家J·泰勒教授和他的研究生R·赫尔斯用世界上最大的射电望远镜寻找新的脉冲星。他们发现了由两颗中子星组成的脉冲双星PSR1913+16,其中PSR代表脉冲星,后面的数字表示它们的天球坐标。由于PSR1913+16中的两颗中子星运动速度很快而且相距较近,按照广义相对论的计算,它们会发出大量引力辐射,使这一系统损失能量,导致轨道缩小,周期变短。J·泰勒和R·赫尔斯观测这一双星周期变短的累积效应达四年之久。1978年11月,在德克萨斯天体物理学术会议上,泰勒宣读了他们的论文,观测结果以千分之五的精度证实了爱因斯坦广义相对论的正确性。这一实验观测具有划时代的意义,它使现代引力物理实验从地球上的实验室扩展到了太空。J·泰勒和R·赫尔斯因此获得了1993年度诺贝尔物理学奖。这一过程表明了物理实验的重要性和严肃性。一个实验结果是否可靠,要经过实验物理学和理论物理学家的反复检验、分析,甚至长达十几年乃至几十年的考验,方能得到公认。

自从我国参加国际中学生物理奥林匹克竞赛以来,物理实验的成绩逐年提高,这一活动大大地激发了中学生学习物理实验的兴趣,对于培养学生的实验操作能力、实验设计技巧和提高实验分析水平产生了良好的效应。希望本书的出版对于中学生实验物理竞赛工作能起到一定的积极作用。

王永久

1995.5

前 言

本书是湖南省奥林匹克竞赛委员会物理分会编写的《物理奥林匹克竞赛教程》(理论)一书的姊妹篇。该书可以作为竞赛培训的教材,也可以作为中学生自学提高的辅导教材,同时还可以作为中学物理教师和高等师范院校物理专业的教学参考资料。

本书按照中国物理学会全国中学生物理竞赛委员会制订的“全国中学生物理竞赛内容提要”的实验基础部分选材,是一本系统化的实验教材。内容涉及误差理论、基本实验仪器、基本实验方法、历届全国决赛实验题,还有若干力、热、电、光的专题实验。通过这些专题实验,着重介绍如何分析物理现象,如何建立物理实验模型,如何挖掘实验的隐含条件,如何寻找最佳实验方案及多种实验途径。

本书内容精练,新颖独特,选题具有广度和深度。其中不少由作者独创的实验题曾作为昔日国际奥赛金、银、铜牌得主的培训题。如力热实验中的“实验十八”,是一个区分竞赛型选手的测试题。根据我多年的实践,在2—5分钟内导出实验公式者即可入选者代表队,而从无一例外(得分率为14%)。又如电学实验中的实验十一,国际奖牌获得者也曾在20分钟内,对此题束手无策。本书专题实验题题题都有“难关”,没有什么平铺直叙的实验。通过攻克这一道道难关,昔日的培训者启发了灵感,提高了能力。望读者学

习本教程时,着重基础训练,分析严谨,整体构思,思路开阔灵活,培养良好的实验素养,使自己获得一种“升华”。迈过这一道道“难关”,进入成功者的行列,在二十一世纪,去摘取科学殿堂上那一颗颗明珠,长中国人之志气,扬中华民族之威风。

省物理学会付理事长、湖南师范大学副校长罗维治教授在百忙中审订全书,并提出许多宝贵意见。余路同志负责编写光学实验部分、周三庆同志绘制全书的插图,责任编辑廖建军同志提出许多有益的具体意见,在此一并致谢。

省物理学会理事长、著名物理学家王永久教授挤出时间为本书作序,在此表示衷心的感谢。

本书的编著中,曾参阅了全国中学生物理竞赛委员会办公室主编的历年《全国中学生物理竞赛参考资料》等资料,并得到了丁清成副教授、黄国民副教授、岳胜文副教授等热忱帮助,在此表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,内容或有不少缺点和谬误,敬希广大读者批评指正。

作者

1995年5月

目 录

§ 1 绪论	(1)
§ 1.1 误差理论基础	(4)
§ 1.1.1 误差	(4)
§ 1.1.2 误差的估计	(7)
§ 1.2 有效数字	(12)
§ 1.2.1 有效数字的一般概念	(12)
§ 1.2.2 有效数字的运算规则	(13)
§ 1.3 数据处理方法	(16)
§ 1.3.1 列表法	(17)
§ 1.3.2 图示法	(18)
§ 1.3.3 逐差法	(21)
§ 2 仪器简介	(25)
§ 2.1 力学实验仪器	(25)
§ 2.1.1 米尺	(25)
§ 2.1.2 游标卡尺	(25)
§ 2.1.3 螺旋测微计	(28)
§ 2.1.4 测微目镜	(30)
§ 2.1.5 读数显微镜	(31)
§ 2.1.6 球径仪	(34)
§ 2.1.7 物理天平	(35)
§ 2.1.8 焦利秤	(39)

§ 2.1.9	秒表	(39)
§ 2.1.10	数字计时器	(39)
§ 2.2	热学实验仪器	(40)
§ 2.2.1	液体温度计	(40)
§ 2.2.2	量热器	(41)
§ 2.3	电学实验仪器	(42)
§ 2.3.1	电表	(42)
§ 2.3.2	检流计	(44)
§ 2.3.3	电阻箱	(45)
§ 2.3.4	滑线变阻器	(47)
§ 2.3.5	万用电表	(50)
§ 2.3.6	示波器	(52)
§ 2.4	光学实验仪器	(54)
§ 2.4.1	光具座	(54)
§ 2.4.2	光杠杆	(55)
§ 3	基本实验方法	(58)
§ 3.1	复称法	(58)
§ 3.2	杠杆平衡法	(59)
§ 3.3	流体静力称衡法	(60)
§ 3.4	比重瓶法	(61)
§ 3.5	斜杯溢水法	(63)
§ 3.6	数液滴法	(64)
§ 3.7	落球法	(66)
§ 3.8	差值法	(67)
§ 3.9	渐进法	(68)
§ 3.10	伸长法	(70)
§ 3.11	振动法	(70)

§ 3.12	极限法	(72)
§ 3.13	混合量热法	(73)
§ 3.14	电热法	(75)
§ 3.15	伏安法	(77)
§ 3.16	半边法	(79)
§ 3.17	替代法	(81)
§ 3.18	比较法	(82)
§ 3.19	直流电桥法	(83)
§ 3.20	交流电桥法	(84)
§ 3.21	补偿法	(87)
§ 3.22	自准法	(88)
§ 3.23	位移法	(89)
§ 3.24	物距——像距法	(91)
§ 3.25	干涉法	(92)
§ 3.26	偏振法	(94)
§ 3.27	掠入射法	(95)
§ 4	力学、热学实验	(98)
	实验一~实验二十六	(98)
§ 5	电学实验	(137)
	实验一~实验三十五	(137)
§ 6	光学实验	(206)
	实验一~实验十九	(206)
附录一、国际物理奥林匹克竞赛章程附件竞赛大纲(B. 实验部分)		
	(242)
附录二、全国中学生物理竞赛内容提要(二 实验基础) ...		(244)
附录三、历届全国中学生物理竞赛决赛实验题及解答		(245)

§ 1 绪论

人类对于物理现象的规律性的认识,首先是通过观察提出假说,经过实验或实践再总结其规律而得到理论,或者将由观察所得到的结论用实验方法加以验证,然后再提升为理论。已经建立起来的科学理论还要在不断地实践中受到检验,以获得进一步的提高和完善。这样实验又常常可以发现科学理论的片面性和局限性,由此又会引起人们对这些现象作更深入一步的研究。总之,由实践——理论——再实践——再理论反复循环的过程,正是物理学发展与提高的过程。

物理实验就是人们为了研究、分析自然界中某些物理现象,人为的使现象再现所作的安排,它排除次要因素,使主要因素从错综复杂的现象中分离出来,通过某些现象变换的条件,对现象进行反复周密地观察分析,从而揭示现象之间的联系,并通过一定的、相对准确的测量方法和手段,建立相应的数量关系。著名的英国物理学家开尔芬(Kelvin, 1842—1907)曾说:“我常说假如你能够量度你所谈的东西,并能用数量表示它,你就对它有了些了解了;假如你不能用数量表示它,你对它的认识就是贫乏而不能令人满意的。这也许只是知识的入门,但不管怎样,你的认识还没有提高到科学的程度。”

物理实验的目的是:

1. 通过观察、测量与分析加强对物理概念和理论的认识,更加牢固掌握所学过的物理理论。

2. 学习物理实验的基本知识、基本方法、基本技能、培养从事科学实验所需要的物理思维能力。

3. 培养严肃认真、实事求是的科学态度。

4. 培养爱护国家财产、团结协作、遵守纪律的优良品德。

在本书所述的众多实验里,有许多共同的准则,望能引起重视。

1. 实验类型是什么? 物理实验分为三大类:定性实验、定量实验、验证实验。

a, 定性实验:判断某些物理现象是否存在及其特性。

b, 定量实验:对研究的问题作出准确的数量测定,确定物理现象与它的具体参数、各现象之间的数量关系及通过数量来表明物理规律。

c, 验证性实验:根据已知的理论和实践,再现一些物理现象,对其存在、成因作出推测,验证其理论的正确性。

2. 测的是什么? 这是实验的核心问题。

3. 实验条件是什么? 实验条件包含众多因素,如实验仪器、实验环境,如何合理制约某些因素,突出主要因素等。

4. 如何测?在不同实验中或测不同物理量时,究竟用什么方法更为合适,是用补偿法还是用模拟法、是用实测还是用放大;放大是用电信号放大还是用光信号放大等,都要头脑十分清楚。总之,要把不易测准的量转换为易测准的量;将测量物理量本身转换为测量物理量的改变量等。

5. 如何确定有效数字。

6. 实验数据记录的完善性。

7. 正确运用数据处理的方法,例如,列表法、图示法、逐差法、

经验公式拟合法、插值法等。

8. 误差分析的合理性。例如,比重瓶法测铅粒密度的实验中,在水中未经搅动的铅粒上附着的气泡是偶然误差事件,还是差错事件等等。

9. 实验操作的规范化。

(1) 实验程序的合理性。例如,用比重瓶法分别测量甘油和酒精的密度,只能先测酒精密度,后测甘油密度。因为酒精有挥发性,测量它的实验做完后,仍能保证比重瓶的干净,不会影响后者的再度使用。

(2) 仪器竖直和水平的调节。例如,天平焦利氏秤等的调节。

(3) 仪器零点的调节。例如,电表的调零、螺旋测微计中的零点飘移的修正等。

(4) 仪器使用的安全性。例如,开关、滑线变阻器在分压和制流电路中安全端的设置;光学元件的正确拿法;元器件量程(安全问题)等。

(5) 仪器的调试。在具体调试前,应先根据所学的理论知识、实验技术理论进行分析,在众多可调参量中,判断具体的调节参量,确定该参量的调节方向和调节范围,具体分析调试中可能发生的现象,然后再动手调试。

(6) 仪器的正确读数,确定有效数字位数。

§ 1.1 误差理论基础

§ 1.1.1 误差

物理实验离不开对物理量进行测量。由于测量仪器、实验条件以及种种因素的局限,测量是不能无限精确的,误差存在于一切测量之中,而且贯穿测量过程的始终。

每一个物理量都是客观存在的,在一定条件下具有不依人的意志为转移的固定大小。这个客观大小称为该物理量的真值,真值是不可能测得的,人们对其认识的加深促进了人类对自然认识的过程。

对于某一物理量,实验观测的结果叫测量值,测量值的不准确程度,即测量值与真值的偏差叫做误差。

误差根据其性质分为两大类:系统误差和偶然误差。

§ 1.1.1.1 系统误差

系统误差总是使测量值向一个方向偏离,或者偏大或者偏小,其数值按一定规律变化。我们必须经过分析和实验,找到某个系统误差产生的原因,采取一定的方法去消除它的影响或进行修正。运用多次测量求平均值的方法并不能消除系统误差,它无法提高测量的准确度。

系统误差的主要来源是(1)仪器误差;(2)理论误差;(3)个人误差。

(1) 仪器误差

仪器误差是由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件使用仪器造成的,如螺旋测微计零点的不准确。这可以通过零点读数 l_0 , 加以修正。即待测量 $l = l_1 - l_0$, l_1 是未作零点修正前的读数, l_0 本身有正负之分, 螺旋测微计鼓轮园周上的零线旋过小管上纵线, 则 l_0 为负数, 反之 l_0 为正数。另外, 还可通过对螺旋测微计的零点进行机构调整的方法, 从根本上消除零点的不准确。(各种牌号的螺旋测微计调零点的方法不同, 须参见该仪器说明书。)又如天平的不等臂性, 可用复称法消除此类系统误差的影响。称衡物与砝码在称盘中互换位置, 称衡物在右盘时测量值为 m_1 , 称衡物在左盘时测量值为 m_2 , 则 $m = \sqrt{m_1 \cdot m_2}$ 。

(2) 理论误差

理论误差是由于测量所依据的理论公式本身的近似性, 或实验条件不能达到理论公式所规定的要求, 或测量方法所带来的, 如单摆周期公式:

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

我们的实验公式为 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, 其成立条件是摆角 θ 很小, 忽略高次项。设实际测量周期值与理论值之比为 A , $\theta = 0^\circ$ 时, $A = 1$, $\theta = 5^\circ$ 时, $A = 1.0005$, 这表明通过控制摆角, 可使理论误差减小到可以忽略的程度。又如热学实验中的绝热系统, 这在实验中是不可能实现的, 我们可以采用补偿法, 使这类影响减小到一定程度。再如在伏安法测电阻的实验中, 电流表的内、外接法也是为了解决这类问题。当待测电阻 $R_x < \sqrt{R_A \cdot R_V}$ 时, 采用电流表外接法; 当 $R_x > \sqrt{R_A \cdot R_V}$ 时, 采用电流表内接法。(R_A 为电流表内阻, R_V 为电压

表内阻)

(3) 个人误差

个人误差是由观测者个人生理和心理特点造成的。如停表使用时,习惯地超前或滞后某一时刻;这可以通过开始计时,终止计时,二次使用停表,大体能抵消这类误差。又如人眼的习惯性斜视,总使测量量偏大或偏小,这就需要引起观测者的警觉,必须使视线垂直于仪表刻度面,达到纠偏的目的。

§ 1. 1. 1. 2 偶然误差

一些由于偶然的或不能确定的因素所造成的、又不能消除的、且又使每次测量值呈无规则的涨落称为偶然误差。

偶然误差是由于人们的感官灵敏度、仪器精密程度、周围环境及随测量而来的其它不可能预测的偶然因素造成的。如米尺测量毫米以下位数的估读,温度测量气流的干扰等,电源电压的起伏而引起的微小变化等。

偶然误差总是使每次测量值围绕真值波动不定,但它遵从一定的统计规律。多次测量时,比真值大和比真值小的机会是均等的,且误差较小的数据比误差较大的数据出现的机会多,同时,绝对值很大的误差出现的机会几乎趋于零。因此,增加测量次数可以减小偶然误差,但不能消除偶然误差。

§ 1. 1. 1. 3 精确度

精确度是对整个测量的偶然误差和系统误差的综合评定。它实际上是精密度和准确度两个概念的总称。

精密度是指测量数据在某一值附近的密集程度;精密度高者说明偶然误差小。准确度是指测量数据偏离真值的程度;准确度高者说明系统误差小。对于测量结果精确度的影响,有时主要因素是系统误差,有时主要因素又是偶然误差。对于具体情况要作具体分析,总的测量误差是系统误差和偶然误差的总和。有时二者可以区

别,但有时又难于划分,如小球的不均匀性,在某个确定位置上,它与真实值的偏差是确定的,这是系统的,但对于各点来说又是随机的、偶然的。

§ 1.1.1.4 差错

对于因仪器故障、设计错误、操作不当等造成的测量偏差,不是误差而是差错。误差是不可避免的只能尽可能减小,而差错在实验中可以而且应当完全避免。若出现差错应能及时发现,给予纠正。如在比重瓶法测微小不溶性固体微粒的密度的实验中,附着在固体微粒上的明显气泡的存在,引起待测物密度明显变小;又如单摆实验中摆长的测量没有考虑小球的半径,这些都属于差错。

§ 1.1.2 误差的估计

在物理量的测量中有一些量可以运用已有的工具或仪器直接测得,这种测量量叫做直接测量量。例如,用游标卡尺测量长度,用天平测量质量、用停表测量时间等。

许多物理量的测量不能用直接测量的方法测得,而是要运用某些定律和公式,将直接测得的有关量代入公式进行计算后求出。这种用间接方法得到的量叫做间接测量量。

各种物理量的测量,不论是直接测量还是间接测量,都只是客观实际的近似反映,都有一定程度的不准确。我们必须根据实际情况,正确估计出实验结果的准确程度。以下只讨论偶然误差的计算,而假定系统误差已经消除或修正。

§ 1.1.2.1 单次直接测量及误差估计

在实际工作中,有时测量对精确度要求不高,有时测量不能重复则可按仪器上标明的仪器误差作为单次测量的误差,也可按仪表最小刻度的一半作为单次测量的误差。例如米尺测量估计误差