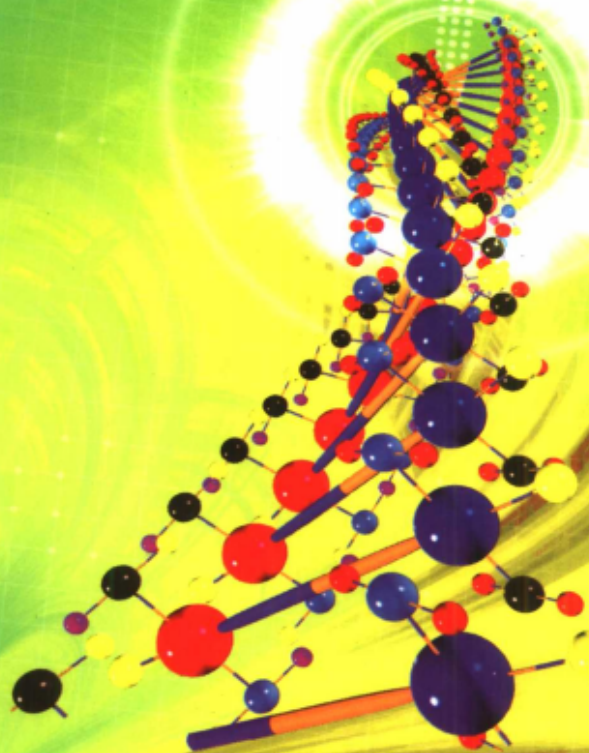


高中物理实验 指导与拓展

GAOZHONGWULISHIYANZHIDAOYUTUOZHAN

主 编 闫新民



湖北长江出版集团
湖北教育出版社



高中物理实验 指导与拓展

高中物理实验指导与拓展

初中物理探究实验

初中化学探究实验

初中生物探究实验

高中化学实验指导与拓展

高中生物实验指导与拓展

ISBN 7-5351-4375-X



9 787535 143754 >

定价：17.00 元

策 划 岳 勇
李 镛
责任编辑 朱恒足
整体设计 牛 红
督 印 张遇春

高中物理实验 指导与拓展



主 编 闫新民
编 者 江四喜 辛从阳
喻安年 杨光亚
汪建平

湖北长江出版集团
湖北教育出版社

(鄂)新登字 02 号

图书在版编目(CIP)数据

高中物理实验指导与拓展/闫新民主编;江四喜等编. —武汉:湖北教育出版社,2005

ISBN 7-5351-4375-X

I. 高… II. ①闫… ②江… III. 物理课-实验-高中-教学参考资料
IV. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 134922 号

出版·发行:湖北教育出版社
网 址: <http://www.hbedup.com>

武汉市青年路 277 号
邮编:430015 电话:027-83619605

经 销:新 华 书 店
印 刷:通山县九宫印务有限公司
开 本:787mm×1092mm 1/16
版 次:2006 年 1 月第 1 版
字 数:230 千字

(437600·通山县通羊镇南市路 165 号)
11.5 印张
2006 年 1 月第 1 次印刷
印数:1-10 000

ISBN 7-5351-4375-X/G·3646

定价:17.00 元

如印刷、装订影响阅读,承印厂为你调换

前言

物理是一门以实验为基础的学科，物理学中的每一条规律的得出，无不是以坚实的实验为基础的。而在中学物理教学的各项测试中，实验考试成绩的好坏在很大程度上直接影响到整个学科的水平。然而，实验教学却一直是高中物理教学的瓶颈，影响到学生物理水平的发挥，究其原因：其一是受中学实验条件与教学进度的制约，我们不可能让学生自由地去完成与物理规律形成相关的实验，探索、体验物理规律形成的过程，我们甚至让学生在规定的实验基础上进行扩展的可能性都不存在，这在很大程度上限制了学生实验能力的真正提高，也弱化了学生学习物理的兴趣；其二是虽然在实验教学过程中按照中学物理教学大纲的要求，完成了教学大纲所规定的演示实验与学生实验，对学生强调实验操作的规范，也注重学生实验能力的培养，但各种考试对学生实验能力的考查却是以试卷的形式出现的，对实验操作的考查是间接的，更注重的是实验思想与实验方法的考查，出现在学生面前的实验试题多是在学生实验的基础上的衍变与拓展，导致学生在考查与操作之间失衡，出现面对实验考题的感觉是似是而非，无所适从，让学生无法跨越学生实验与实验试题之间的障碍。

出于帮助学生顺利完成大纲所规定的学生实验，提高学习效率的目的，本书的作者在编写的过程中，其定位十分明确，就是要让学生既能在实验桌旁顺利地完成好大纲所规定的学生实验，在课堂上看懂教师所做的演示实验，了解物理学发展过程中的一些经典的但在中学阶段又无法重复的实验，熟悉每一个实验所包含的实验思想与要求掌握的实验方法，同时也能顺利地实现从实验桌向实验试卷的过渡，以期达到既能巩固学生的实验能力，又能提高学生的应试能力的目的。

针对中学物理实验教学的需要，将全书共分四章：

第一章：物理实验的基础知识。中学物理实验教学对物理实验的理论知识要求并不是很高，但每个实验都包含了一定的思想方法，遵循一定的实验原则，本章内容以教学大纲

与高考考试说明为基础,对中学物理实验所涉及到的理论知识作了适当的归纳与阐述。

第二章:基本仪器的使用。本章对中学物理实验中所要求掌握的基本实验仪器从结构、原理到使用方法作了详细的讲解,是学生实验前必须阅读的内容。

第三章:学生实验。本章对中学物理教学大纲和高考考试说明对物理学科所规定的每一个学生实验从如下几方面作了详尽的阐述:

【实验播放】对于初次接触本实验的学生从实验目的、原理、器材、步骤、数据处理、误差分析以及实验中应注意的事项,全面地对学生的实验过程作了详尽的指导,为初次实验的学生快速、高效地完成实验奠定了基础,这一部分对学生学习新课内容有极大的帮助。

【试题解析】围绕实验内容,精选一定数量的试卷型实验试题,对其作了详尽的分析与解答,它既能帮助学生进一步理解实验内容,同时也是实验内容的进一步延伸,是学生从实验桌向试卷实验过渡的桥梁。

【实验拓展】以主体实验为背景,将实验方法、器材的使用功能进一步地向前延展,引导学生创造性地应用学生实验所阐述的实验思想,将学生的实验能力推向一个新的高度。同时,根据高考理科综合的特点,在对物理实验进行拓展的同时,也在一定程度上兼顾了学科间的综合。当然,这些实验也是用试卷的形式给出,这在很大程度上强化学生的应试能力。

【考点训练】以高考考试说明为依据,从历年的高考与模拟考试的大量试题中,精选了10道试题供学生训练,题虽不多,但对学生的学习能起到举一反三的作用,强化、巩固学生的学习效果。

第四章:演示与经典实验简介。中学物理课堂中的演示实验及经典实验很多,本部分精选了极易衍变为试卷型实验试题的22个具有代表性的演示与经典实验,介绍了实验过程及实验所要达到的目的,并给出了相关例析,为学生全面理解中学物理实验及规律提供了保证。

鉴于物理实验在中学物理教学中的突出地位,内容上的包罗万象,各实验间又有较强的独立性,而本书又收集了大量的新实验、设计实验和综合实验的案例,加上作者的水平有限且过于注重学生应试能力的提高,书中难免有疏漏和不当之处,敬请不吝指教。

编 者

2005年11月

目录

第一章 物理实验的基础知识/1

- 一、误差及误差分析/1
- 二、测量的精密度、准确度、精确度/2
- 三、中学实验的主要思想方法/3
- 四、物理实验的一般原则/3
- 五、有效数字简介/4
- 六、实验数据的处理/5

第二章 基本仪器的使用/6

- 一、长度的测量——刻度尺、游标卡尺、螺旋测微器/6
- 二、质量的测量——天平/9
- 三、时间的测量——秒表、打点计时器、电火花计时器/12
- 四、力的测量——弹簧秤（测力计）/14
- 五、温度的测量——温度计/15
- 六、电流与电压的测量——电流表与电压表/16
- 七、多用电表（欧姆表、万用表）/17
- 八、电源/18
- 九、滑动变阻器/18
- 十、电阻箱/19

第三章 学生实验/21

- 实验一：长度的测量/21
- 实验二：验证力的平行四边形定则/26
- 实验三：研究匀变速直线运动/32
- 实验四：研究弹力和弹簧伸长的关系/40
- 实验五：研究平抛物体的运动/47
- 实验六：验证机械能守恒定律/54

- 实验七：验证动量守恒定律/61
实验八：用单摆测定重力加速度/69
实验九：用油膜法估测分子直径/80
实验十：用描迹法画出电场平面上的等势线/85
实验十一：描绘小灯泡的伏安特性曲线/91
实验十二：测定金属的电阻率/99
实验十三：把电流表改装成电压表/108
实验十四：测定电源的电动势和内阻/116
实验十五：练习使用示波器/125
实验十六：用多用电表探索黑箱内的电学元件/132
实验十七：传感器的简单应用/140
实验十八：测定玻璃的折射率/148
实验十九：用双缝干涉测光的波长/154

第四章 演示与经典实验简介/160

- 一、显示微小形变/160
二、力的合成/160
三、牛顿管实验/161
四、伽利略理想斜面实验/162
五、作用力与反作用力的关系/163
六、运动的合成/163
七、平抛运动的竖直分运动是自由落体运动/164
八、卡文迪许扭秤实验/165
九、小球在摆动中机械能守恒/165
十、单摆的振动图象/166
十一、观察布朗运动/167
十二、做功改变内能/167
十三、气体压强的微观解释/168
十四、平行板电容器的特性/169
十五、电流产生磁场/170
十六、电子束在磁场中的偏转/170
十七、研究电磁感应现象/171
十八、自感现象/172
十九、迈克耳逊旋转棱镜法测光速/172
二十、薄膜干涉/173
二十一、光电效应现象/174
二十二、 α 粒子散射实验/174

第一章

物理实验的基础知识

实验是物理学的基础,进行实验既是中学物理教学的重点内容,也是学习物理的重要手段。同时,实验能力也是高考对物理学科要求的五项能力之一。高考对学生实验能力的要求是从两方面给出的,一是从物理学科角度,二是从理科综合的角度。

在高考物理“考核内容与要求”中,对考生的实验能力作出了如下的要求:能独立完成“知识内容表”中所列的实验,能明确实验目的,能理解实验原理和方法,能控制实验条件;会使用仪器、会观察、分析实验现象,会记录、处理实验数据,并得出结论。能灵活地运用已学过的物理理论、实验方法和实验仪器去处理问题。

另外,在理科综合科目的“考试目标”中,要求考生具备“设计和完成实验的能力”。它除了要求考生具备物理学科所要求的能力外,还具体要求考生:(1)能解释实验现象和结果,能通过分析和推理得出实验结论;(2)根据要求设计简单的实验方案。

可以肯定的说,高考中物理学科与理科综合对实验的要求是统一的,从总体上讲,高考对物理学科实验能力的考核可简化为“三会一理解”,即:能在理解的基础上独立完成课本内要求学生独立完成的实验(包括明确实验目的,理解和控制实验条件);会应用在这些实验中学过的实验方法;会正确使用在这些实验中用过的仪器;会观察、分析实验现象、处理实验数据,并得出结论。

从上面这些要求可以看出,考试说明对考生的能力提出的具体要求,也是中学物理常规教学中对实验能力的要求。正因为如此,几乎所有的教师在教学中都要反复强调中学阶段物理实验的重要性,注重培养学生的实验能力。然而,受到学习环境与实验条件的限制,很多学生对实验的操作与学习只停留在一个浅表的层次上,对实验要求掌握的内容、方法与思想领会不深,掌握不牢,对物理实验的内涵与外延分析不透,因此,很多同学在解答实验试题时,只是对做过的实验进行简单的回忆与再认,很难适应目前实验题型的变化,缺乏将课程内的物理实验与生活实际相联系的能力。对于那些富于想象与具有创新意识的实验试题,许多同学更是束手无策,无法应对。因此,上好实验课,完成好实验操作,对于学生的全面提高是有着不可替代的作用的。

一、误差及误差分析

中学物理中只要求初步了解绝对误差与相对误差、偶然误差与系统误差的概念,能定性分析一些产生实验误差的主要原因。

1. 误差

物理量在规定的时间和空间内的客观大小是物理量的真实值,在实验中,真实值是得不到的,通常是用多次测量的算术平均值来代替,且测量次数越多,平均值就越接近真实值。由测量仪器直接读出的物理量的数值或将测量数据直接代入公式计算出来的物理量的数值称为测量值。

测量值与真实值之间的差异称为误差。误差存在于一切测量之中,而且贯穿测量过程的始终。实验中,误差是不可避免的,但可以减小。

2. 绝对误差与相对误差

设某物理量的真实值是 A_0 , 测量值为 A , 则该测量的绝对误差为测量值与真实值的差, 即 $\Delta = |A - A_0|$ 。相对误差为绝对误差与待测量的真实值之比, 即 $\frac{\Delta}{A_0} = \frac{|A - A_0|}{A_0}$, 相对误差又叫百分误差。

绝对误差的大小是不能用来比较测量的准确程度的, 而相对误差的大小则可用来比较测量的准确程度。如测 100m 跑道的长度, 误差为 4cm, 测高度约为 2m 的跳高横杆的误差为 1cm, 决不能根据 $4\text{cm} > 1\text{cm}$ 而认为测跑道的准确程度低, 只能根据相对误差来比较测量的准确程度: 测跑道的相对误差为: $\frac{0.04}{100} = 0.04\%$, 而测横杆的相对误差为: $\frac{0.01}{2} = 0.5\%$, 显然, 测跑道的准确度比测横杆的准确度高。

3. 系统误差与偶然误差

如果测量总是有规律地朝着某一方向偏离真实值(总是偏大或总是偏小, 不会出现几次偏大而另一次偏小的情况)的误差, 称为系统误差。系统误差主要来源:

a. 仪器误差: 由于仪器本身的缺陷, 如弹簧秤的零刻线不准、天平砝码的标称质量不准、秒表秒针转轴 O 与表盘中心 O' 不重合等等。

b. 理论误差: 实验所依据的理论或实验方法本身不完善, 如用伏安法测电阻时, 没有考虑电表的内阻对实验结果的影响等。

c. 环境误差: 实验时没有考虑外界环境的影响, 如在温度为 15°C 环境中使用 20°C 条件下标定的标准定值电阻。

d. 人身误差: 测量者自身原因的影响, 如使用秒表时, 按表常常提前或滞后。

系统误差不能用多次测量求平均值的方法消除或减小, 只能通过校准仪器, 或对读数作修正、改进实验方法和用设计原理上更完善的实验来减小这种误差。

由于偶然因素的影响, 造成测量的不规则的起伏称为偶然误差, 偶然误差是由于各种偶然因素对实验者、测量仪器、被测物理量的影响而产生的。例如, 用有毫米刻度的尺子量物体的长度, 毫米以下的数值只能用眼睛来估计, 各次测量的结果就不一致, 有时偏大, 有时偏小, 多次测量偏大与偏小的机会相同。因此, 多次测量取平均值可减小偶然误差。

实验中误差是不可避免的, 但可以减小。而用不正确的方法得到的结果则是错误, 错误是可以而且是应该避免的。

二、测量的精密度、准确度、精确度

1. 测量的精密度

测量的精密度是指对某一物理量进行测量时, 各次测量的数据大小彼此接近的程度。如果多次测量的数据比较集中, 比较接近, 说明测量的精密度高, 测量的偶然误差较小。但它不能反映系统误差对测量结果的影响。

2. 测量的准确度

测量的准确度是指测量数据的平均值偏离真实值的程度。如果测量的平均值与真实值偏离较小, 说明测量的准确度高, 测量的系统误差较小。但它不能反映偶然误差的大小。

3. 测量的精确度

测量精确度是指测量数据集中于真实值附近的程度。如果测量的平均值接近真实值, 且各次

测量的数据又比较集中,说明测量得既准确又精密,称之为测量的精确度高,测量的系统误差和偶然误差都比较小。因此精确度是对测量的系统误差和偶然误差的综合评价。

三、中学实验的主要思想方法

在中学物理实验中涉及的主要实验方法有:

1. 等效法

等效法是物理研究的重要方法,也是物理实验中常用的方法。如“验证动量守恒定律”实验中,用小球的水平位移代替小球的水平速度;画电场中的等势线的分布时用电流场模拟静电场;验证牛顿第二定律时,调节木板倾角用重力的分力抵消摩擦力的影响,等效于小车不受阻力。等等。

2. 累积法

把某些难以直接测量的微小量累积后进行测量,以提高测量的精确程度。如测量单摆振动的周期,应测量单摆多次全振动的时间,然后再除以全振动的次数,以减小个人反应时间造成的误差影响。在初中物理课中也学过用累积法测量细线的直径。

3. 控制变量法

在诸多因素的实验中,可以先控制一些量不变,依次研究某一因素的影响。如验证牛顿第二定律的实验中,可以先保持质量不变,研究加速度和力的关系;再保持力一定,研究加速度和质量的关系。

4. 留迹法

把实验过程中瞬息即逝的现象(位置、轨迹、图象等)记录下来,对记录下来的结果进行分析。如通过纸带上打出的点记录小车的位置;用描述法画出平抛物体的运动轨迹;用沙摆漏出的沙来显示单摆振动的图象。

四、物理实验的一般原则

虽然各个物理实验的原理、方法、使用的器材不相同,但实验仍有一些共同的原则。分析找出实验的一般原则,有利于掌握实验的思想、方法,提高对实验的认识。现分作四个方面分别谈实验应遵循的一般原则。

1. 选择仪器

根据实验的原理和实验室条件选择仪器是正确进行测量的前提。对实验仪器的选择一般遵循以下三个原则:

可行性原则 要能够根据实验要求和客观条件选用合适有仪器,使实验切实可行,能达到预期的目的。譬如,当要求测量一个电阻器的阻值时,就要根据要求测量的精度、实验室的条件、本人已有的理论知识,确定是采用多用电表直接测量还是采用伏安法,当采用伏安法时,还要根据电阻的规格(额定功率)选择合适的电流表和电压表,在合理选择电流表和电压表的基础上,还要选择电流表是用内接法还是外接法,供电电路是分压式电路还是限流式电路。

准确性原则 根据实验的需要,选择精度合适的测量工具。但对某个实验来讲,精度程度够用即可,并不是精度越高越好。正如称一吨煤,用磅秤即可,用不着去用天平来称量;如在测定金属丝的电阻率的实验中,为保证测量结果的有效数字的位数合适(2~3位),测量金属丝的直径时要用螺旋测微器,而测金属丝的长度用毫米刻度尺即可。

操作性原则 实验时应保证调节方便、便于操作。如滑动变阻器的选择,既要考虑它的额定电流,又要考虑它的阻值范围,在二者都能满足实验要求的情况下,还要考虑阻值大小对实验中的操作是否产生影响。

2. 仪器放置

按规定放置好仪器是保证测量结果和实验是否便捷的前提。

放置规范 不同的实验仪器有不同的放置要求。如多用电表要平卧;学生用的电流表和电压表斜置;水银气压计要竖直悬挂;平抛实验用的斜槽末端要水平等等。

操作顺手 仪器摆放要便于操作,防止实验中手忙脚乱。如开关、变阻器要放在便于操作的位置上;使用天平要“左物右码”。

便于读数 实验人员要面对仪器、仪表的刻度,视线尽量保证与刻度线垂直。

实验时能否有条理地把各种仪器正确放置好,也是实验素养高低的重要体现。

3. 初始状态的设置

测量前先设置好仪器仪表的初始状态,否则将有可能损坏仪器,甚至会造成事故。

连接电路时,电路开关要处于断开状态;开关闭合前变阻器滑片的位置要合理(限流时阻值要大,分压时阻值要小);仪表要先调零,再选好挡位(不好确定时要先选高档位)。

4. 操作程序设计

实验操作程序的安排要科学合理。譬如,在“力的合成”实验中,要先用两只弹簧秤互成角度地把结点拉至某点,再用一只弹簧秤拉至同一点;使用打点计时器做“验证机械能守恒定律”的实验中,要先接通电源,再放开纸带;电路连线时,应从电源正极开始,先连干路再连支路,使用多用电表测电阻时,应先“机械调零”,再“欧姆调零”等等。程序混乱将会导致测量困难或实验错误。

五、有效数字简介

在任何一个物理量的测量中,无论使用多么精密的实验仪器,无论用什么合理的方法,所测量的结果总是与真实值有一定的差别的,是近似的。如当用毫米刻度尺测量书本的边长时,量得长度为 184.2mm,结果的最后一位数字 2 是估读出来的,是不可靠的,但它仍然是有意义的,因此仍要写出来,这种带有一位不可靠数字的近似数字,叫做有效数字。

在有效数字中,2.7、2.70、2.700 的含义是不相同的,它们分别代表二位、三位、四位有效数字,数 2.7 表示最后一位数字 7 是不可靠的,而数 2.70、2.700 则表示最后一位数字 0 是不可靠的。因此,小数最后的零是有意义的,不能随便舍去或添加。但是,小数的第一个非为零数字前面的零是用来表示小数点位置的,不是有效数字。例如,0.92,0.085,0.0063,都是两位有效数字。大的数目,如 365000,如果不全是有效数字,就不要这样写,可以写成有一位整数的小数和 10 的乘方的积的形式,如果是三位有效数字,就写成 3.65×10^5 ,如果是四位有效数字,就写成 3.650×10^5 。同时,有效数字的位数与小数点的位置及单位无关。

许多物理量是从直接测量结果计算出来的。测量结果既然是用有效数字表示的,在计算中就要遵循有效数字的计算规则(这一规则在中学阶段只作了解,不必刻意去掌握):

(1) 不可靠的数字和别的数字相加减,相乘除,所得的结果也是不可靠的。

(2) 计算结果只能保留一位不可靠数字,但在计算中可以保留两位不可靠数字,最后再四舍五入。

应该注意的是,物体的个数,实验的次数等是准确的数,如 3 个苹果的“3”,5.4 元人民币的“5.4”都是准确数,它们与近似数相乘或相除时,有效数字的位数应等于原来近似数的有效数字的

位数。例如,8个相同的小球共重92.8g,每个小球重11.6g,商数要取三位有效数字。如果误认为“8”是一位有效数字,因此结果也取一位有效数字,那就错了。

严格地说,有效数字的规则是相当复杂的,中学阶段的物理习题中,如果没有特别的要求,不必严格按照有效数字的规则去做,通常只是根据题目给定的要求保留有效数字的位数即可。但对物理实验中的测量结果的表达,则要严格地按照测量仪器的精度,体现相应的有效数字的位数。

六、实验数据的处理

数据处理是对原始实验记录的科学加工,通过对数据的处理,往往可以从一堆表面上难以察觉的、似乎毫无关系的数据中找出内在的规律,在中学物理中只要求掌握数据处理中最简单的方法。

1. 列表法

在记录和处理数据时,常常将数据列成表格,数据列表可以简单而又明确地表示出有关物理量之间的关系,有助于找出物理量之间的规律性的联系。列表的要求是:

- (1) 写明表的标题或加上必要的说明。
- (2) 必须交代清楚表中各符号所表示的物理量的意义,并写明单位,单位写在标题栏中。
- (3) 表中的数据要正确反映测量结果的有效数字。

2. 作图法

用作图法处理实验数据是物理实验中最常用的方法之一。用作图法处理实验数据的优点是直观、简便,有取平均的效果。由图线的斜率、截距、所包围的面积及对图象的内插与外推等可以研究物理量之间的变化关系,找出相应的规律。作图的规则是:

- (1) 实验作图应用坐标纸。坐标纸的大小要根据测量数据有效数字的多少和结果的需要来定。
- (2) 要标明坐标轴所表示的物理量及单位,在轴上每隔一定相等的距离按要求标明数字。
- (3) 图上连线要用直尺(直线、折线)或曲线尺(光滑曲线),连线时不一定通过所有的数据点,而要使数据点在线的两侧合理地分布。
- (4) 在图上求直线的斜率时,要选取直线上相距较远的两点,不一定要选取原来测定的数据点。

(5) 作图时常使图线线性化,即“将曲改直”。例如,在验证牛顿第二定律的实验中,将 $a-m$ 图象改画成 $a-1/m$ 图象后,就可将不易看出的二者关系的曲线变成了关系明朗的直线。

3. 代数法

代数法也是处理实验数据时较为常见的方法之一,其通常的要求是导出不可知量的数学表达式,式中的物理量必须有直接测量的数据结果,如用单摆测重力加速度的实验中 $g = \frac{4\pi^2 n^2 l}{t^2}$, 其中 n 、 l 、 t 都是测量量。

4. 平均值法

现行教材中只介绍了算术平均法,即把测定的若干组数求和,再除以测量次数。在实验中,我们还介绍了逐差法。逐差法是将列表和代数法结合起来处理数据的一种特殊方法,中学阶段对逐差法用得较多的实验是利用打点计时器打出的纸带求匀变速运动的加速度。

必须注意,求取平均值时,应该按原来测量仪器的准确度决定保留的位数。

第二章

基本仪器的使用

测量是实验的基础。在各物理实验的过程中,我们不可避免地要使用一些测量仪器。要做好物理实验,提高实验能力,首先必须认识基本的实验测量仪器,了解所用仪器的特点与性能,掌握基本仪器的使用方法及操作规程,在一定程度上了解仪器工作的原理,并能在使用过程中对仪器进行相应的保养。本章我们着重介绍中学物理实验中必须掌握的一些基本实验仪器。

在讲解实验仪器的使用前,我们有必要知道什么是仪器的灵敏度、精密度和准确度。

仪器的灵敏度:灵敏度是指仪器测量最小被测量的能力。所测的最小量越小,该仪器的灵敏度就越高。如天平的灵敏度越高,每格毫克数就越小,即天平指针从平衡位置偏转刻度盘的一分度所需的最大质量越小。又如多用电表表盘上标的数字“ $20\text{k}\Omega/\text{V}$ ”就是指的灵敏度,它的物理意义是:在电表两端加 1V 电压时,使指针满偏所要求电表的总内阻 R_V (表头内阻与附加电阻之和) 为 $20\text{k}\Omega$ 。这个数字越大,灵敏度越高。这是因为 $U = I_g R_V$, 即 $\frac{R_V}{U} = \frac{1}{I_g}$, 显然,若 $\frac{R_V}{U}$ 越大,说明满偏电流 I_g 越小,即该表所能测量的最小电流越小,灵敏度便越高。

仪器的灵敏度也不是越高越好,因为灵敏度过高,测量时的稳定性就差,甚至不易测量,即准确度就差。故应在保证测量准确性的前提下,仪器的灵敏度尽量高。

灵敏度一般是对天平和电气仪表而言,对直尺、卡尺、螺旋测微器则无所谓灵敏度。

仪器的精密度:仪器的精密度,又简称精度,一般是指仪器的分度值,如米尺的分度值为 1mm ,其精度就是 1mm ;水银温度计的分度值为 0.2°C ,其精度就是 0.2°C 。仪器的分度值越小,其精度就越高,灵敏度也就越高。

在正常使用情况下,仪器的精度高,准确度也就高。这表明仪器的精度是一定准确度的前提,有什么样的准确度,也就要求有什么样的精度与之相适应,这也正是用精度来描述仪器准确度的原因。但精度与准确度又是有区别的。

仪器的准确度:仪器的准确度一般是以准确度等级来表示的。如电表的准确度等级是指在规定的条件下测量时,当它指针满偏时出现的最大相对误差的百分比值。如某电表的准确度为 2.5 级,其意义是指相对误差不超过满偏度的 2.5%,即仪器绝对误差 = 最大量程 $\times$ 准确度。如准确度为 2.5 级、最大量程为 0.6A 的直流电流表,其最大绝对误差 = $0.6\text{A} \times 2.5\% = 0.015\text{A}$ 。

显然,用同一电表的不同量程测同一被测量时,其最大绝对误差是不相同的。因此使用仪表时,不同的被测量,要选择适当量程挡位。准确度一般是对电气仪表而言。

一、长度的测量——刻度尺、游标卡尺、螺旋测微器

1. 刻度尺(米尺)

刻度尺是我们最常见的测量仪器,它的最小分度值为 1mm ,量程不等,常用于测量的刻度尺有钢板尺、钢卷尺、木直尺、带刻度的三角板等。使用刻度尺测量时,应注意如下几点:

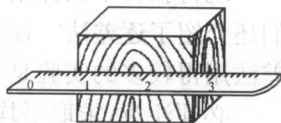


图 1

(1) 测量时米尺的刻度线要紧贴待测物,以避免视差,如使用厚刻度尺,要照图 1 那样放置,使刻度尺的刻度线接近被测量的物体,这样才能看准确被测物体的边缘与刻度尺的哪条刻度线对齐。另外刻度尺在被测量的物体上的位置绝对不能歪斜。

(2) 使用前注意观察刻度尺的量程和最小分度值。

(3) 测量起点不一定选在“0”刻度线,应使操作尽量简便。

(4) 读数时视线要与尺面垂直,且使被测物体的边缘线、刻度尺的刻度线、视线重合在一起,以减少视差。测量精度要求较高时,要进行重复测量后取平均值。

(5) 毫米以下的数值靠目测估读一位,估计至最小刻度值的十分之一。

(6) 当测量微小物体(即测量工具的最小分度值比待测物的尺寸大得多)时,常常采用累积法处理。就是将待测物的若干个相同的微小量累积起来测出其总长度或总厚度,然后计算出每一个被测物的微小长度。例如测一张纸的厚度时,可以将相同的白纸叠成一沓,用刻度尺测出整沓纸的厚度,再求出一张白纸的厚度。

2. 游标卡尺

游标卡尺是比较精密的测量仪器,常用的有可以精确到 0.1mm、0.05mm、0.02mm 三种。

(1) 构造及用途

游标卡尺的构造如图 2 所示,其主要部分为一根主尺和一个套在主尺上可以沿着主尺滑动的游标尺。主尺类似于一般的钢尺,其上面的刻度和毫米刻度尺相同;游标尺是一个辅助的测量装置,其作用是:一方面便于准确地观察刻度,另一方面也提高了游标卡尺量度的精度。游标尺上有一个止动螺丝,读数时,为防止游标尺的挪动,旋紧可使游标尺固定在主尺上。主尺和游标尺都附有测脚,左测脚固定在主尺上,并与主尺垂直。右测脚与左测脚平行,固定在游标尺上,可以随游标尺一起沿主尺滑动;利用上边的一对测脚,可测量槽的宽度和管的内径,故称为内测脚;利用下面的一对测脚,可测量零件的厚度和管的外径,故称为外测脚。主尺的背后嵌着一根窄片,固定在游标尺上,用来测量槽、孔和筒的深度,该窄片也称为深度尺。

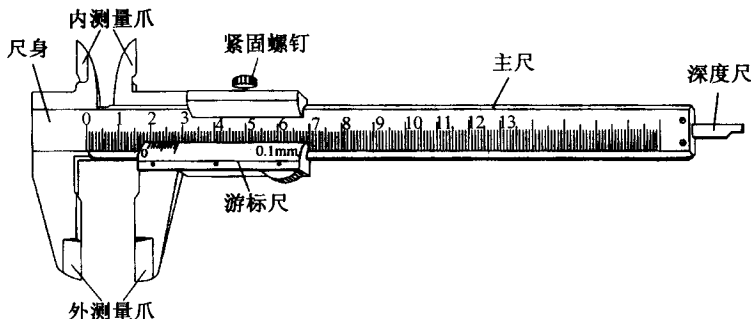


图 2

(2) 测量原理

游标卡尺的主尺的最小分度值是 1mm,游标尺有不同的规格,常见的三种规格如下:

① 10 分度的游标卡尺:如图 3 所示,游标尺上共有 10 个分度,总长度为 9mm,因此每个分度的距离为 0.9mm,比主尺上最小分度的长度小 0.1mm。当左右两个测脚并合时,游标尺上的零刻度线与主尺的零刻度线重合,游标尺上的第十条刻度线应与

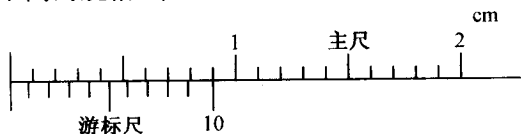


图 3

主尺上的 9mm 刻度线重合,其余的刻度线都不重合。其中游标尺上的第一条刻度线与主尺上的第

一条刻线相差 0.1mm , 游标尺上的第二条刻线与主尺上的第二条刻线相差 0.2mm , 游标尺上的第三条刻线与主尺上的第三条刻线相差 0.3mm ……如果在卡尺的两测脚间放一厚度为 0.1mm 的纸片, 游标尺就向右移动 0.1mm , 此时游标尺上的第一条刻线与主尺上的第一条刻线重合, 其余的刻度线都不重合。同样, 如果在卡尺的两测脚间放一厚度为 0.5mm 的物体, 则游标尺上的第五条刻线与主尺上的第五条刻线重合。由此就可以测量出小于 1mm 的长度。若被测量的物体大于 1mm , 比如 1.1mm , 则在 1mm 时, 恰好游标尺上的零刻线与主尺上 1mm 的刻线对齐, 然后只需将游标尺再向右移动 0.1mm , 此时游标尺上的第一条刻线与主尺上的第二条刻线重合, 依此类推, 这说明测量结果的整毫米数可从主尺上读出, 不足毫米数的部分可从游标尺上读出, 这两个读数之和即为被测物体的长度。

② 20 分度的游标卡尺: 如图 4 所示, 游标尺上共有 20 个分度, 总长度为 19mm , 因此每个分度的距离为 0.95mm , 比主尺上最小分度的长度小 0.05mm 。读数时先从主尺上读出厘米数和毫米数, 然后用游标读出毫米以下的数值: 游标的第几条刻线跟主尺上某一条刻线对齐, 毫米以下的读数就是几乘 0.05 毫米。其读数准确到 0.05mm 。

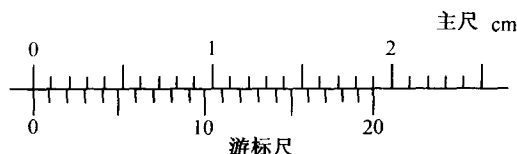


图 4

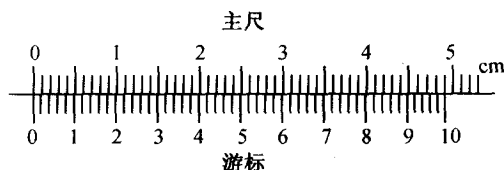


图 5

③ 50 分度的游标卡尺: 如图 5 所示, 游标尺上共有 50 个分度, 总长度为 49mm , 因此每个分度的距离为 0.98mm , 比主尺上最小分度的长度小 0.02mm 。这种卡尺的刻度还有一个特殊点, 游标上的刻度值, 就是毫米以下的读数。这种卡尺的读数可以准确到 0.02mm 。

(3) 注意事项

① 对游标卡尺的末位数不要求估读, 如遇游标尺上的刻线与主尺刻线未对齐的情况, 应选择游标尺的某条刻线与主尺一条刻线靠得最近的一条线读数。有效数字的末位与游标卡尺的准确度对齐。

② 被测物不可在钳口间移动或压得太紧, 以免损坏钳口。

③ 被测物上测量距离的连线必须平行于主尺, 以减小不必要的误差。

④ 读数时, 在测脚夹住待测物后应适当旋紧固定螺丝, 以免游标尺在主尺上移动。

⑤ 使用游标卡尺应防止撞击, 不允许测量污物或毛坯工件, 以免损伤测脚。

(4) 读数规则

游标卡尺的读数一般可以分为三步:

① 先读整数部分: 整数部分由主尺上读得, 即读出游标尺的零刻线所指主尺刻度的整数部分, 即以毫米为单位表示的整数部分, 如读数为 L 。

② 再读小数部分: 小数部分由游标尺上第几条刻度线与主尺上某一刻度线对齐后读出, 如读数为 n 。则游标卡尺的精度 $k(k=0.1\text{mm}, 0.05\text{mm}, 0.02\text{mm}) \times n =$ 读出的小数部分。

③ 测量值为上述两部分读数之和: $s = L + kn$ 。

注意: 不管是 10 分度的游标卡尺还是 20 分度、50 分度的游标卡尺, 当找到游标尺与主尺对齐的刻度线后, 便不需要再作估读。不过, 20 分度游标卡尺读数的尾数只能是 0、2、4、6、8, 50 分度的游标卡尺读数尾数只能是 0、5。

3. 螺旋测微器(千分尺)

(1) 主要结构

螺旋测微器的主要部分为测微螺杆 F 、固定框架 G 、旋钮 D 、微调旋钮 D' 、固定小砧 A 、固定刻度 B 、可动刻度 E 、测微螺杆 F 构成,微调旋钮 D' 与可动刻度 E 、测微螺杆 F 连在一起,通过精密的螺纹套在固定刻度 B 上,如图 6 所示。

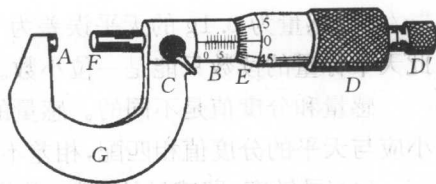


图 6

(2) 测量原理

由螺旋测微器的结构可知,由于精密螺纹套在固定刻度套上,如果旋转螺纹套,测微螺杆就在水平方向上做前进或后退的直线运动,精密螺纹的螺距为 0.5mm ,螺纹套的周长分为 50 等份,如果螺纹套旋转一周,测微螺杆就前进或后退 0.5mm ,螺纹套上每一格表示 0.01mm 。反过来说,螺纹套圆周每旋转一个刻度,测微螺杆就前进或后退 0.01mm 。所以,螺旋测微器的最小刻度是 0.01mm ,这也就是螺旋测微器的精确度。其准确位在毫米的百分位上,而估读位在毫米的千分位上,即估读到 0.001mm 。

(3) 注意事项

① 校准零点:测量前使测微螺杆 F 和固定小砧 A 并拢,观察可动刻度 E 的零刻线是否跟固定刻度 B 的零刻线重合(对齐),如两零刻线对齐,即零刻线校准,可进行测量。若零点不能重合,即存在零误差,此时就需修正,修正方法是若并拢时,可动刻度的零刻度线在主尺固定刻度的横线上方,则零误差为正值,测量结果应加上这个读数;若并拢时,可动刻度的零刻度线在主尺固定刻度的横线下,则零误差为负值,测量结果应减去这个读数。

② 操作方法:旋出螺杆,将被测物体置于 A 、 F 之间的夹缝中,开始旋转旋钮 D ,当 F 开始接触被测物时,应停止旋转 D ,而改用旋转微调旋钮 D' ,以防止螺杆 F 和小砧 A 过分紧压待测物体,这样既保证了测量结果的准确,又保护了螺旋测微器。当停止使用 D 改为使用 D' 时,应轻轻转动微调旋钮 D' ,当听到“嗒、嗒……”的响声时,表明被测物刚好夹住,然后转动锁紧手柄 C 使 F 止动。

(4) 读数规则

螺旋测微器的读数可分为三步进行:

- ① 毫米的整数及半毫米部分在固定刻度上读出,设为 L_0 。
- ② 半毫米以下部分在可动刻度上读出,找出与水平轴线对应的可动刻度尺的刻度,并估读一位,这个刻度值 n 乘以 0.01 。
- ③ 则用螺旋测微器得到的被测物体的总长为 $L = L_0 + n \times 0.01$ 。

二、质量的测量——天平

中学物理实验中用来测量质量的仪器是天平,它是依据杠杆原理制成,其本质是一种等臂杠杆装置,在测量物体的质量时,使天平的横梁平衡。在中学物理实验中一般使用的是物理天平和托盘天平。

1. 天平和规格

(1) 最大载荷:即天平允许称量的最大质量,亦称全称量。

(2) 分度值:即游码在横梁上移动一个最小分格所代表的砝码质量。

(3) 感量:指针从标尺上的平衡位置偏离一个最小格时,天平两盘上的质量差,其单位是