新编大学物理实验

下　册

（综合提高应用性实验）

（第3版）

唐远林　朱肖平　主编

重庆大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容提要

本书是在前两版的基础上,根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会2008年颁布的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》,作了较大修订编写而成。全书共分上、下册,上册为基础性实验(含力、热、声、光、电等内容),共25个实验,主要适用于本科、大专层次;下册主要是设计性、应用性、研究性实验,共25个实验,主要适用于本科、研究生层次实验教学。

图书在版编目(CIP)数据

新编大学物理实验. 下册/唐远林,朱肖平主编.
—3版. —重庆:重庆大学出版社,2010.2
ISBN 978-7-5624-5289-8

Ⅰ. 新… Ⅱ. ①唐…②朱… Ⅲ. 物理学—实验
—高等学校—教材 Ⅳ. 04-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第021125号

新编大学物理实验
下 册
(综合提高应用性实验)
(第3版)
唐远林 朱肖平 主编
责任编辑:曾令维 乔丽英 版式设计:曾令维
责任校对:夏 宇 责任印制:赵 晟
*
重庆大学出版社出版发行
出版人:张鸽盛
社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内
邮编:400030
电话:(023) 65102378 65105781
传真:(023) 65103686 65105565
网址:http://www.cqup.com.cn
邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)
全国新华书店经销
重庆东南印务有限责任公司印刷
*
开本:787×1092 1/16 印张:11.5 字数:287千
2001年8月第1版 2010年2月第3版 2010年2月第3次印刷
印数:8 501—11 500
ISBN 978-7-5624-5289-8 定价:22.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

编审人员

主　　编：唐远林　朱肖平

副 主 编：朱　霞

编写人员：唐远林　朱肖平　朱　霞　沈志强　陈俊斌

徐文凤　金　蓉　王　强　许鹏飞　王永健

杨玉梅　武小琴　王凯俊　赵　毅　夏小舟

主　　审：邓明晰

前言

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会2008年颁布的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》,结合现行开设的大学物理实验和使用的教材,参考其他工科院校的物理实验资料整理编写而成。

本书分上、下册。上册内容包括绪论、物理实验数据处理理论,常用力、热、声、光、电、磁等物理量的常用的测量方法,预备实验(预习常用物理实验方法和实验仪器),力学、热学、声学、电学、磁学、光学等实验,常用物理常量、参数的表格附录,共有8章25个实验。上册主要是基础实验,适用于本科、大专层次的物理实验教学。下册包括设计性实验、应用性实验和研究性实验,共有3章25个实验,适用于高年级本科、研究生层次的物理实验教学。

为了加强素质教育,深化大学物理实验的教学改革,本书具有以下特点:

1)系统地介绍了物理实验数据处理,引入了不确定度的误差理论,详细地描述了各种基本物理量的测量方法,便于老师教学和学生自学。

2)在各个实验中明确提出了具体的数据处理要求,加强学生的数据处理能力的训练。

3)加强了基本技能和实验方法的训练与培养,特别设置了预备实验内容,预习、熟悉和掌握常用物理实验方法和实验仪器,对基本技能和实验方法在实验中反复练习、使用,有利于学生实验能力的提高。

4)结合现行专业设置的特点,体现物理技术在新科技中的应用,编写了应用性实验,将光电、超声成像和信息技术、超声技术、传感器技术等应用于实验中,提高学生的学习积极性,开阔他们的视野和知识面,为他们的后续学习铺垫必要的基础知识。

5)本书注重学生的综合素质和能力的培养,特别编写了研究性物理实验,特别适用于高年级本科层次、研究生层次的实验教学,为学生今后从事专业工作和科研工作打下一定的基础。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编　者

2009年11月

目 录

第 1 章　设计性实验 …… 1
1.1　设计性实验概论 …… 1
1.2　实验方案的选择原则 …… 2
1.3　设计性实验举例 …… 5
实验 1　误差分配和实验仪器的选择 …… 7
实验 2　重力加速度的研究 …… 8
实验 3　简谐振动的研究 …… 10
实验 4　变阻器在电路中的使用和研究 …… 12
实验 5　电位差计校准电表和测定电阻 …… 17
实验 6　光栅常数测定及光栅特性研究 …… 18
第 2 章　应用性实验 …… 21
实验 7　声光衍射与液体中声速的测定 …… 21
附录 1　仪器描述 …… 25
实验 8　传感器综合实验 …… 25
附录 2　产品说明书 …… 36
附录 3　传感器实验仪联机软件使用说明 …… 38
实验 9　冰箱制冷系数的测定 …… 43
实验 10　用超声脉冲回波法测距 …… 48
实验 11　声级计原理及应用 …… 51
实验 12　超声三维声纳定位实验 …… 53
附录 4　实验仪器描述 …… 56
附录 5　实验数据与数据处理范例 …… 59
实验 13　透射式超声成像实验 …… 61
实验 14　液晶电光效应综合实验 …… 67
实验 15　音频信号光纤传输技术实验 …… 74
实验 16　数字信号光纤传输实验 …… 81
第 3 章　研究性实验 …… 86
实验 17　密立根油滴实验测电子电荷 e …… 88
实验 18　脉冲核磁共振实验 …… 97
附录 6　脉冲核磁共振实验举例 …… 106

需要全本请访问 www.ertongbook.com

实验 19　夫兰克-赫兹实验 …… 111
附录 7　仪器使用注意事项 …… 117
附录 8　夫兰克-赫兹操作步骤 …… 118
实验 20　真空获得与真空镀膜 …… 119
实验 21　微波分光仪综合实验 …… 135
实验 22　彩色面阵 CCD 多功能实验 …… 147
附录 9　YHACCD-Ⅲ型彩色面阵 CCD 多功能实验仪器
和 LCCDAD-Ⅱ型线阵 CCD 实验仪描述 …… 149
实验 23　塞曼效应实验 …… 152
附录 10　塞曼效应实验仪介绍 …… 158
实验 24　色度研究实验 …… 159
实验 25　光拍法的应用 …… 166

第 1 章
设计性实验

1.1 设计性实验概论

设计性实验是近几年来出现的新的实验类型，它的形式、内容和教学方法至今还在不断地充实、发展和完善中。

物理实验范围内所遇到的实验方法，大多是前人创造和总结出来的科学方法。我们学习这些方法，一方面是学习它、掌握它、运用它，但更主要的是积累前人正确的思维方法，从中吸取规律性的认识，并在未来的工作中去创造和开拓。这就是进行设计性实验的主要目的。

上册介绍了各种物理量的测量方法、误差概念和数据处理的方法，并安排了一定数量的基本实验，对仪器的使用、设备的调整做了训练，使学生具备了观察实验现象，独立操作测量和分析仪器故障的初步能力。但相对来说，在基本实验中所用的仪器设备，一般均由实验室准备妥当，实验的要求和内容也由教师或教材明确规定。这是学生获取知识和积累经验的初级阶段，是必不可少的。

在完成一定数量的基本实验的基础上，安排若干设计性实验是完全可能的，也是十分必要的。设计性实验是由教师或教材提出课题的总的基本要求，这些要求通常是带有综合应用性质和具有设计任务的，学生可以在这一总要求下，自行推证有关原理，确定实验方法，选用和配套仪器，拟订实验程序，调整仪器设备，正确操作，合理处理实验数据等。最后还要写出一份比较完整的实验报告，并列出为完成本实验所查找的主要参考资料目录。

在完成设计实验过程中，应努力掌握有关的理论、知识和技能，不但要创造性地去完成自己拟订的实验内容和任务，而且要注意努力培养自学和查阅文献、书刊、手册的能力，为撰写科技论文做初步的训练。通过实验活动，丰富自己的知识技能，提高理论联系实际的水平，最大限度地去培养和造就独立进行科学实验的本领。

1.2 实验方案的选择原则

要设计一个实验,首先要选择实验方案。实验方案的选择一般来说应包括:实验方法和测量方法的选择;测量仪器和测量条件的选择;进行综合分析与误差计算,选择能达到设计要求的最佳方案。

1.2.1 实验方法的选择

根据研究对象,罗列各种可能的实验方法,分析各种方法的适用条件,比较各种方法的局限性与可能达到的实验精确度等因素,并考虑方案的可行性,最后选择最佳的实验方案。

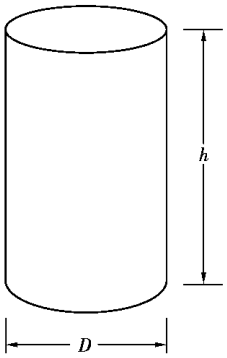


图 1-02-1

例如:

[实验要求]:欲测量如图 1-02-1 所示的圆柱体的密度,要求测量结果的相对不确定度小于 0.5%。

[给定仪器]:量筒,物理天平(0.02 g),分析天平(0.1 mg),卡尺(0.1,0.05,0.02 mm 3 种),螺旋测微计(千分尺,0.01 mm)。

[测量原理]:

测量固体的密度可用公式

$$\rho = \frac{m}{V}$$

只要测出物体的质量 m 和体积 V 就可算得密度 ρ。

[分析]:

对于体积 V 的测量最简单的有 3 种方法,即

①量筒法;

②阿基米德法;

③用测长仪器测量。

例如,被测物体的质量 $m \approx 35$ g,体积 $V \approx 4$ cm^3,直径 $D \approx 1$ cm,高度 $h \approx 5$ cm,经过粗略分析可知

$$E_\rho = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2}$$

因为实验要求的测量精度为 0.5%,根据不确定度"等量分配"原则,应有 $\frac{\sigma_m}{m} \leqslant 0.003\ 5$;

$\frac{\sigma_V}{V} \leqslant 0.003\ 5$。

若用量筒法测量,$\sigma_V = V \times 0.003\ 5 = 0.014$ cm^3。显然,没有哪一种量筒可以达到这样高的测量精度。

若用阿基米德法测量,V 等于排开同体积的水的重量,现排开水的体积为 4 cm^3,排开水的质量是 4 g。这样,测量体积变成了测量质量。

$$\sigma_m = m \times 0.003\ 5 = 0.14\ \text{g}$$

但物理天平的精度是 0.02 g,故也不能用阿基米德法来测量。

若用长度测量工具测量

$$E_\rho = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_h}{h}\right)^2 + \left(2\frac{\sigma_D}{D}\right)^2}$$

当要求 $E_\rho \leqslant 0.5\%$ 时,就必须要求 $\frac{\sigma_m}{m} \leqslant 0.002\ 9$;$\frac{\sigma_h}{h} \leqslant 0.002\ 9$;$2\frac{\sigma_D}{D} \leqslant 0.002\ 9$,即 $\frac{\sigma_D}{D} \leqslant 0.001\ 5$。将被测物体的数据代入,得

$$\sigma_m = m \times 0.002\ 9 = 0.11\ \text{g}(\text{可用精度为 0.02 g 的物理天平})$$

$$\sigma_h = h \times 0.002\ 9 = 0.015\ \text{cm}(\text{可用精度为 0.05 mm 的卡尺})$$

$$\sigma_D = \frac{D \times 0.002\ 9}{2} = 0.001\ 5\ \text{cm}(\text{可用精度为 0.01 mm 的千分尺})$$

由此可见,应选择精度分别为 0.02 g 的物理天平、0.05 mm 的卡尺和 0.01 mm 的外径千分尺来测量就可达到实验所要求的相对不确定度,但在测量直径时,应尽量多测几次,以减小测量不确定度。

1.2.2　测量方法的选择

在选定实验方法之后,还应该选择恰当的测量方法。有的物理量用确定的工具测量时只能有一种方法,但有的物理量的测量却可以有几种测量方法,这时应该对测量不确定度作初步的分析,务求使测量结果的不确定度最小。

例如:用米尺测定如图 1-02-2 中二圆心的间距 L,应该选择哪种测量方法所产生的不确定度最小?

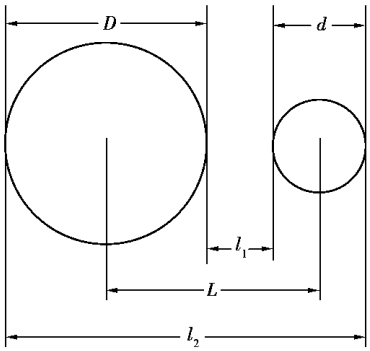


图 1-02-2

显然,可以有下列 4 种测量方法:

①直接测量 L_1。因两圆心很难确定 ,一般不用此法;

②$L_2 = l_1 + \frac{d}{2} + \frac{D}{2}$;

③$L_3 = l_2 - \frac{d}{2} - \frac{D}{2}$;

④$L_4 = (l_1 + l_2)/2$。

用米尺测量时,每次测量的最大不确定度为 0.5 mm,由误差分析可知,测量 L 的不确定度分别为

$$\sigma_{L_2} = \sqrt{(\sigma_{l_1})^2 + \left(\frac{\sigma_d}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_D}{2}\right)^2} = 0.6\ \text{mm};$$

$$\sigma_{L_3} = \sqrt{(\sigma_{l_2})^2 + \left(\frac{\sigma_d}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_D}{2}\right)^2} = 0.6\ \text{mm};$$

$$\sigma_{L_4} = \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_{l_1}^2 + \sigma_{l_2}^2)} = 0.4\ \text{mm}$$

可见,第 4 种测量方法具有最小的不确定度。也就是说最佳的测量方法应该是第 4 种测量

方法,在这种方法中,不必对直径进行测量,只要测出两圆外切的长度 l_2 和内切的长度 l_1 即可。

1.2.3 测量仪器的选择

测量仪器的选择原则是选用合适的仪器以达到指定的测量精度,并不是说测量仪器的精度越高越好。如果不适当地选择了精度太高的仪器,会给测量带来不必要的麻烦。其原因:一是仪器精度越高,使用前的调整工作越费时间;二是仪器精度越高,其成本越贵,若使用不当会越容易损坏。像在前面所说的测量圆柱体质量的例子中,如果用万分之一的分析天平来测量肯定能达到实验所需要的精度,但经过分析计算后,发现只要用精度为 0.02 g 的物理天平来测量圆柱体的质量已足够了,不必用精度再高的其他天平。

另外,在选择仪器时,要求所有测量仪器要配套。所谓配套,就是指在一个实验中所有物理量的测量的相对不确定度应该"等量分配",不应该产生其中一个物理量测量的相对不确定度特别小,而另一个物理量测量的相对不确定度又特别大的情况,如果碰到这种情况,就是仪器选择不配套。正确的选择原则应该使一个实验中对所有物理量的测量项的相对不确定度应该相等。

例如,在测量圆柱体密度时,若要求测量的相对不确定度小于 0.5%,根据公式 $E_\rho = \dfrac{\sigma_\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\dfrac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\dfrac{\sigma_h}{h}\right)^2 + \left(2\dfrac{\sigma_D}{D}\right)^2}$,则要求测量中 3 个物理量的相对不确定度分别为

$$\frac{\sigma_m}{m} \leqslant 0.003$$

$$\frac{\sigma_h}{h} \leqslant 0.003$$

$$\frac{\sigma_D}{D} \leqslant 0.002$$

根据这一原则,就可以分别选择测量质量 m、高度 h 和直径 D 的测量工具了。

1.2.4 测量条件的选择

在具体测量时还应该选择最有利的测量条件。什么是最有利的测量条件呢?就是在因函数关系引起的不确定度最小的条件下进行测量。这个条件可以由求函数的相对不确定度的极值得到。对单元函数,只需取一阶和二阶导数,并使一阶导数等于零,解出相应的变量之值,再将此值代入二阶导数,若二阶导数大于零,则所求之值即为函数不确定度最小的测量条件。

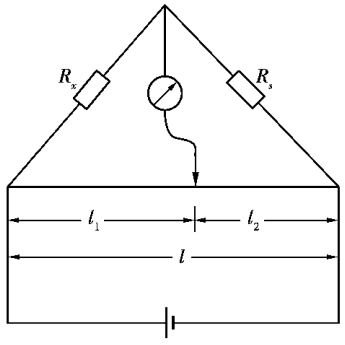


图 1-02-3

例如:求出惠斯登电桥测量的最有利条件。

惠斯登电桥的电路原理图如图 1-02-3 所示。

电桥平衡的条件是

$$\frac{R_x}{R_s} = \frac{l_1}{l_2}$$

若标准电阻 R_s 精度足够高时,测量误差主要由长度的不确定度来决定,即

$$E = \frac{\sigma_{R_x}}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{l_1}}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{l_2}}{l_2}\right)^2} = \frac{\sqrt{l^2 - 2ll_1 + 2l_1^2}}{l_1(l - l_1)}\sigma_{l_1}$$

式中假定 $\sigma_{l_1} = \sigma_{l_2}$。

由 $\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}l_1} = 0$ 得

$$\frac{(2l_1 - l)(l_1^2 - l_1 l + l^2)}{(l_1 l - l_1^2)^2\sqrt{2l_1^2 - 2l_1 l + l^2}} = 0$$

解得

$$l_1 = \frac{l}{2}$$

当 $l_1 = \frac{l}{2}$时

$$\frac{\mathrm{d}^2 E}{\mathrm{d}l_1^2} > 0$$

所以，$l_1 = \frac{l}{2}$是板式惠斯登电桥最有利的测量条件。

1.3　设计性实验举例

1.3.1　设计题目

用伏安法测电阻 R_x 的阻值。

1.3.2　要求

$\frac{\Delta R_x}{R_x} \leqslant 1.5\%$，自己选择仪器和确定测量条件。

1.3.3　可供选择的电表规格

伏特计：0 ~ 1.5 ~ 7.5 V，表头电流 1 mA；
毫安计：0 ~ 25 ~ 50 ~ 100 mA，表头压降 26 ~ 30 mV。

1.3.4　设计

（1）测量原理
伏安法测电阻可根据欧姆定律

$$R_x = \frac{V}{I}$$

测出 I 和 V 即可算出 R_x。

（2）仪器和测量条件的选择

需要全本请访问 www.ertongbook.com

①仪器等级的确定

由欧姆定律 $R_x=\frac{V}{I}$推得,$\frac{\sigma_{R_x}}{R_x}=\sqrt{\left(\frac{\sigma_{\mathrm{I}}}{I}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{\mathrm{V}}}{V}\right)^2}$,根据合理选择仪器的不确定度"等量分配"原则,为了保证$\frac{\sigma_{R_x}}{R_x}\leqslant 1.5\%$,要求$\frac{\sigma_{\mathrm{V}}}{V}\leqslant 1.1\%$,$\frac{\sigma_{\mathrm{I}}}{I}\leqslant 1.1\%$。

由电表的等级不确定度的规定知道:$\frac{\sigma_{\mathrm{V}}}{V_{\mathrm{m}}}\leqslant f\%$,$\frac{\sigma_{\mathrm{I}}}{I_{\mathrm{m}}}\leqslant f\%$(其中 f 为电表的级数,V_{m} 和 I_{m} 分别为相应电表的量程),显然,无论是电压表或者电流表,在这里都选用 0.5 级的电表。

②电压表和电流表量程的确定

现在若用甲电池(1.5 V)供电,根据所提供伏特表量程 0~1.5~7.5 V,则电压表应选0~1.5 V,因而 $\sigma_{\mathrm{V}}\leqslant 0.5\%\times 1.5\ \mathrm{V}=0.007\ 5\ \mathrm{V}$,为了达到$\frac{\sigma_{\mathrm{V}}}{V}\leqslant 0.75\%$,测量时必须使伏特计的读数满足的条件为

$$V\geqslant\frac{\sigma_{\mathrm{V}}}{1.1\%}=0.68\ \mathrm{V}$$

为了选定电流表的量程和确定测量条件,使$\frac{\sigma_{\mathrm{I}}}{I}\leqslant 1.1\%$,可粗测 R_x 的数值(例如用万用表测量),或根据待测 R_x 所标阻值粗定 R_x 的数值。例如,本实验待测的电阻 $R_x\approx 30\ \Omega$,这样可由欧姆定律估算出

$$I_{\max}=\frac{V}{R_x}=50\ \mathrm{mA}$$

故应选用 0.5 级,量程为 0~50 mA 的电流表。这样,$\sigma_{\mathrm{I}}=0.5\%\times 50\ \mathrm{mA}=0.25\ \mathrm{mA}$。

为了达到$\frac{\sigma_{\mathrm{I}}}{I}\leqslant 1.1\%$,测量时必须使

$$I\geqslant\frac{\sigma_{\mathrm{I}}}{0.75\%}=23\ \mathrm{mA}$$

故得到的测量条件是

$$0.68\ \mathrm{V}\leqslant V\leqslant 1.5\ \mathrm{V}$$
$$23\ \mathrm{mA}\leqslant I\leqslant 50\ \mathrm{mA}$$

(3)设计线路图

伏安法测电阻只可能有如图 1-03-1 和图 1-03-2 的两种接线方法。因被测电阻大约为 30 Ω,用这两种线路来测量都可以,但由于两种仪表的相互影响,无论用哪种方法进行测量,都将引起系统误差。对于外接法,应对电流 I 进行修正;对于内接法应对电压 V 进行修正。

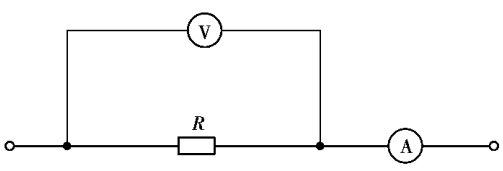


图 1-03-1 外接法

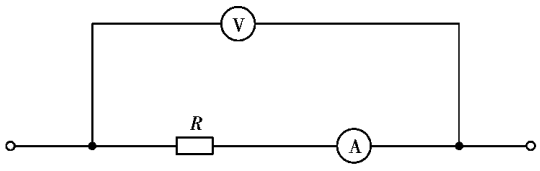


图 1-03-2 内接法

由于所选用的是 0.5 级电压表和电流表，下面先估算电表在两种测量中所产生的影响。对于伏特计，因表头电流为 1 mA，则对 1.5 V 量程的内阻为

$$R_{\mathrm{V}} = \frac{1.5\ \Omega}{10^{-3}} = 1\ 500\ \Omega$$

因被测电阻 $R_x \approx 30\ \Omega$，故以外接法测量时，对测量结果的影响为 $\frac{R_x}{R_{\mathrm{V}}} = \frac{30}{1\ 500} = 2.0\%$。

对于 0.5 级 50 mA 的电流表，表头的电压降取其中间值 28 mV 时，电流表的内阻为

$$R_{\mathrm{A}} = \frac{V}{I} \approx 0.56\ \Omega$$

故用内接法测量时对测量结果带来的影响为 $\frac{R_{\mathrm{A}}}{R_x} \approx \frac{0.56}{30} = 1.9\%$。可见，对本实验所选用的仪器来说，两种接线方法所产生的系统误差都很大，必须进行修正才能满足实验所提出的 $\frac{\sigma_{R_x}}{R_x} \leqslant 1.5\%$ 的要求。

①当用外接法时，应对电流进行修正，此时计算得的待测值

$$R_x = \frac{V}{I - I_{\mathrm{V}}} = \frac{V}{I - \frac{V}{R_{\mathrm{V}}}}$$

②当用内接法时，则应对电压进行修正，此时计算得的待测值

$$R_x = \frac{V - V_{\mathrm{A}}}{I} = \frac{V - R_{\mathrm{A}} \cdot I}{I}$$

由于电流表的量程是 50 mA，而要求的测量电流是在 34 ~ 50 mA，因此在线路连接时还要采用分压电路进行控制。

(4)测量及计算

①测量时要注意操作规程，尤其要注意不能超过电流表的量程。

②要用多次测量，以减少随机误差。

③用均方根误差进行计算，并对测量结果进行讨论。

以上是一个简单的含测量精度要求的物理实验设计题目的示例，请学生们认真领会其过程、步骤及要考虑的问题，以此作为参考。在有的设计题目中，还要先对几种实验方案进行比较，选择最好的实验方案与实验方法。选择实验方案不仅与被测物理量和它所要求的测量精度有关，还与实验设备有关，且牵涉面较广，前面已有例子说明，这里就不再举例了。

实验 1　误差分配和实验仪器的选择

在工程技术和实验技术领域中，经常会遇到这样的情况：例如，对某一项目进行检测，可供选用的仪器、仪表和量具的品种很多。但是它们运用的科学原理不同，采用了方式各异的检测机构和显示形式，以及有着不同的测试精度，而且成本和价格也相差甚大。在这种情况下，就要求实验者能按照检测任务的需要和实际的可能，进行统筹考虑，对使用的仪器、仪表和量具做出合理的选择。一般地说，选择仪器时可以从以下几个方面来考虑：①规格(量程)，②精确

度(误差大小),③灵敏度(分辨率),④实用性和价格。其中最后两项,在学生训练阶段可暂不考虑,但在实际工作中,却是非考虑不可的。

一、实验目的

①学习和训练在实际测试过程中,如何根据误差要求和误差分配原则,对实验仪器做出合理的选择。

②学习和训练如何根据误差分析结果选定简单测量电路,确定电表的量程、规格以及电源输出电压。

二、实验要求

①合理选择测量圆柱体(直径 $D\approx25$ mm,高 $H\approx55$ mm)体积的量具。分别要求满足:(a)$E_V\leqslant0.2\%$,(b)$E_V\leqslant1.0\%$,(c)$E_V\leqslant5.0\%$。说明选择的依据,并得出各实验结果。

②用多量程电流表、电压表和具有多挡输出的直流稳压电源,测出几个电阻元件的阻值(R_x 约为 5 Ω、50 Ω 和 500 Ω,额定功率均为 1/4 W),并进行误差分析。

a. 确定测量方法,画出完整的测试电路。

b. 根据仪器引入的最大相对不确定度$\frac{\sigma_{R_{仪}}}{R}\leqslant1.5\%$的要求,对电表的等级、量程、稳压电源输出电压和测量条件做出合理的选择。

c. 对测量方法引入的系统误差进行修正,确定实验结果所达到的精度。

三、实验提示

①实验误差的分配和仪器的选择,参阅 1.2 节。

②用多量程电流表、电压表测量电阻时,应根据待测电阻的大小来选定电流表内接或外接的测量方法,同时导出表头内阻引入的系统误差修正公式,并对结果进行修正。为使具体实验时能灵活使用这两种接法,可设计用一个开关,使两者合并成一个电路,通过开关转换实现任意选择。

③根据待测电阻之额定功率,算出最大允许电流 I_{max} 或能承受的最高电压。为了不使电阻发热,一般选用$\frac{1}{5}I_{max}$作为测试工作电流。然后确定稳压电源输出的大小和检测电表的量程规格与测量条件。

四、参考资料

[1] 肖明耀 . 误差理论与应用[M]. 北京:计量出版社,1985.
[2] 张兆奎,等 . 大学物理实验[M]. 上海:华东理工大学出版社,1990.

实验 2　重力加速度的研究

一、实验目的

①测定本地重力加速度。

②研究测定重力加速度的几种方法。

二、实验要求

①测定本地重力加速度 g 值,要有 4 位有效数字。测定值与公认值比较,百分误差要小于 1%。

②从单摆和自由落体两方面来研究测定重力加速度的方法。

三、实验提示

重力加速度 g 值是一个重要的地球物理常数。对它的准确测定,在理论上、生产上和科研上都有很大的意义。从实验方法与技能的要求来看,也能使我们得到很多教益。

测定重力加速度的方法很多,较简单的有单摆法,也可用开特摆(可逆摆)测定,复杂些的有自由落体测定等,它们各有其特点。

用以上方法测定重力加速度主要是测量长度和时间。测量长度的工具有米尺、镜尺、投影仪、经纬仪等,测量时间的工具有电子秒表、毫秒计、频率计等。要根据实验要求来选用这些仪器。

(1)单摆

摆长为 l 的单摆,其摆动周期 T 与摆角 θ 的关系为

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

取零级近似时,有

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

要注意用此公式的条件。

在实验中要研究 T 和 l、θ、m(小球质量)的关系。

实验时,l 应如何测量?单摆摆动次数应以不少于几次为好?为什么?

(2)开特摆

开特摆是一种特殊形式的复摆(物理摆)。它可以颠倒悬挂,正、倒两次测得的周期各为 T_1 和 T_2:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{J_G + mh_1^2}{mh_1 g}}$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{J_G + mh_2^2}{mh_2 g}}$$

把上面两式合并,消去 J_G 和 m,得

$$g = 4\pi^2\frac{h_1^2 - h_2^2}{T_1^2 h_1 - T_2^2 h_2}$$

式中　h_1,h_2——重心到两次悬挂支点的距离。

为了提高测定 g 值的精确度,应该使 h_1 与 h_2 的差值尽量大。

在实验中可研究开特摆和单摆的不同和联系,并注意哪些量可测准确,哪些量不易测准,

怎样使其误差尽量减小。

(3)用自由落体测定 g 值(光电计时法)

在自由落体支架上有两个光电门 A 和 B,小铁球落下时,经过 AB 的时间为 t:

$$s = v_A t + \frac{1}{2}gt^2$$

试问:

能否用公式 $s = \frac{1}{2}gt^2$ 来测量 g? 为什么? 若用以上公式,v_A 如何测得和消除? 光电门应怎样选择恰当的位置才能使实验结果有 4 位有效数字?

注意:

要使上、下两个光电门的中心在一条铅垂线上,并使下落的小球中心经过两个光电门的中心。



图 1-2-1

(4)用自由落体测定 g 值(频闪照相法)

采用频闪光源间断曝光,同时用底片记录自由下落小球在间隔相等时间的各个位置的物像,再用有关公式求出 g 值。

用频闪照相法测量长度时,可把底片放在投影仪中进行(为什么?)。处理数据时可用逐差法。

四、参考资料

[1] 林抒,龚镇雄 . 普通物理实验[M]. 北京:人民教育出版社,1981.

[2] 华中科技大学,天津大学,上海交通大学 . 物理实验:基础部分工科用[M]. 北京:高等教育出版社,1981.

[3][美]比切 . 物理学导论:上册[M]. 殷大均,译. 北京:人民教育出版社,1980.

[4][美]C. 基特尔,等. 力学——伯克利物理学教程:第 1 卷[M]. 北京:科学出版社,1979.

[5][德]威廉·H. 威斯特发尔 . 物理实验[M]. 王福山,译. 上海:上海科学技术出版社,1981.

实验 3　简谐振动的研究

自然界中存在各种振动现象,最基本最简单的振动是简谐振动。一切复杂的振动都可以分解为若干个简谐振动,即可把复杂的振动看作若干个简谐振动的合成。简谐振动在研究电磁场振荡、固体的晶格振动以及分子振动等问题中是一种十分有用的模型。因此,研究简谐振动是研究其他复杂振动的基础。本实验将对弹簧振子简谐振动的规律进行观察和研究。

一、实验目的

①学习进行简单设计性实验的基本方法,培养简单实验的设计能力。

②学习如何选择实验方法来验证物理规律。

③通过简谐振动,研究弹簧振子中弹簧的有效质量,测定弹簧的倔强系数。

二、实验要求

(1)设计一个验证简谐振动运动规律的方案

①写出应验证的规律与验证方法。

②写出数据处理方法。

③写出提出所需要的仪器设备与器材。

(2)设计测量弹簧有效质量和倔强系数的实验方法

①写出测量方法。

②数据处理方法。

③拟出测量步骤。

④列出数据处理表格。

三、实验提示

可供选择参考的有气垫导轨法与焦利秤法。

(1)气垫导轨法

如图 1-3-1 所示弹簧振子系统,质量为 M 的物体与 AB 面之间光滑无摩擦,两弹簧的倔强系数分别为 k_1 和 k_2,物体两边各与弹簧的一端相连,使物体 M 振动后,试证明:

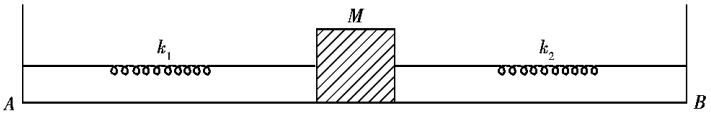


图 1-3-1

①这一系统作简谐振动。

②系统振动的周期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{M+m_e}{k_1+k_2}}$。其中 m_e 为弹簧在振动体振动时的有效质量。由此考虑如何验证简谐振动的运动规律,以及如何测定 m_e 和系统的 k($k=k_1+k_2$)值。

(2)焦利秤法

使焦利秤的一根弹簧作上下振动,它的周期

$$T=2\pi\sqrt{\frac{M+m_e}{k}}$$

四、分析讨论题

①测量周期 T 时,取多少个周期为宜?这是由什么因素决定的?

②用气垫导轨法做谐振动实验时,滑块的振幅在振动过程中不断减少,是什么原因?对实验结果有无影响?

③用气垫导轨法做谐振动实验时,导轨由水平放置改为倾斜放置(可在导轨一端的下面垫一个垫块),对实验的结果有无影响?根据观察的结果从理论上加以证明。

需要全本请访问 www.ertongbook.com