

# 中学物理实验

[英] M. 内尔科 J. M. 奥格博思 著

沈子威 黄美珍 译

郭奕玲 校

科学出版社

1990

## 内 容 简 介

为了培养中学生的实验工作能力,帮助他们学会观察现象、提出问题、找出其原因并得到正确结果的方法,我们组织出版了这本《中学物理实验》。书中介绍了中学物理中有关力学、热学、电磁学、电子学和原子物理学等方面最基本的重要的物理实验,不仅能培养学生的实验技能,而且能教会学生如何处理实验数据,书写实验报告,估计实验误差,实为中学生的良师益友。本书可供中学生,中学教师以及理、工科大学低年级学生参考。

M. Nelkon and J. M. Ogborn  
ADVANCE LEVEL PRACTICAL  
PHYSICS  
(4th ed.)

Heinemann Educational Books Ltd, 1978

## 中 学 物 理 实 验

〔英〕M. 内尔科 J. M. 奥格博恩 著

沈子威 黄美珍 译

郭奕玲 校

责任编辑 荣毓敏 鄢德平

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1990年4月第一版 开本: 787×1092 1/32

1990年4月第一次印刷 印张: 95/8

印数: 0001—2 000 字数: 216,000

ISBN 7-03-000437-X/O·121

定价: 5.90元

## 第四版前言

在本版中，我们考虑了主审委员会新的高中水平教育大纲，对实验作了修订和重新编排，变动的内容包括：(1) 力学——机械共振试验；飞轮惯性矩；材料的断裂强度和破裂试验。(2) 热——测定金属比热容的电能和机械能方法以及测定比潜热的电方法，用热敏电阻和热电偶测量温度。(3) 波——弹簧中的纵波和横波。(4) 电——电流的绝对测定，电磁感应定律的试验，螺线管中电流密度的测量，用舌簧开关测定电容和空气的电容率，用直流静电计研究平板电容，电容器充放电。(5) 电子学和原子物理——用显像管测定  $e/m_e$ ，结型二极管特性， $n-p-n$  晶体管特性， $\beta$  粒子在铝中的吸收。我们尽可能在实验室中使用了像努费尔特(Nuffield)高中教程提出的现代化装置，省略了在新的大纲中不再需要的实验。

我们增加了“小实验”这一章，力图说明由一些委员会所要求的那些实验工作，其中考试部分由一系列简短实验组成。希望这些实验对教师要做的类似实验有所启发。

我们感谢下列各位对这一版本的协助：M. D. 菲力普斯(O. S. B. 安普尔福恩学院)对许多实验提出有价值的建议和有价值的贡献。C. F. 托尔曼(Whitgift 学校，克赖顿)和 M. V. 特日拉捷(威廉埃利斯学校，伦敦)对全部正文指出了有益的建议。P. 贝特斯(伍德豪斯学校，伦敦)和 J. 塞尔文(威廉埃利斯学校，伦敦)对电子学实验给予很多的帮助。S. S. 亚历山大(他曾在伦敦的伍德豪斯学校工作过)对许多实验提出了有益的建议。T. E. 沃尔特(威廉埃利斯学校)自始至终给予巨大的帮助。

## 第一、二、三版序言

本书所包括的主要实验适合于高中水平的学生、并作为这种水平的一种基本教程或初级教程，它不是一本包罗万象的实验教程，也不打算为那些超出高中水平的学生提供提高材料。

本书有一个进行实验和记录实验的介绍，还有一章是关于在测量物理常数中直线图的应用和误差以及精确度的简单处理，并且举例说明。实验包括热、光、声、电和力学以及材料特性。所用的装置是中学通常使用的。大部分实验能在大约一个半小时完成，做这些实验没有规定次序。

我们尽可能在实验的最后给出有关误差和精确度的简单注解。测量的误差与实验装置以及所采用的方法关系极为密切，并且各学校之间就有很大差别，但是希望依照这些所说明的实验处理方式，实验能进行下去。

本书还包括一些各种各样的考查问题，在这里作者非常感激伦敦大学评议会允许复印高中实用物理考查中的问题，还非常感谢 M. E. 西蒙诺阅读本书的校样。

在第二版中，我们增加了放射性实验，电子电荷（密立根）、电子的荷质比，三极管放大器和三极管振荡器，晶体管特性，阴极射线示波器，交流电路，电容放电和氦回路、电场、衍射光栅、光电池，我们感激 T. E. 伏尔特（威廉埃里斯学校）的帮助。

学校要充分注意到教学和科学管理部门所指出的使用放射性物质和高压时会造成损伤。

对于第三版,正文改用标准国际单位制,还加些关于能量和动量、微波、望远镜的分辨能力以及使用直流放大器的放射性半衰期实验。根据高中教育大纲最近的变动,去掉测磁学和光度学的实验,重新编排了晶体管和放射性实验。

# 目 录

第一章 引言 .....	1
实验指导和实验报告 .....	1
直线图的用法 .....	3
误差和精确度 .....	7
第二章 力学和物性学 .....	14
实验1 用单摆测定 $g$ .....	14
实验2 测定螺旋弹簧的弹性常数和地球的引力强度 .....	16
实验3 机械共振的研究 .....	19
实验4 测定飞轮的转动惯量 .....	22
实验5 用气轨研究动能与线动量 .....	24
实验6 材料的断裂强度和断裂 .....	30
实验7 钢丝杨氏模量的测定 .....	34
实验8 静摩擦和动摩擦系数的测定 .....	37
实验9 用斯托克斯定律测定粘度 .....	39
实验10 用毛细管流测定水的粘度 .....	42
实验11 用毛细管测定水的表面张力 .....	45
第三章 热 .....	47
实验12 用热敏电阻温度计测量温度 .....	47
实验13 用热电偶测定温度和熔点 .....	50
实验14 用电学方法测定金属的比热 .....	52
实验15 用电学方法测定油的比热 .....	55
实验16 用机械能方法测定金属的比热 .....	58
实验17 用恒流法测定水的比热 .....	60
实验18 用混合法测定(i)金属块的热容量(ii)油的比热 .....	63
实验19 用电学方法测定汽化热 .....	66
实验20 (i)测量冰的熔解热(ii)用冰测定油的比热 .....	69
实验21 研究(i)查理定律(ii)恒压下气体体积和绝对温度之	

间的关系 .....	71
实验22 利用定容气体温度计(i)测量实验室温度(ii)研究盐 溶液的沸点改变 .....	74
实验23 用 Searle 法测量良导体的热导率 .....	77
实验24 用 Lees 法测量不良导体的热导率 .....	79
实验25 测量水的饱和蒸汽压(动态方法) .....	82
<b>第四章 几何光学</b> .....	<b>85</b>
实验26 固定曲率中心测凹面镜的焦距 .....	85
实验27 用物像法测定凹面镜的焦距 .....	87
实验28 用会聚透镜测定凸面镜的焦距 .....	89
实验29 用表观深度法测定透明块和液体的折射率 .....	91
实验30 空气室法测定液体的折射率 .....	92
实验31 用分光计测定玻璃的折射率 .....	94
实验32 用平面镜测量凸透镜的焦距 .....	98
实验33 用位移法测量一个不可及的透镜的焦距 .....	101
实验34 用凸透镜测定凹透镜的焦距 .....	103
实验35 用凹面镜测凹透镜的焦距 .....	105
实验36 凸透镜的曲率半径和折射率的测量(Boys 方法) .....	106
实验37 用凸透镜和平面镜测液体的折射率 .....	109
实验38 天文望远镜的角放大率 .....	111
实验39 简单显微镜的角放大率(放大镜) .....	114
实验40 复合显微镜的角放大率 .....	116
实验41 光电池和平方反比律的研究 .....	117
<b>第五章 波</b> .....	<b>122</b>
电磁波——光 .....	122
实验42 用杨氏条纹测量红光和蓝光的波长 .....	122
实验43 用牛顿环测量钠光的波长 .....	124
实验44 用干涉条纹测定空气楔的角度和薄膜厚度 .....	126
实验45 用衍射光栅测量波长 .....	128
实验46 望远镜的分辨率 .....	131
电磁波——无线电波 .....	134

实验47	用微波进行干涉及其它实验	134
	<b>机械波和声波</b>	<b>139</b>
实验48	波在弹簧上的传播速度	139
实验49	拉伸弦线的频率随长度变化的研究	142
实验50	拉伸弦线的频率随张力变化的研究	144
实验51	在管(共振管)中空气柱的共振	146
实验52	用弦音计测定交流电的频率	149
实验53	用粉末管(孔脱管)测量声在棒中的速度	151
实验54	用市电频率校准音频振荡器	154
实验55	测定大气中的声速	155
<b>第六章</b>	<b>电学</b>	<b>157</b>
实验56	电池电位差改变的研究和内阻的测量	157
实验57	用滑线电桥测电阻和研究串联与并联公式	159
实验58	用滑线电桥测量金属的电阻率	161
实验59	测量电阻的温度系数	164
实验60	用电位计比较电池的电动势	167
实验61	用电位计校准安培表	169
实验62	用电位计测定电池内阻	171
实验63	测量热电偶电动势及其随温度的变化	174
实验64	电流的绝对测量	176
实验65	电磁感应定律的研究	180
实验66	用探测线圈研究螺线管的磁场	183
实验67	霍尔效应, 测量螺线管内的 $B$	187
实验68	法拉第常数和阿伏伽德罗常数的测定	190
实验69	用舌簧接点元件测定电容	193
实验70	测量空气的介电常数	195
实验71	用静电计研究平行板电容	199
实验72	电容器的充放电	202
实验73	作直流和交流电压表用的阴极射线示波器的校准	205
实验74	研究电容器的放电及闪光氖灯线路	208
实验75	电容器的阻抗, $C-R$ 交流串联线路	213
实验76	电感的阻抗, $L-R$ 串联交流线路	215



实验77	研究串联谐振线路 .....	217
<b>第七章</b>	<b>包括电子学的原子物理 .....</b>	<b>223</b>
实验78	结型二极管:特性与整流 .....	223
实验79	研究电子管的特性 .....	225
实验80	研究晶体管的特性——共发射线路 .....	228
实验81	三极管作放大器和开关 .....	231
实验82	用磁偏转测定电子的荷质比( $e/m_e$ ) .....	236
实验83	测量电子电荷——密立根法 .....	240
实验84	研究盖革-弥勒计数管和定标器 .....	246
实验85	研究 $\gamma$ 射线的平方反比定律 .....	251
实验86	铝对 $\beta$ 粒子的吸收 .....	254
实验87	用直流放大器测定氡-220的半衰期 .....	257
实验88	普朗克常数的估计 .....	260
<b>第八章</b>	<b>小实验 .....</b>	<b>265</b>
实验89	线圈的感应电压 .....	266
实验90	扬声器中的共振 .....	267
实验91	导体中的电流 .....	269
实验92	杆的振动 .....	270
实验93	橡皮线上的驻波 .....	272
实验94	衍射光栅 .....	274
实验95	光和光电池 .....	275
实验96	加热和冷却 .....	277
实验97	力、加速度和能量 .....	279
实验98	拉伸橡皮带 .....	281
实验99	旋转运动 .....	283
实验100	空气的等温压缩 .....	284
<b>各种各样的考试题目和研究项目 .....</b>	<b>287</b>	
各种各样的考试题目 .....	287	
为研究提出的建议 .....	294	

# 第一章 引 言

## 实验指导和实验报告

高中实验物理课程应当让学生去做以理论课中所涉及的基本定律和基本原理为基础的实验；测量各种各样的物理常数；获得熟练地使用各种实验仪器的技能；并且评价它们的局限性。

### 实 验 指 导

预先要对所做的实验作一个计划，查找参考书，使你确实了解实验的基本原理。在开始实验之前，(i)如果是电学实验，就要画电路图，如果是光学或其他复杂实验，就要有仪器的“安排”图，(ii)以表的形式记录你计划研究的所有测量项目，以及准备好计算结果时要用的计算公式。

在完成上述事情之后，正确地装配好仪器。例如在连接电路时，各仪器之间距离安排要恰当，并且所有仪器都很容易够着，仪表标尺要便于读数；在光学实验中所有反射镜和透镜的光学中心要与所用物体处在一条直线上。然后检查仪器，看工作正常与否。初步调整读数，以了解：(i)在透镜实验中物距是否太大或太少，电学仪器的读数是否太高或太低；(ii)测量值的取值范围。把你测得的每一结果填入测量表中。为了获得精确的结果，必须尽可能用不同的测量来重复该实验，例如，在透镜实验中改变物距，在电阻率测量中改换导线的长度。

同理,对于每一个所测量必须记录几个值,例如,测量导线的直径,或者用平面反射镜法测量凸透镜的焦距时要取几个读数.无论如何,在测量振动周期或者测量流体的流速时,与它们的误差相比较而言,所测的量应当尽可能大些.例如,在振荡实验中,如果记时误差小于1%,用停表测得的总时间不得小于100 s.

记录的测量记录应说明所用仪器的局限性,或观测误差,从而以合理的精度给出最后的结果.这一点在后面要进行充分的讨论.在进行测量的同时,粗略绘出测量曲线,以便随时发现错读之错误.

## 实验报告

实验报告应该写在实验物理的练习簿上,练习簿每隔几页就有一页图.为了写得干净整齐,要求报告的每一段落写出标题,下面是一个比较合适的格式:

### 1. 题目

2. 图解 用细铅笔和直尺作图,并标以用符号或字母,以与实验报告参照.

3. 方法或说明 按照完成实验的次序描写各种测量的全部细节,说明你在获得精确测量时应注意的事项,记述克服困难或提高精度的特殊方法和技术.

4. 测量 列出你所进行的全部测量,例如,不要扔掉两个测量值,而只记录其差值.如有可能,把测量结果记入所制的表中,或者从上到下依次排成一列,并要给出每个被测量的单位.

5. 计算 将测量的值转换成国际制单位,并把这些值代入公式.

6. 作图 如果作图, 要选择尽可能充分利用作图纸的标度, 标明两根轴并给出单位. 用削得很细的硬铅笔画出叉、或点和圆圈等符号来标出所画的点.

7. 结果或结论 必须对你的最后结果给出合理的精度, 必须说明所用的单位, 例如, 金属的电阻率是  $(5.0 \pm 0.2) \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ . 为了全面, 还应包括实验的理论概述. 还得讨论测量误差, 然后估计最后结果的精度.

### 测量数据表的注释

一个物理量的符号既表示数值又表示单位. 因此我们可以把长度写成“ $l = 2 \text{ m}$ ”, 其中  $m$  表示单位长度——米.

数值  $2 = l/m$ , 因而在测量的数据表中记录  $l$  的数值时, 在该结果相应的那一列的最上面应写上“ $l/m$ ”.

其他物理量所相应列的数据也要用类似方法标明栏头. 下面给出几个例子:

质量 $m/\text{kg}$	时间 $t/\text{s}$	温度 $T/\text{K}$	电流 $I/\text{A}$
压力 $p/\text{毫米汞柱}$	电阻 $\Omega$	距离的倒数 $\mu^{-1}/\text{cm}^{-1}$	

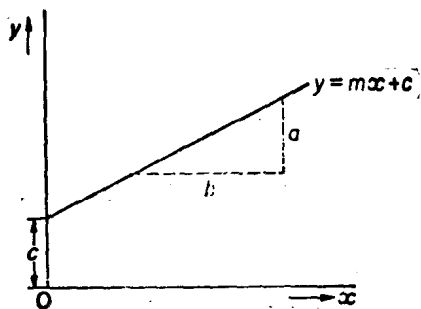
用相似的办法来标明曲线的坐标轴.

## 直线图的用法

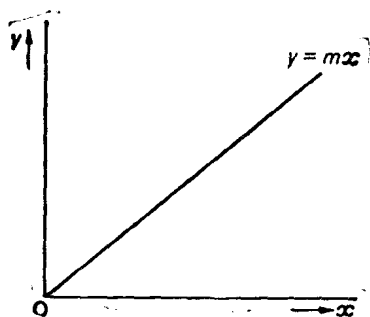
### 直线公式

如果  $m$  和  $c$  是常数, 直线的一般方程是

$$y = mx + c$$



(i)



(ii)

图 1

(图 1 (i)). 直线的斜率是  $m$ , 因为  $dy/dx = m$ . 如果直线通过实验点, 那么比值  $a/b$  可以确定斜率, 其中  $a$  和  $b$  分别由  $y$  轴和  $x$  轴读出. 进而, 在方程  $y = mx + c$  中令  $x = 0$ , 那么  $y = c$ . 因此直线在  $y$  轴上的截距等于  $c$ . 从而, 方程  $y = 4x - 3$  表明直线的斜率等于 4,  $y$  轴上的截距等于 -3. 由于  $y = 0$  时,  $4x - 3 = 0$ , 所以  $x = \frac{3}{4}$  等于  $x$  轴上的截距.

直线  $y = mx$  和  $y = mx + c$  的差别在于前者没有常数  $c$ . 由  $y = mx$  可知,  $x = 0$  时,  $y = 0$ , 因而该直线通过原点 (图 1

(ii). 如果  $x$  增加一倍, 那么由  $y=mx$  可知,  $y$  也增加一倍; 如果  $x$  减少三分之一, 那么  $y$  也减少三分之一. 因而  $y$  与  $x$  成正比. 读者可以检验, 当直线方程的形式为  $y=mx+c$  时, 上面所说的就不对了.

## 直线图的应用

物理学不同分支的许多量, 例如电流计的电阻或透镜的焦距可以从作出实验结果的直线图来获得. 我们将从物理学的不同分支中举几个例子来说明.

### 电学

#### 1. 端电位差实验

电池在电路中产生电流  $I$  的端电位差  $V$  的方程是

$$V = E - Ir \quad (1)$$

其中  $E$  是电动势,  $r$  是内阻. 这是  $V$  和  $I$  满足的直线方程 (图 2 (i)). 该直线的斜率是  $a/b$ , 其值等于  $r$ , 它是  $I$  的系数, 因而可以求得. 进而当  $I=0$  时, 则  $V=E$ ; 因此, 电动势是  $V$  轴上的截距, 如图所示.

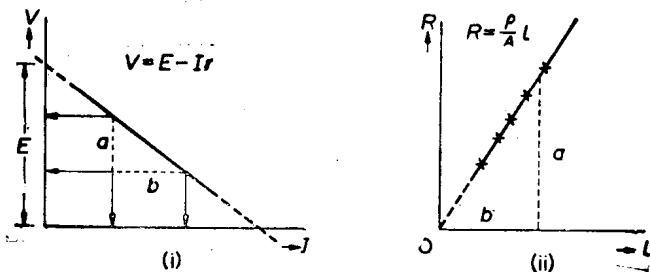


图 2

#### 2. 电阻率实验

采用通常的表示方法, 导线的电阻  $R$  是

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

如果已测量不同长度  $l$  的电阻  $R$ , 而且画出  $R$  与  $l$  的关系曲线, 所得的图是过原点的直线(图 2 (ii)). 直线的斜率  $a/b$  是方程中  $l$  的系数. 因此  $\rho/A = a/b$ , 或者  $\rho = A \times (a/b) = \pi r^2 (a/b)$ , 其中  $r$  是导线的半径. 这样一来, 测量出直线的斜率, 并且知道半径后, 即可计算电阻率  $\rho$ .

### 3. 真空二极管实验

在真空二极管中极流  $I_0$  与极压  $V_0$  有关, 满足公式  $I_0 = kV_0^n$ , 其中  $k$  和  $n$  是常数. 为了求  $n$ , 我们对两边取对数,

$$\log I_0 = \log k + n \log V_0 \quad (3)$$

因此  $\log I_0$  和  $\log V_0$  的关系图是直线,  $\log V_0$  的系数  $n$  是直线的斜率. 一般说来, 应当记住在画出所研究量的对数图后, 即可获得未知的幂或指数.

## 光学

### 4. 牛顿环实验

在这个实验中第  $n$  个环的半径  $r_n$  与入射光的波长和透镜面的半径  $R$  有关, 其公式是

$$r_n^2 = \left(n + \frac{1}{2}\right) R \lambda = n R \lambda + \frac{1}{2} R \lambda \quad (4)$$

因此  $r_n^2$  和  $n$  的关系是一直线, 其斜率是  $R\lambda$ . 这样一来  $\lambda =$  斜率/ $R$ , 于是可计算出  $\lambda$ .

### 5. 位移实验

在测量凸透镜焦距的位移方法中

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} \quad (5)$$

其中  $l$  是物体和屏幕之间的距离,  $d$  是透镜的位移.

$$\therefore \frac{l}{4} - \frac{d^2}{4l} = f$$

$$\text{或 } l = \frac{d^2}{l} + 4f$$

画出  $l$  和  $d^2/l$  关系图后, 我们就获得了直线图。又因  $d^2/l=0$  时,  $l=4f$ , 所以把所得的直线往回延长与  $l$  轴相交, 即可求得焦距。

### 声学

#### 6. 共振管实验

对于第一个共振位置, 我们有

$$\frac{\lambda}{4} = l + c = \frac{V}{4f} \quad (6)$$

公式中的符号与普通的定义相同, 因此在改变  $f$ , 测量  $l$  时, 可以得到  $l$  和  $1/f$  的关系图是一直线。直线的斜率是  $V/4$ , 因为该值是  $1/f$  的系数 ( $m$ ), 从而可以求得  $V$ 。此外,  $1/f=0$  时,  $l+c=0$  或  $l=-c$ 。所以, 直线在  $l$  轴上的负截距即末端修正值  $c$ 。

#### 7. 弦音计实验

如果未知重量  $X$  放在弦音计的导线上, 并且另外再加上一个已知重量  $W$ , 重量的单位用  $N$  来表示, 可以得到

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{X+W}{m}} \quad (7)$$

两边平方并整理之后得到  $4mf^2l^2 = X+W$ 。

如果改变  $W$ , 而且每次相应地变化  $l$ , 调整到同一个频率  $f$ , 那么  $l^2$  和  $W$  的关系图应是一直线。因而当  $l^2=0$  时,  $X+W=0$ , 或  $W=-X$ 。所以未知重量  $X$  是直线在  $W$  轴上的负截距。

## 误差和精确度

一个特定实验中的误差可能来源于观察, 或者起因于所



用的仪器,或者两种因素同时起作用。这些问题也可以由实验本身的性质说明,例如,在热学实验中冷却的热损失会使所得的最后温度产生误差。采用特殊技术能够把这种误差变到最小或者消除,例如进行冷却修正,或者进行反复实验和扣除来消除热损失。然而,在实验中出现误差时,我们必须在测量中记录下来,在计算最后结果时也要将它考虑进去,这些我们以后再讨论。

### 仪器的观测误差

如果用准确刻度的温度计测量液体的温度,其读数是 $15.2^{\circ}\text{C}$ ,若读数估计到 $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$ ,那么这个温度应记为 $15.2 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。这就表示温度的可能取值范围是 $15.1-15.3^{\circ}\text{C}$ 。把液体加热观测到温度为 $39.8^{\circ}\text{C}$ 时,应当记成 $39.8 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。两者相减可知,温度增加了 $24.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ,因而温度升高的范围在 $24.4-24.8^{\circ}\text{C}$ 之间。同理,如果量热器称质量是 $44.3 \pm 0.1$ 克,盛水后的量热器的质量是 $84.9 \pm 0.1\text{g}$ ,于是水的质量是 $40.6 \pm 0.2\text{g}$ 。所以当类似的量相减时,一般说来,误差应相加,自然,两个类似的量相加时,误差也应当相加。

必须了解,不仅仪器上的实际读数有误差,测量仪器的零点也有误差。例如,假设停表的刻数为 $1/5\text{s}$ 一格,用它来测量单摆振动几次的时间。当摆经过振动中心时起动停表,可能有 $0.2\text{s}$ 的误差;如果在所关心的时间间隔内停表所记录的时间为 $54.6\text{s}$ ,那么这个时间应写成 $54.6 \pm 0.4\text{s}$ ,这考虑了起点和终点误差。同理,如果尺按毫米刻度,那么考虑到长度两端点误差后,某一长度可表成 $62.2 \pm 0.2\text{cm}$ 。如