

学生物理实验

XUESHENGWULISHIYAN

上海教育出版社

学 生 物 理 实 验

〔美〕 J. 沃克 著

陈太先 黄源侗 睦 茂 译

上海教育出版社

Physics Investigations
Jay Walker
Amsco School Publications, Inc.
1973

学 生 物 理 实 验

〔美〕J. 沃克 著

陈太先 黄源偶 眭 茂 译

上海教育出版社出版

(上海永福路 123 号)

本书由上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 13.125 字数 287,000

1981 年 8 月第 1 版 1981 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—25,000 本

统一书号: 7150·2360 定价: 1.10 元

中译本前言

物理学是一门实验科学,物理学的理论、定律是人们通过实验、观察、研究而总结出来的。学习物理学的理论、定律也只有通过实验、观察、研究才懂得透、记得牢、用得上。

这本《学生物理实验》是美国中学的物理实验指导书。它从实验的精密度和准确度谈起,然后就力学、热学、声学、光学、电学和原子物理学,一共设计和安排了四十九个学生实验。它特别注意帮助学生掌握物理学的基础知识,培养学生基本的实验技能,提高学生分析问题和解决问题的能力。其中有些实验是我国中学物理教科书中已谈到的;有些是我国物理教科书中还没有讲到的;有的实验是专为解决难懂概念而设计的;有的实验设计得很别致,很生动,引人入胜。本书还有一个特点,就是所开列的实验用具,好些可以自己设计、自己制造,就是需要采购也比较容易办到,例如普朗克实验和汞光谱线实验都不采用贵重的摄谱仪或分光仪,而只用一个衍射光栅、两根米尺、一个感应圈、一个氢或汞光谱管……。这对于我国中学开展物理实验教学活动也是很有利的。

中译本根据原书 1973 年版本译出,基本上照原书全译,个别错漏的地方已加以补正。译文不妥或错误之处,敬请读者指正。

陈太先 黄源偶 睦 茂

一九七九年五月

序 言

《学生物理实验》是一本实验指导书，共包括 49 个实验，可供中学物理课一个学年之用。这本手册虽然是按照美国物理教学研究会改革中学物理课程的方针编写的，但也能够和任何现代中学物理课程配合使用。每一个实验都以理论为基础，同时谈到了实验操作和测量技术。近年来，一些类同的课题，如守恒定律和波粒二象性等编入了中学课程，给一般学生增加了学习难度。结果，使验证这些和另外一些课题的实验也增加了困难。《学生物理实验》为学习中学物理课的一般学生设计了一系列实验，借以解决这个问题。设计这些实验的要求是便于阅读，使学生比较容易理解。

每个实验都按下列方式方法安排：

1. 实验一开始就叙述目的，采用提出问题的形式讲清楚这个实验的性质。

2. 第二部分——你需要了解的知识——提供必要的背景知识，充实实验的意义，所提供的背景知识很充分，足以使学生无须再翻阅教科书。此外，提供的资料是用简洁明白的语言写出来的，使一般学生都能够理解。如有可能，就用简单的数学演算来总结一些重要的概念。背景资料要求配合实验，并且同实验方法一起，都安排在实际动手实验以前。这就使学生在开始操作实验之前，就作好了一切准备。分别编写在各个实验中的背景知识，实际上是现代中学物理学一个简单扼要的总复习，希望大家尽可以按照这个观点来使用这些

资料。

3. 接着就是实验器件这一节。这节开列一张器件清单,便于订购和准备实验器件及材料。学生在着手做实验以前,首先对照清单检查器件及材料,他们就熟悉了这些器件及材料,对首次看到这些东西的个别学生尤其需要。使用清单也能保证配备适用的器件设备,借以帮助实验顺利进行,避免浪费时间。

4. 学生一旦掌握了背景知识,他就可以着手学习实验方法。实验方法讨论的是实验的一般方法,并且根据实验的逻辑和细节作出一个全面的、灵活的纲要。懂得一个实验的方法会促进和鼓励学生去做好实验,还能使学生检查和解决随后实验中出现的問題。

5. 准备实验这一节,指导学生装配、布置实验器件,直到实际测量这个重要阶段。这个时候他就要校验他的仪表,并且发挥他们使用这些仪表的技能。

6. 在题为实验步骤这一节中,学生按照实验要求一步一步地进行实际测量。注意:这个时候不要做计算工作。只有这样,全部实验时间才都能用到测量上面,从而使每个实验能在两节实验课时间(60~70分钟)内完成。

7. 在求出解答这一节中,具体指导学生进行数学计算。如果时间允许,这些计算可以在实验室里做好,否则就回家去做。

8. 在你学到了什么这一节中,要复习每个实验中的一些突出的要点。每个实验的这一节中都精心设计好一些习题,全书共有500个这样的习题。同数学计算那样这些习题可以规定作为家庭作业。在任何情况下,学生通过回答这些习题,都要使他们提高解决疑难问题的能力,并要他们自己衡

量一下,取得了多大的进步。

9. 每一个实验都以进修作业这一节来作结束。这一节用以加深加广实验内容,鼓励富有科学头脑的学生进一步提高自己。

每个实验主要取决于测量结果。为了使得测量的意义更加明确,开始的三个实验就讨论了精密度与准确度。在以后的实验中,充分应用了精密度和准确度这些概念,这样就使学生能够更加深刻地理解自己的发现。

书中专门绘制了一百五十多幅插图,它们帮助学生领会文字说明,从而达到实验的预期目的。

大量地使用表格,有助于学生把注意力集中到实验的主要点上来。

著者感谢那些对本书提出意见和批评的教师,特别感谢原纽约林山中学物理学教师 H. 波莱克和 A. 莱扎鲁斯。在计划本书的阶段,感谢林山中学物理教师 S. 狄蒙德和 S. 海斯契曼的帮助。最后,著者衷心感谢他的家人,特别是他的女儿洛莉的耐心帮助和热情鼓励。

目 录

实验

1. 精密度和有效数字.....	1
2. 长度测量的精密度	11
3. 测量中的准确度: 液体和固体的质量密度	21
4. 时间的测量	29
5. 平衡中的共点力	37
6. 力的分解	45
7. 力对弹簧长度的作用	53
8. 加速运动	60
9. 抛体运动	66
10. 动力学	72
11. 惯性质量和引力质量	79
12. 测量重力加速度	88
13. 单摆	96
14. 圆周运动.....	102
15. 冲量和动量.....	109
16. 动量守恒.....	116
17. 功、能和斜面	124
18. 势能的转化.....	134
19. 一个分子的长度.....	142
20. 估算绝对零度.....	150
21. 比热.....	155

22. 熔解热	163
23. 相变的冷却曲线	170
24. 水波的性质和速率	176
25. 波的反射	186
26. 波的折射	195
27. 水波的衍射	202
28. 水波的干涉图样	210
29. 空气中声音的波长和速率	219
30. 光的反射	227
31. 玻璃的折射率	237
32. 薄凸透镜成像	245
33. 光在水中的速率	255
34. 光的偏振	262
35. 静电排斥力	274
36. 电子的电荷	282
37. 电荷守恒	290
38. 电路中电压的分配	301
39. 欧姆定律	309
40. 热电当量	319
41. 磁场图形	327
42. 一条载流导线周围的磁场	334
43. 载流线圈的磁场	341
44. 感应电动势	349
45. 磁铁的磁极强度	360
46. 普朗克实验	369
47. 放射性强度和放射源距离的关系	379
48. β 粒子的吸收	390

49. 汞的光谱线	398
-----------------	-----

附录

米制长度单位	407
米制质量单位	407
时间单位	407
容积的米制单位	407
质量密度	408
汞光谱的主要线谱	408
物理常数	408
绝对折射率	409
热学常数	409
质量用克为单位与用牛顿为单位的换算图	410

精密度和有效数字

目的: 了解测量中有效数字的位数与测量的精密度之间的关系。

你需要了解的知识

英国著名物理学家凯尔文说过:“我常常说,对于你所谈论到的,当你能够测量它并用数量表达的时候,那就可以说你对它有所了解。反过来说,如果你不能用数量表示它,你的知识就是贫乏的和不完全的”。物理学可以认为是一门测量的科学。

测量一个物理量必须使用测量仪器。各种测量都会涉及到两个基本概念:精密度和准确度。精密度指对同一样品的一系列测量值和它的测量的平均值相接近的程度。因此,测量精密度反映测量的可复现性。记下的一个测量值的有效数字的位数,就表明这个测量的精密程度。本实验就讨论精密度与有效数字。准确度指一个测量值和它的标准值、或公认值相接近的程度。准确度问题将在实验 3 中讨论。

在实验室里做一个测量要怎样才能做得精密,要搞清这一问题你必须知道:(1)哪些因素影响实验仪器的精密度,(2)怎样使用仪器才能达到最大的精密度,(3)有效数字怎样反映精密的程度。

一个仪器,假定使用正确,那末它的精密度,就仅仅取决于仪器本身。例如一根米尺,刻度是厘米,用它进行测量,可

以测量到厘米, 并且估计到 0.1 厘米。假如刻度精确到毫米 (即 0.1 厘米), 那末这根米尺的精密程度就可以达到 0.01 厘米。在相同条件下使用几件仪器来进行测量时, 标尺刻度分得最细的那件仪器, 得出来的结果最精密。随着仪器精密度的提高, 测量之间的偏差越来越小, 从而使各次测量变得更加接近。

用任何测量设备获得的精密程度, 可用有效数字来表示。

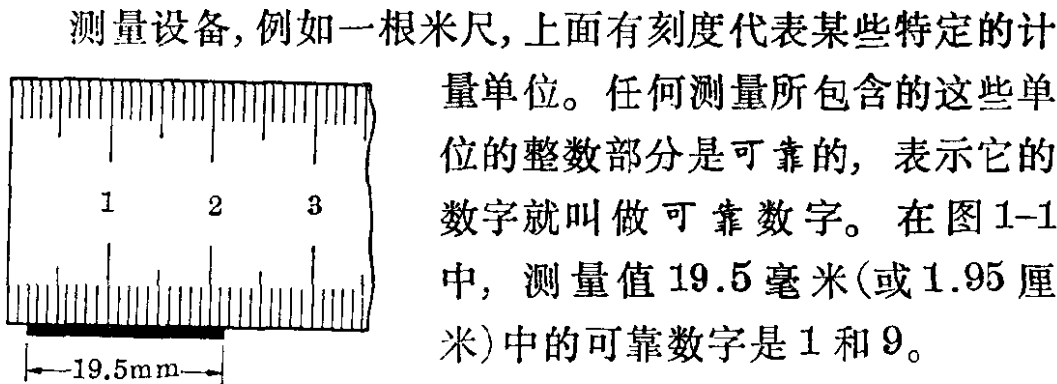


图 1-1 确定一次测量的有效数字

任何测量中, 从最小刻度内测得的分数部分, 只是一个估计值, 因此把它看作一个可疑数字。在图 1-1 中, 5 是可疑数字, 因为尺的最小刻度是毫米, 而它是 1 毫米的分数。所以每一个测量值都包含若干可靠数字和一个可疑数字。写在可疑数字之后的任何数字都是没有意义的。倘若没有意义的数字是小数, 那就不要记录。如果它不是小数, 则记为 0*。在测量所得 19.5 毫米中, 有效数字是 1、9 和 5, 于是我们说这根尺精密到三位有效数字。假若尺的最小刻度是厘米, 则测量精密密度要降低到只有两位有效数字, 测量结果应写为 2.0 厘米。

* 一般是用 10 的 n 次幂来表示。如 12300 毫米中 2 是可疑数字, 则表示为 1.2×10^4 毫米。——译者注

实验器件

- | | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------|
| ☐ 四刻度米尺(要照后面“准备实验”一节所讲的预先准备好) | ☐ 克 | ☐ 放大镜 |
| ☐ 三梁天平(照“准备实验”一节所讲的预先准备好) | ☐ 钢笔 | ☐ 铅笔 |
| ☐ 长方形木块(质量小于 500 | ☐ 铅 | ☐ 两张绘图纸 |
-

实验方法

对一给定长度,用刻有四种不同刻度的米尺进行测量,记下四组测量值。每组测量都会比它前一组有较高的精密度。这些结果要用有效数字表示出来。接着,再用三梁天平上的四种不同刻度尺,对同一质量进行测量,记下四组测量值。在记录这些数据时,也要用有效数字的位数,表达测量的精密度。

准备实验

在本实验中,米尺与三梁天平都必须具有四种不同的刻度。如果这两种仪器没有四种刻度,就照下列方法作好准备。

A. 四刻度米尺

把没有画线的白纸条贴在米尺的英制刻度上及两侧边上。如图 1-2a 所示,在贴好纸条的英制刻度这一面,不要划分刻度,只写上“1 米”的标记。如图 1-2b 所示,在这根尺的一个侧边用铅笔画上十个分米刻度。然后,如图 1-2c 所示,对尺的另一侧边,把它画上厘米刻度。最后,如图 1-2d 所示,对这条米尺留下来的第四面,不要贴纸条,保留其原有毫米刻度。

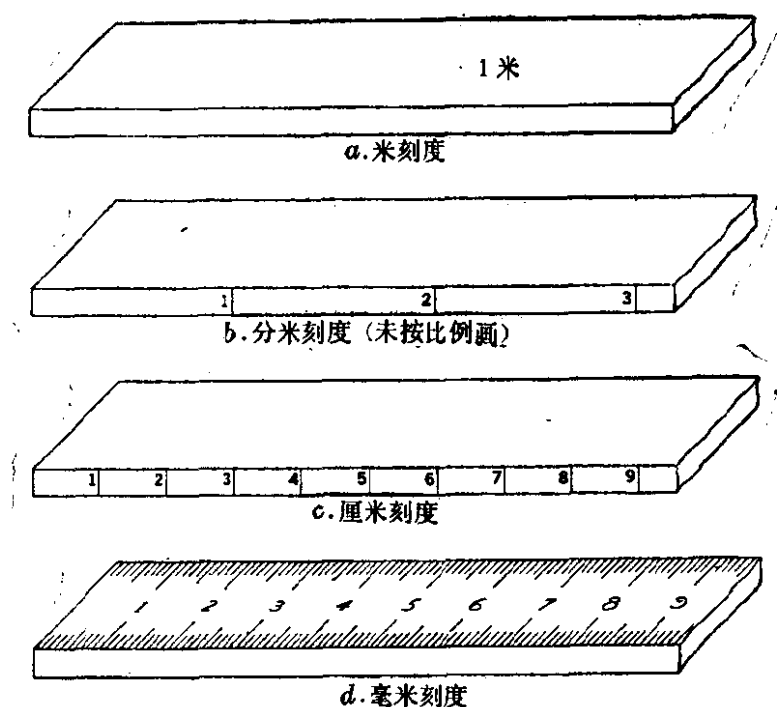


图 1-2 四种刻度的米尺

B. 三梁天平

图 1-3a 是一台有三根梁(臂)的天平。三梁天平的前梁(臂)顶边, 必须用细笔尖画出整克的刻度, 如图 1-3b 所示。以后要用到这些刻度线。

在使用三梁天平前, 检查托盘, 务使清洁。三根梁上各有一个砝码(滑块)。注意: 中梁和后梁上各有几个槽口, 砝码必须挂在槽口里。前梁砝码可以挂在梁的任何位置上。把所有砝码移到每个刻度尺左端零刻度上。检查指针是否指零。如果不指零, 就移动天平上有滚花边的零点调整螺母, 使指针指零。调整时不必等指针停止摆动。当指针在偏转表尺中心刻线上下摆动相等的刻度时, 则梁已算平衡, 或指零了。

使用三梁天平测量质量的方法如下: 打开天平锁。在天平已调好零点后, 把未知质量的木块放在托盘上。中梁槽口读数是 100 克的整倍数。轻轻地将中梁砝码向右边一个槽口

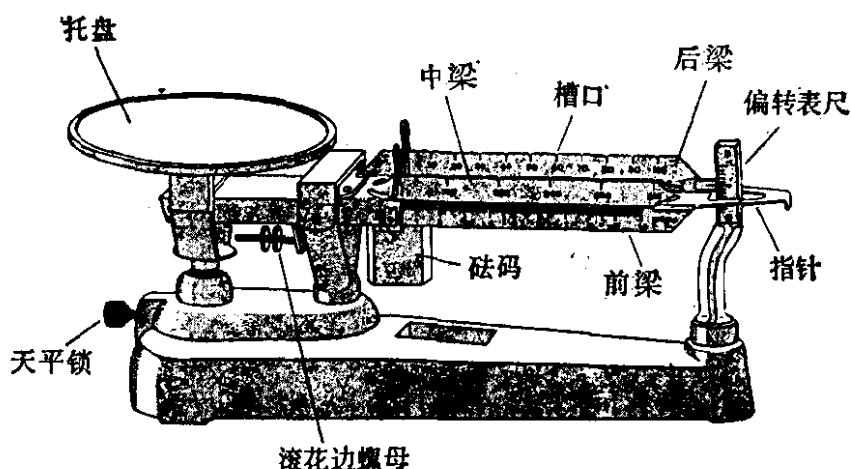


图 1-3a 三梁天平

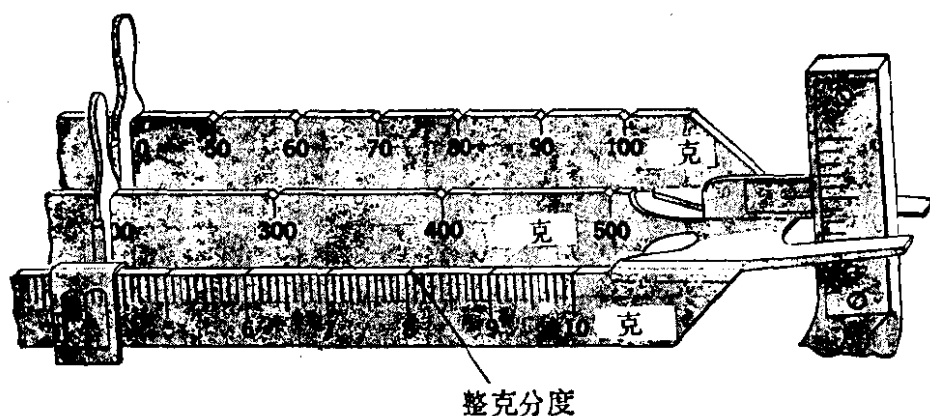


图 1-3b 三梁天平的三个臂;在前梁的顶边画出克分度

一个槽口地移动，直到梁臂下垂；然后将砝码向左移一个槽口。按照这个调整法，再把后梁砝码进行调整，后梁槽口刻度读数是 10 克的整倍数。最后，沿前梁移动前梁砝码（梁上刻度是克和十分之一克两种），直到前梁（臂）摆动平衡为止。前梁砝码所在位置的读数，必须估计到百分之一克。把三梁上的读数加起来，所得的总和就是木块的质量。测量完毕，把砝码移到零点，拿开木块，锁好天平。

实验步骤

A. 精密测量长度

1. 在桌上放一张练习簿纸，用没有刻度的米尺（已标记

“1”米), 对这张纸的宽度作三次测量。读数应估计到 1 米的十分之一。这个读数只是由一个数字组成。用铅笔把这个估计数字记录在表 1-1 中。用铅笔记录, 表示这个数字代表可疑的测量。再用厘米为单位记录相应的测量值。例如, 你对纸的宽度估计值若为 0.2 米, 那就只须用铅笔把它改写成 20 厘米, 填写在表 1-1 第二栏中。随后在任何一次测试中, 假若你相信这次测量不同于以前的测量, 也按照这种方法作记录。

表 1-1

	米 刻 度		分 米 刻 度		厘米刻度	毫米刻度	
	(米)	(厘米)	(分米)	(厘米)	厘 米	(毫米)	(厘米)
测试 1							
测试 2							
测试 3							
总 和							
平 均							

注意: 实验的时间很宝贵, 必须用来操作, 用来完成实验。在没有得出整个实验所有数据时, 不要急于计算总和与平均值。

2. 用米尺的分米刻度(十分之一米), 照步骤 1 对同一张纸的宽度测量三次, 用分米和厘米为单位记录这些读数。(例如, 若一个读数看来是 3 个分米刻度和第 4 个分米刻度的十分之四, 这个测量值就记作 3.4 分米和 34 厘米。)测量中分米的整倍数部分是可靠的, 用钢笔把它记录下来。这样来记下你确信的数字。测量中 1 分米的几分之几的那个部分是估计

出来的。用铅笔记录,表明它是可疑的。

3. 用米尺的厘米刻度,测量并记录纸的宽度三次。估计到厘米的十分之一。

4. 用米尺的毫米刻度,测量并记录纸的宽度三次。可疑数字(用铅笔记录)是毫米的十分之几, 用一个放大镜读出。以毫米和厘米为单位,记录这个读数。

B. 精密测量质量

1. 在这一步骤中,只须使用中梁砝码。其他两个砝码应放在它们各自的零点位置上。把木块放在托盘中。中梁上槽口读数是 100 克的整倍数。移动中梁砝码,使臂平衡。要做到这点,可能要把中梁的砝码放在两个槽口之间。但只有在这个步骤中,才可以不顾槽口,把砝码放在它们中间。因为槽口和槽口之间没有刻线,你就要作某些估计。用钢笔记录可靠的百位数字,用铅笔记录可疑的十位和个位数字。个位数写成 0。把砝码放回零点。重复测量三次,以求总和。在表 1-2 中,用克与千克为单位,记录所有这些读数。

表 1-2

	中 梁		中梁和后梁		三梁全用 站在天平后		三梁全用 站在天平前	
	(克)	(千克)	(克)	(千克)	(克)	(千克)	(克)	(千克)
测试 1								
测试 2								
测试 3								
总 和								
平 均								