

2000

伦敦工学院

200个物理实验

科学技术文献出版社

771157/06

伦敦工学院
200 个 物 理 实 验

[英] R.M. 惠特利 J. 亚伍德 著

北 京 工 业 大 学 蔡峰怡

金泽宸

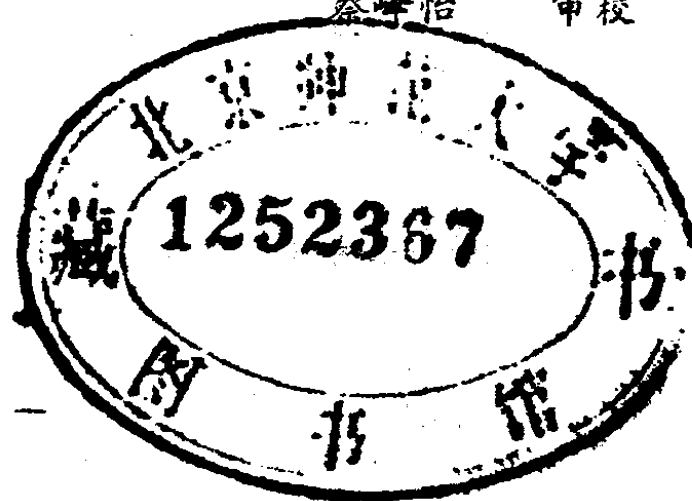
严隽霖

项义令

等译

蔡峰怡

审校



科学技术文献出版社

1 9 8 4

内 容 简 介

本书叙述了近200个大学生做的物理实验。每个实验均从仪器介绍、实验步骤到数据处理作简明的叙述，并有实例。这些实验都在中央伦敦工学院的物理实验室做过。

实验内容有：光学，固体与流体力学，声学，热学，电磁学，原子物理，放射性物理与核物理，电子器件学等主要物理分支。用计算机处理数据即可。另外还有若干个“设计”实验。本书只给出一些建议，其余由学生自己去做。

本书对培养学生自己动手解决实际问题，增加学生实验环节的训练，都有参考价值。

可供大学教师，大学学生及工程技术人员学习参考。

EXPERIMENTAL PHYSICS FOR STUDENTS

R.M. Whittle J. Yarwood Chapman and
Hall Ltd, London, 1973

伦敦工学院 200 个物理实验

蔡 峰 怡 等 译

科学技术文献出版社出版

北京景山学校印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本：787×1092^{1/32} 印张：13.5 字数：292 千字

1984 年 11 月北京第一版第一次印刷

印数：1—15,100 册

科技新书目：80—61

统一书号：13176·172 定价：1.70 元

原 序

本书叙述了约二百个物理实验，适用于大学物理课程。每个实验都在中央伦敦工学院物理实验室中做过，并常常得到学生们有价值的帮助，同时也得到物理分部成员的建议及协助。

对联合王国的大学生来说，本实验的水平既适于作高等教育证书课程的二年级课程，也适于作攻读物理优等学位课程的头两年课程，以至攻读科学或工程学位的整整三年课程，在最后一个学位课程里，物理课是相当重要的课程。让学生花足够的时间，在实验室里独立进行实验，是很重要的。此外，这些实验应包括物理学中许多基本内容，是对同时进行的理论课的演示与扩充，使学生获得应用各种方法及仪器的亲身经验，引导学生了解误差及其处理方法的重要性，同时在实验课的较前部份，通过利用简明的仪器，使学生对基本原理有真正的了解，而不致因操作和使用复杂的测试装置弄得晕头转向。

本实验包括几个主要部份：光学，固体与流体力学，声学，热现象，电学测量，磁学，原子物理，放射性与核物理，电子器件及原理（不包括近代电子线路）。整个课程相当强调处理误差的简易统计方法。与过去的教材比较，在实验技术上更为侧重了。例如：有许多科学研究是在低压下进行的，与此有关的实验技术被收进本书中。

有些“设计”型实验——即让学生解决某一实际问题，问题的答案没有提供，或不象标准教科书中说得那么清楚——是很重要的，本书对这类“设计”实验提供了若干建议。一般说来，这类“设计”实验应放在课程的稍后部份，因为这需要有一定基础，即须要做过大量正规实验，能对基本想法、仪器及方法作出恰当的评价。

本书除供大学生使用外，还望能成为较初等的工学院或学校科技图书馆中有用的藏书之一，让有志于在通常课程大纲以外开阔思路及方法的师生，有所参考。

R.M.W

J.Y

伦敦 1973.6.

目 录

原序.....	(1)
1. 观测的误差.....	(1)
1. 1 实验结果的讨论.....	(1)
1. 2 简单名词定义.....	(3)
1. 3 误差的计算.....	(4)
1. 4 对干涉仪实验结果的重新评价.....	(6)
1. 5 用统计学评定误差的例子.....	(8)
1. 6 随机与系统误差.....	(10)
1. 7 误差的传递.....	(12)
1. 8 误差的综合.....	(12)
1. 9 第1.8节的方法在几种不同情形下的应 用.....	(15)
1.10 误差计算实例.....	(17)
1.11 误差分布; 定义.....	(23)
1.12 正态或高斯分布.....	(25)
1.13 正态分布与 t 分布的实际应用.....	(26)
1.14 舍弃观测值.....	(28)
1.15 求平均值时对观测值的加权.....	(29)
1.16 直线图或线性关系.....	(30)
1.17 用眼睛评估最佳直线.....	(31)
1.18 迅速导出 $y = bx + a$ 的方法特例.....	(32)
1.19 用零和法定 $y = bx + a$	(32)

1.20	用形心法定 $y = bx + a$	(33)
1.21	统计上的最佳直线.....	(34)
1.22	多项式曲线; 曲线拟合.....	(36)
1.23	曲线下面积的确定.....	(37)
1.24	χ^2 检验.....	(38)
2.	辐射的干涉和衍射.....	(40)
2. 1	两束光的干涉: 波前分割.....	(41)
2. 2	分振幅干涉.....	(46)
2. 3	平面衍射光栅.....	(51)
2. 4	衍射法测液体中超声的速率.....	(58)
2. 5	迈克耳逊干涉仪.....	(60)
2. 6	莫尔条纹.....	(66)
2. 7	测定透明电介质弹性常数的法.....	(67)
2. 8	单缝衍射: 测量氦氛气体激光器主红光的波长.....	(69)
2. 9	多缝衍射.....	(71)
2.10	分辨极限的瑞利判据.....	(74)
2.11	用衍射法测定颗粒的大小.....	(78)
2.12	微波的干涉和衍射.....	(80)
2.13	光的菲涅耳直边衍射.....	(82)
2.14	X射线晶体学; X射线衍射	(84)
3.	几何光学.....	(92)
3. 1	薄会聚透镜的焦距.....	(92)
3. 2	薄发散透镜的焦距.....	(93)
3. 3	厚会聚透镜或共轴组合透镜.....	(94)
3. 4	会聚透镜的象差.....	(98)

3. 5	(a) 望远镜的光学放大率, (b) 显微镜的 光学放大率.....	(100)
3. 6	固体或液体折射率的测量.....	(102)
3. 7	测定折射率的分光计方法.....	(106)
4.	辐射测量	(107)
4. 1	斯忒藩、维恩、普朗克辐射定律.....	(107)
4. 2	测定光电管的光谱响应曲线.....	(117)
4. 3	光电管的白光灵敏度.....	(118)
4. 4	测量人眼的色灵敏度.....	(121)
4. 5	硝酸双氧铀的荧光性.....	(123)
4. 6	普朗克常数 h 的测定.....	(126)
4. 7	照相乳剂的响应.....	(128)
5.	光谱学	(130)
5. 1	恒偏向光谱仪.....	(130)
5. 2	恒偏向光谱仪电弧光源的使用.....	(134)
5. 3	法布里—珀罗干涉仪.....	(135)
5. 4	可变长度法布里—珀罗标准具: 谱线精细 结构的研究.....	(144)
5. 5	喇曼光谱.....	(148)
5. 6	吸收光谱.....	(151)
5. 7	C.I.E色坐标.....	(156)
5. 8	发射光谱分析.....	(159)
6.	光的偏振	(166)
6. 1	一些基本设备.....	(166)
6. 2	用测量布儒斯特角来测定介质折射率.....	(167)
6. 3	菲涅耳公式.....	(168)

6. 4	偏振的测量	(170)
6. 5	巴俾涅和索累补偿器	(172)
6. 6	用索累补偿器作椭圆偏振仪	(175)
6. 7	光弹实验	(176)
6. 8	双折射薄膜中的干涉; 膜厚的测定	(180)
6. 9	石英的光学性质	(182)
6.10	费尔德常数的测定	(184)
6.11	克尔常数的测定	(185)
7.	固体及流体力学真空实验	(187)
7. 1	弹性模量的简单测定方法	(187)
7. 2	应变仪的定标	(192)
7. 3	用驻波法测量空气中的声速	(195)
7. 4	测量混响时间	(197)
7. 5	实心杆中的声速	(198)
7. 6	液体中的声速; 超声技术	(201)
7. 7	气体中的声速	(202)
7. 8	测量液体的表面张力	(203)
7. 9	流体的粘滞性	(207)
7.10	粘滞计	(213)
7.11	粘滞性的进一步实验	(216)
7.12	测量低气压的麦克劳压力计	(217)
7.13	测定油封机械真空泵的抽吸速率与压力的 关系特性	(220)
7.14	小真空系统	(227)
7.15	用麦克劳计记录油扩散泵的极限压力	(230)
7.16	安装皮喇尼计; 用麦克劳计对皮喇尼计定	

标.....	(233)
7.17 热偶.....	(236)
7.18 热阴极电离计.....	(237)
7.19 在玻璃上淀积铝膜.....	(242)
7.20 金属膜的反射率.....	(247)
7.21 用干涉法测量玻璃上不透明铝膜的厚度.....	(248)
7.22 在玻璃上制备减反射膜 (“敷霜”)	(250)
7.23 油扩散泵的抽速—压力特性.....	(253)
7.24 圆柱形管内分子传导率的实验测量.....	(257)
7.25 带辅助吸附泵的溅射—离子泵真空系统.....	(259)
8. 热学测量.....	(263)
8.1 热电偶.....	(263)
8.2 珀耳帖效应; 珀耳帖致冷.....	(266)
8.3 电阻计温术.....	(267)
8.4 热敏电阻.....	(269)
8.5 在低、中、高温下固体、液体、气体的比 热容.....	(271)
8.6 用电热法测定比潜热.....	(278)
8.7 测量固体、液体、气体的热导率.....	(281)
9. 直流电测量.....	(286)
9.1 直流电位差计.....	(286)
9.2 数字电压表.....	(287)
9.3 电流计.....	(287)
9.4 电阻的测量.....	(291)
9.5 低电阻的测量.....	(292)
9.6 中等电阻的测量.....	(292)

9. 7	惠斯登电桥的灵敏度.....	(294)
9. 8	高阻值电阻的测量.....	(295)
9. 9	互感系数的测量.....	(297)
10.	交流电测量.....	(299)
10. 1	电容和电容器.....	(299)
10. 2	电感和电感器.....	(304)
10. 3	互感的测量.....	(307)
10. 4	频率的测量.....	(309)
11.	物理电子学和一些基本电子设备与电路.....	(314)
11. 1	用密立根法测电子电荷.....	(314)
11. 2	电子荷质比的测量.....	(316)
11. 3	热离子发射: 钨的逸出功.....	(325)
11. 4	本征及掺杂半导体材料的特性.....	(329)
11. 5	(a) 真空二极管和(b) 半导体二极管的特性.....	(331)
11. 6	半波和全波整流: 使用 (a) 电子管 (b) 半导体二极管.....	(334)
11. 7	(a) 电子三极管和 (b) 五极管的特性.....	(335)
11. 8	气体元素临界电位的测量.....	(340)
11. 9	双极晶体管特性.....	(342)
11.10	齐纳二极管.....	(346)
11.11	场效应晶体管 (FET) 及其特性.....	(350)
11.12	甚小直流的放大.....	(353)
11.13	场效应管伏特计.....	(355)
11.14	单结晶体管.....	(356)
11.15	可控硅整流器; 单相控制电路.....	(357)

11.16	偏压双极结晶体管; 单晶体管交流放大器.....	(360)
11.17	共发射极双极晶体管声频放大器.....	(361)
11.18	用场效应晶体管的交流放大器.....	(362)
11.19	稳压电源.....	(364)
11.20	恒流源.....	(366)
11.21	输出正弦波的晶体管振荡器.....	(367)
11.22	多谐振荡器.....	(370)
11.23	单结晶体管张弛振荡器.....	(372)
11.24	微分和积分电路.....	(373)
11.25	电子自旋共振.....	(375)
12.	磁学.....	(380)
12. 1	磁通密度.....	(380)
12. 2	铁磁材料的磁性.....	(386)
12. 3	用古依 (Gouy) 法测量小的磁化率.....	(390)
12. 4	居里点的测定.....	(393)
13.	应用核子学.....	(395)
13. 1	盖革—弥勒管的特性.....	(395)
13. 2	测量盖革—弥勒管的静寂时间.....	(397)
13. 3	计数统计法.....	(399)
13. 4	电离室.....	(400)
13. 5	材料中 β 粒子和 γ 射线的吸收.....	(402)
13. 6	空气中 α 粒子的射程.....	(404)
13. 7	β 粒子的反向散射.....	(406)
13. 8	钍射气的半衰期和放射性.....	(409)
13. 9	装配闪烁计数器.....	(410)

13.10	闪烁计数器与盖革—弥勒计数器的比较···	(411)
13.11	闪烁计数器 γ 射线能谱仪·····	(413)
13.12	中子实验·····	(414)
13.13	射线显迹法·····	(418)
附录:	基本常数; t 统计表·····	(419)

第一章 观测的误差

1.1 实验结果的讨论

举个例子。用迈克尔逊干涉仪测定一近单色光（第2.5节）的波长，现在来看看测定的结果。

三个学生测定钠灯发出的黄线波长（标称值为5893 Å），每人重复测十次，结果列在表1.1中。

表1.1 测定钠灯黄线波长 λ

学生(1)	与平均值	学生(2)	与平均值	学生(3)	与平均值
(Å)	的偏差	(Å)	的偏差	(Å)	的偏差
6002	+100	6200	+233	5897	-3
5933	+31	6124	+157	5852	-48
5826	-76	5700	-267	5983	+83
5846	-56	6008	+41	5977	+77
5862	-40	6072	+105	5920	+20
5906	+4	5858	-109	5903	+3
5916	+14	6038	+71	5906	+6
5873	-29	5886	-81	5870	-30
5932	+30	5964	-3	5836	-64
5923	+21	5822	-145	5851	-49
平均5902		5967		5900	

注：1 Å = 10^{-10} m = 10^{-1} nm

对这一波长的观测，三个学生都希望他们能给出 $5893\text{ \AA}$ 的观测平均值。但表1.1记录的测定值，总平均是 $5923\text{ \AA}$ ，有 $+0.51\%$ 的误差。这对大多数大学实验来说，已经很不错了。不过，从上边的测量中却提出了一些有意思的事情及问题：

(I) 总平均 $5923\text{ \AA}$ 比真值大出 $30\text{ \AA}$ 。这个误差可信吗？能说所用仪器有毛病吗？

(II) 三个学生的测量结果有明显差别吗？或者，当三个学生用的是一个粗糙的千分尺的不同部位时，其丝杠是否车得均匀？学生做实验时的操作情况及丝杠的均匀性，在一个时间足够长的实验中，是可以观察的。

(III) 学生(2)有一个测定值是 $5700\text{ \AA}$ ，与正确值差达 -4.7% 。这是不是由于观测错误造成的严重过失呢？这个测定值应予舍弃吗？最少的测量次数到底必须多少？舍弃某些(或全部)观测值的做法是对的还是不对的？这个问题必须加以讨论。

着重看看(III)提出的问题。另一个学生在十次测量中得到一个值 $6475\text{ \AA}$ ，因而要决定这个观测值应该保留还是舍弃。这个值可能表明所用仪器的不可靠，可能使平均值不合理地偏移。看来 $6475\text{ \AA}$ 这个值是个严重的过失。那么舍弃它就是合理的吗？如果某一个观测值可以舍弃，为什么其他观测值不可以舍弃？是否所有的测量全都不对？可以一直舍弃下去直到只剩下一个观测值。关键在于舍弃的标准，因为哪个观测值是正确的，对不同观测者有不同的看法。应该由统计学而不是个人的意见规定一个舍弃的必要判据，统计学同时给出一个反常观测值的出现概率。

幸好，在迈克尔逊干涉仪实验中，我们知道正确的结果。在大学生实验室以外的大多数实验中，正确的结果是不知道的，否则实验就没有必要做了。因此一个舍弃的判据必然成为主要的要求。

作为“尚无结论”的实验，有一条普遍规则：实验者应遵从一位杰出的生物学家的忠告：“珍视例外”，要承认例外的存在，要有一个舍弃的判据。这个问题的进一步讨论放在第1.4节及1.14节。

1.2 简单名词定义

(I) 平均值 对一个实验的若干个结果取平均，给出其平均值。例如， n 个测定值的记录为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ，则此 n 个测定值的平均值 $\bar{x}$ 是：

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

很重要的是，这些观测值的变动情况也要同时记载出来。因此实验者要能指出，其实验值是平均值（即 $\bar{x}$ ）加上或减去一个数，这个数表明随机误差引起观测值的变动情况。

变动情况最好用平均值的标准偏差 s_m 来表示，它的定义在第1.3节给出。实验的最后结果应表示成：

$$\bar{x} \pm s_m$$

这里 $\bar{x}$ 是平均值。

(II) 误差 误差有两种主要涵义。在真值知道时，它可以表示实验结果与真值之差。例如，对光速的精密测量给出一个值： $2.99793 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在一个颇为简单的学生实验

中，平均结果是 $3.05 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，误差便简单地表示为 $(3.05 - 2.99793) \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 5.207 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

有许多实验，真值是不知道的。误差或叫标准误差最好表示为 $\pm s_m$ ， s_m 是 n 次观测的平均值的标准偏差（见第1.3节）。

随机误差是指较小的实验上的或偶然的错误，它是由判断过失或不可控制的条件的缓慢起伏引起的。这类起伏的因素是很多的。

系统误差是恒定的误差，它使测量结果不正确，总朝同一方向差大致不变的数值。在阐明系统误差时要仔细。

（Ⅲ）概率 测得值可以小于或大于某一数值。

一般说，各次观测值对平均值 $\bar{x}$ 的偏离可用作图法得到一条高斯分布曲线（第1.12节），也叫正态分布。

如观测数 n 很大，就会得到高斯分布。但许多实验由于时间限制， n 不会很大。画出来的曲线会与高斯分布差很大。但是，只要观测次数适中，就可以假定为高斯分布并用它作为判断的准则。此分布的一个性质是68%的观测值在 $\bar{x}$ 和 $\bar{x} \pm s$ 之间，95%的观测值在 $\bar{x}$ 和 $\bar{x} \pm 2s$ 之间，这里 s 是标准偏差。

（Ⅳ）总体与抽样 当观测数十分巨大，理论上无限大时，就要涉及总体概念。实际上遇到的是抽样，其观测数是有限的。统计学的一个重要用处，是拿抽样值与确定的总体值比较，以检验一个抽样值的意义。

1.3 误差的计算

在迈克尔逊干涉仪实验中（第1.1节及2.5节），30人的平均误差可以认为是系统误差，不过眼下还不清楚。即便清