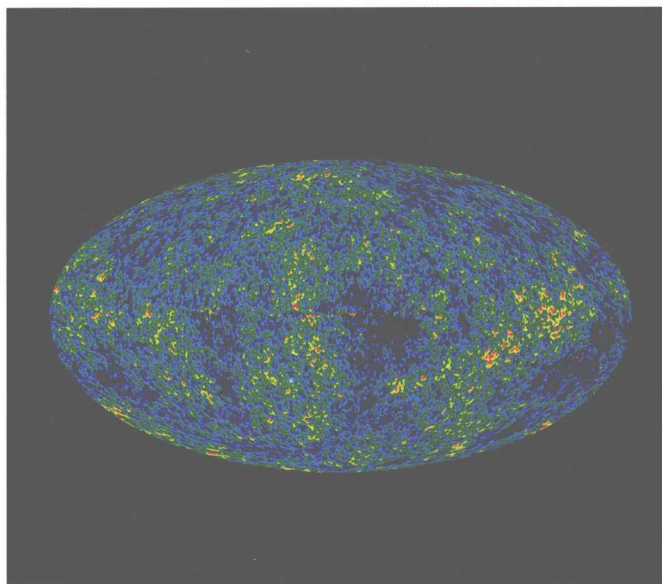
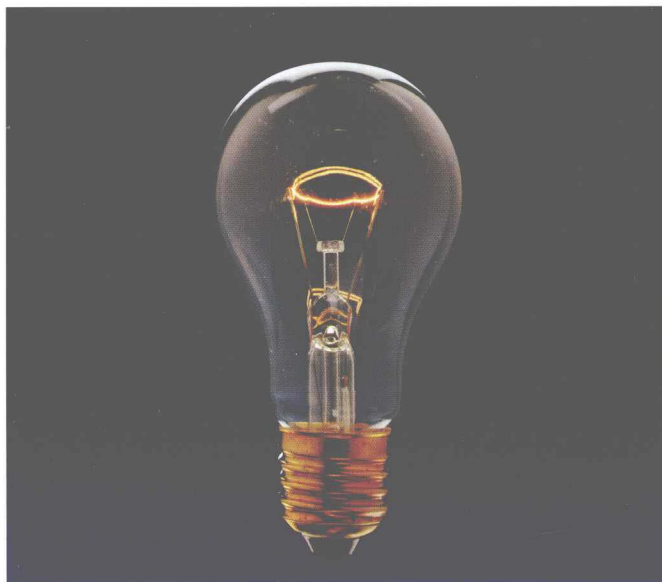
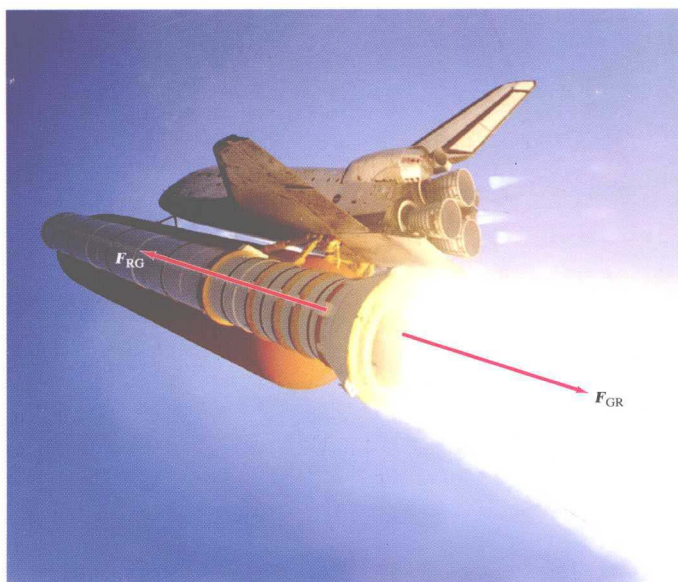


PEARSON

大学物理 (上)

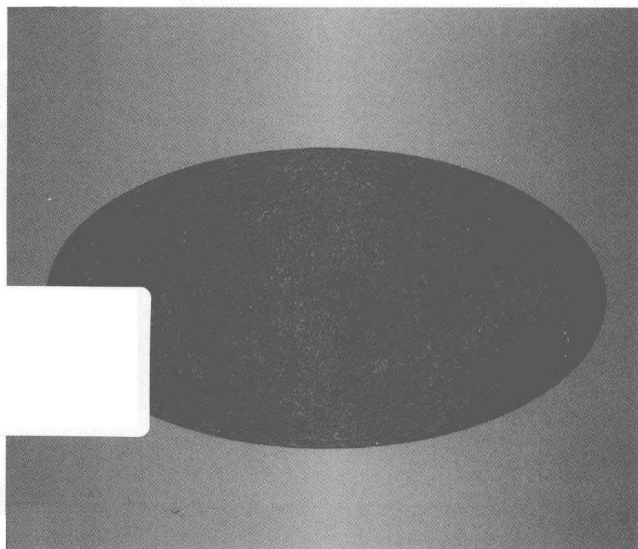
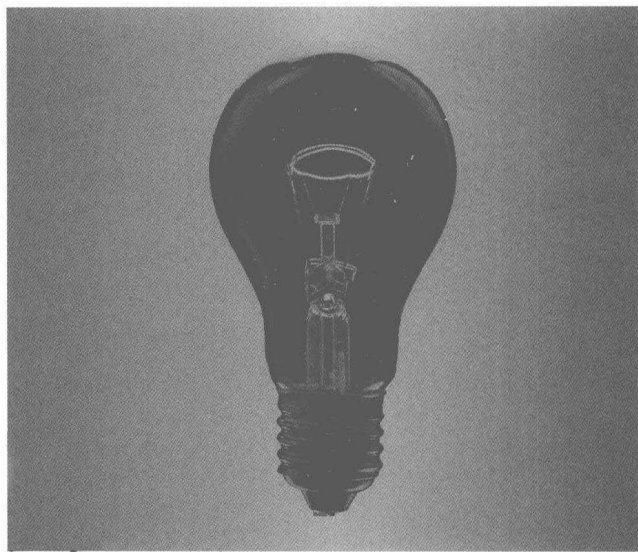
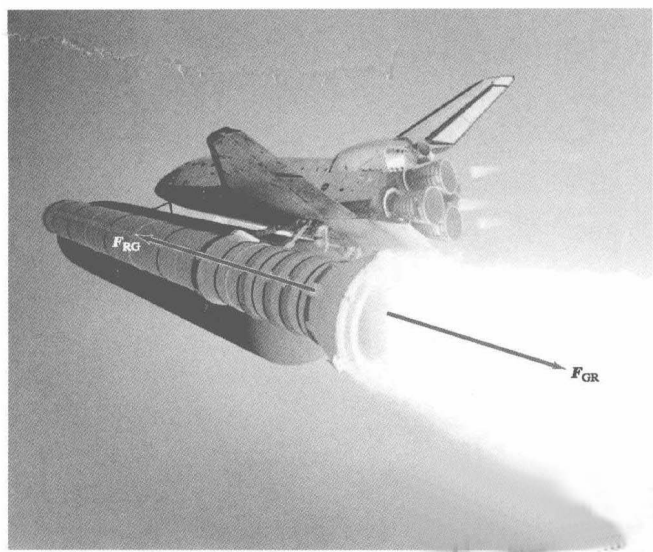
[美] 詹科利 (Giancoli, D.C.) 著
东华大学物理教研室 译



东华大学出版社

大学物理 (上)

[美] 詹科利 (Giancoli, D.C.) 著
东华大学物理教研室 译



图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理 (上) / [美] 詹科利 (Giancoli, D. C.) 著; 东华大学物理教研室译. —上海: 东华大学出版社, 2015. 3

ISBN 978-7-5669-0733-2

I. ①大… II. ①詹…②东… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 028723 号

Authorized translation from the English language edition, entitled PHYSICS FOR SCIENTISTS & ENGINEERS WITH MODERN PHYSICS, 4E, 9780131495081 by GIANCOLI, DOUGLAS C., published by Pearson Education, Inc, Copyright © 2008 [Publisher shall herein insert the name of the copyright holder of the English version of the Work; Publisher shall refer to the copyright notice page of the English version of the Work to determine such name].

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and DONGHUA UNIVERSITY PRESS Copyright © [Publisher shall herein insert the Year of Publication].

合同登记号: 中图字 09-2015-053

本书中文简体字版由培生教育出版公司授权东华大学出版社有限公司合作出版, 未经出版者书面许可, 不得以任何形式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

责任编辑: 竺海娟

封面设计: 程智慧

大学物理(上)

著者: [美] 詹科利 (Giancoli, D. C.)

译者: 东华大学物理教研室

出版: 东华大学出版社 (上海市延安西路 1882 号 邮政编码: 200051)

本社网址: <http://www.dhupress.net>

天猫旗舰店: <http://dhdx.tmall.com>

营销中心: 021-62193056 62373056 62379558

印刷: 常熟大宏印刷有限公司

开本: 889 mm × 1194 mm 1/16

印张: 22.75

字数: 800 千字

版次: 2015 年 3 月第 1 版

印次: 2015 年 3 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978-7-5669-0733-2/O · 019

定价: 58.00 元

前 言

《Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics》是一套特色和风格原汁原味的美国大学物理课程的教材。全书内容深浅适当，注重物理理论与现实生活的结合及物理在工程技术中的应用，注重启发学生思考，激发学生自主学习的热情。国外很多名校将此书用作物理教材。作者 Douglas C. Giancoli 是美国加州大学伯克利分校的教授，撰写了很多和大学物理学相关的书籍，对物理学有很宽泛的认识，其编著的书籍受到了读者的一致好评。

在体系结构上，全书设计合理，对概念原理的阐述科学、准确，能使学生更好地把握物理学的体系，形成科学、准确的物理概念和良好的知识链；在行文上，全书语言通俗、平易、生动，适合于学生阅读、理解和掌握；在选材上，全书精选了大量极具趣味性的照片和精美的作图，图文并茂，令人耳目一新，能使学生在赏心悦目中愉快地学习。全书把丰富的物理知识融入鲜活的生活实际中，举例生动，能充分满足学生的求知欲和好奇心，激发学生的学习兴趣；在讲述方法上，全书通过引入开篇问题、建立概念例题、指导解题思路、给出复习和小结的方式，不仅在生动有趣的学习环境中让学生知道学习了什么，而且还通过这种方式教会学生怎样学习，使其掌握科学的学习方法。此外，全书在习题的编排上做了更细节化的处理，将习题按难易分为 I、II、III 类；按内容分为思考题、习题和综合性习题，对不同层次的同学都有指导的意义。

《大学物理》是原版书（第四版）的译本，在保持原著的风格和体系的基础上，参照教育部非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会 2010 年制订的《大学物理课程教学基本要求》，结合国内大学物理教学的内容，对原著的部分章节和习题做了合理的取舍。共分上、下两册，本书为上册部分。

本书的内容主要包括运动学（测量、物体的运动），动力学（牛顿定律、万有引力定律、动能定理、能量守恒定律、动量和角动量），流体力学，波动和振动，声学，热力学（热力学定律），以及气体的运动理论，电磁学（电荷和电场、高斯定理、电势、磁场、电磁感应、麦克斯韦方程组），波动光学（干涉、衍射和偏振），狭义相对论，早期量子理论和原子模型、量子力学等。本书全面地概括了物理学的各分支，可作为高等学校理工科类专业学生的大学物理教材，也可供相关技术人员参考，或作为高等职业技术学校学生的教材。

本书由东华大学理学院物理系大学物理教研室负责翻译，参加翻译的老师有张菁（第 1 章）、郭颖（第 2 章）、王春瑞（第 3 章）、姜萌（第 4 章）、邢怀中（第 5 章）、陆爱江（第 6 章）、黄晓江（第 7 章）、钟方川（第 8 章）、石建军（第 9 章）、施芸城（第 10 章）、杨馥（第 11 章）、薛绍林（第 12 章）、郭英（第 13 章）、何国兴（第 14 章）、卢洪伟（第 15 章）、浦天舒（第 16 章）、徐晓峰（第 17 章）、蔡旭初（第 18 章）、伍滨和（第 19 章）、李博（第 20 章）、张晓东（第 21 章）、唐晓亮（第 22 章），徐金洲（第 23 章）、何波（第 24 章）、梁源（第 25 章）、詹亚歌（第 26 章）；赵莉娟（第 27 章）、鲍云（第 28 章）、丁可（第 29 章）、钟平（第 30 章）、吴华（第 31 章）、杨沁玉（第 32 章）、查学军（第 33 章）。1~6 章由陆爱江统稿；7~12 章由丁可统稿；13~18，29~30 章由李博统稿；19~25 章由伍滨和统稿；26~33 章由吴华统稿。

由于中英文水平的局限，本书可能存在不少缺点甚至错误，竭诚欢迎广大读者批评和指正。

目 录

- 第 1 章 引言 测量 估算 / 1
 - 1-1 科学的本质 / 2
 - 1-2 模型、理论与定律 / 2
 - 1-3 测量与误差 有效数字 / 3
 - 1-4 单位 标准与 SI 制 / 5
 - 1-5 单位转换 / 7
 - 1-6 数量级 快速估值 / 8
 - * 1-7 量纲和量纲分析 / 11
- 第 2 章 运动的描述 一维运动 / 16
 - 2-1 参考系和位移 / 17
 - 2-2 平均速度 / 18
 - 2-3 瞬时速度 / 19
 - 2-4 加速度 / 21
 - 2-5 匀加速运动 / 25
 - 2-6 解决问题 / 27
 - 2-7 自由落体 / 31
 - * 2-8 变加速度: 积分 / 36
 - * 2-9 图形分析和数值积分 / 37
- 第 3 章 二维或三维中的动力学 矢量 / 50
 - 3-1 矢量和标量 / 51
 - 3-2 矢量加法——图示法 / 51
 - 3-3 矢量减法 标量和矢量相乘 / 53
 - 3-4 利用矢量分量求合矢量 / 53
 - 3-5 单位矢量 / 56
 - 3-6 矢量运动学 / 57
 - 3-7 抛体运动 / 59
 - 3-8 解决与抛体运动相关的问题 / 61
 - 3-9 相对速度 / 67
- 第 4 章 动力学 牛顿运动定律 / 75
 - 4-1 力 / 76
 - 4-2 牛顿第一定律 / 76
 - 4-3 质量 / 78
 - 4-4 牛顿第二定律 / 78
 - 4-5 牛顿第三定律 / 81
 - 4-6 重量——重力、正压力 / 84
 - 4-7 牛顿定律的应用: 隔离体受力图 / 87
 - 4-8 解决问题——常规方法 / 93
- 第 5 章 牛顿定律的应用
摩擦力 圆周运动 阻力 / 100
 - 5-1 涉及摩擦力的牛顿定律应用 / 101
 - 5-2 匀速圆周运动——运动学 / 107
 - 5-3 匀速圆周运动的动力学 / 110
 - 5-4 公路弯道: 倾斜转弯和不倾斜转弯 / 113
 - * 5-5 非匀速圆周运动 / 115
 - * 5-6 和速度相关的力: 黏滞力和终极速度 / 116
- 第 6 章 万有引力和牛顿体系 / 124
 - 6-1 牛顿万有引力定律 / 124
 - 6-2 牛顿万有引力定律的矢量形式 / 128
 - 6-3 近地球表面的引力 地球物理应用举例 / 128
 - 6-4 卫星和“失重” / 130
 - 6-5 开普勒定律和牛顿体系 / 133
 - * 6-6 引力场 / 137
 - 6-7 自然界存在的各种力 / 138
- 第 7 章 功和能 / 146
 - 7-1 恒力做功 / 147
 - 7-2 两个矢量的标量积 / 150
 - 7-3 变力做功 / 151
 - 7-4 动能和动能定理 / 154
- 第 8 章 能量守恒 / 162
 - 8-1 保守力和非保守力 / 163
 - 8-2 势能 / 164
 - 8-3 机械能及其守恒 / 168
 - 8-4 利用机械能守恒求解问题 / 169
 - 8-5 能量守恒定律 / 174
 - 8-6 耗散力下的能量守恒: 求解问题 / 175

- 8-7 万有引力势能和逃逸速度 / 177
- 8-8 功率 / 179
- * 8-9 势能图 稳定和非稳定平衡 / 182

第9章 动量 / 189

- 9-1 动量和对应的力 / 190
- 9-2 动量守恒 / 191
- 9-3 碰撞和冲量 / 195
- 9-4 碰撞中的能量和动量守恒 / 196
- 9-5 一维弹性碰撞 / 197
- 9-6 非弹性碰撞 / 200
- 9-7 二维或三维碰撞 / 201
- 9-8 质心 / 204
- 9-9 质心和平动 / 208
- * 9-10 变质量系统 火箭推进 / 210

第10章 转动 / 217

- 10-1 角量 / 218
- 10-2 角量的矢量性 / 223
- 10-3 恒定角加速度 / 223
- 10-4 力矩 / 224
- 10-5 转动动力学 力矩和转动惯量 / 226
- 10-6 转动动力学问题求解 / 229
- 10-7 确定转动惯量 / 231
- 10-8 转动动能 / 233
- * 10-9 转动加上平动 滚动 / 235
- * 10-10 为什么滚动的球会慢下来? / 242

第11章 角动量 一般转动 / 246

- 11-1 物体定轴转动的角动量 / 247
- 11-2 矢量叉积 力矩矢量 / 251
- 11-3 质点的角动量 / 252
- 11-4 质点系的角动量和转动力矩; 一般运动 / 253
- 11-5 刚体的角动量和力矩 / 255
- 11-6 角动量守恒 / 258

第12章 静态平衡 弹性与断裂 / 265

- 12-1 平衡条件 / 266

- 12-2 静力学问题求解 / 267
- 12-3 稳定与平衡 / 272
- 12-4 弹性; 应力和应变 / 273
- 12-5 断裂 / 276

第13章 流体 / 283

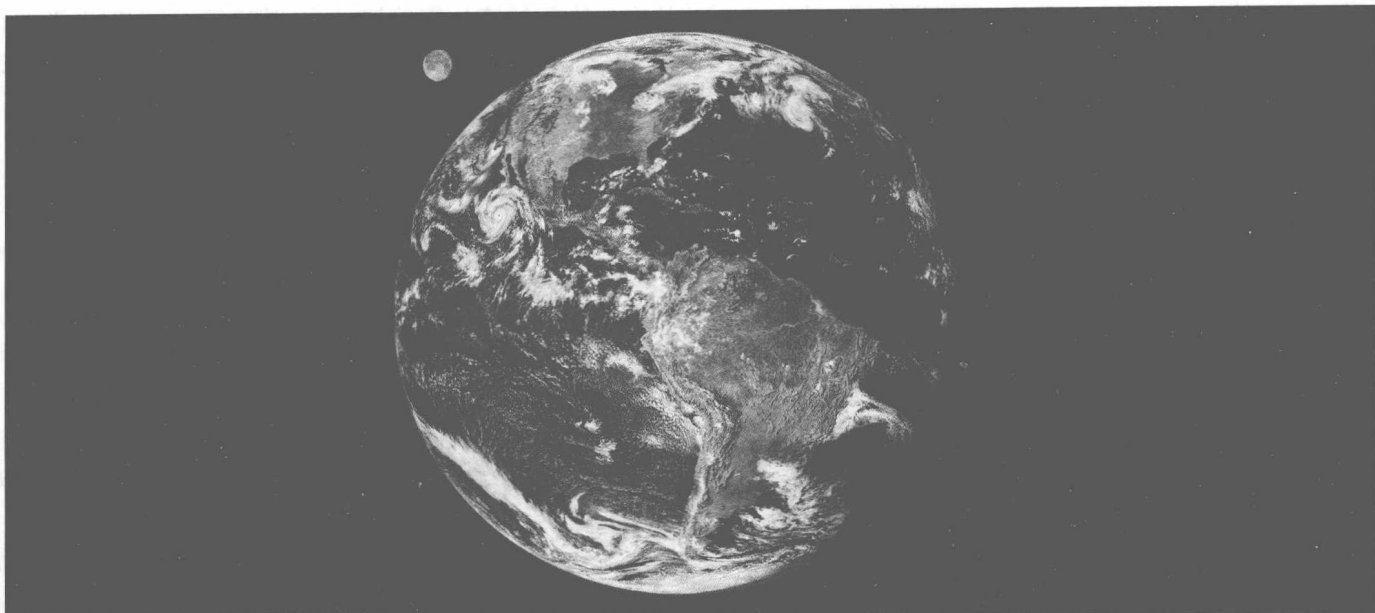
- 13-1 物质的相 / 284
- 13-2 密度和比重 / 284
- 13-3 流体压强 / 285
- 13-4 大气压和表压 / 289
- 13-5 帕斯卡原理 / 289
- 13-6 压力的测量 测量仪和气压计 / 290
- 13-7 浮力和阿基米德原理 / 292
- 13-8 流体的运动, 流量和连续性方程 / 296
- 13-9 伯努利方程 / 298

第14章 振动 / 306

- 14-1 弹簧的振动 / 307
- 14-2 简谐振动 / 309
- 14-3 简谐振动的能量 / 314
- 14-4 简谐振动与匀速圆周运动的关系 / 316
- 14-5 单摆 / 316
- * 14-6 复摆和扭摆 / 318
- 14-7 阻尼谐运动 / 319
- 14-8 受迫振动与共振 / 321

第15章 波动 / 330

- 15-1 波动的特征 / 331
- 15-2 波的种类: 横波和纵波 / 332
- 15-3 波的能量 / 336
- 15-4 行波的数学表示 / 338
- * 15-5 波动方程 / 341
- 15-6 波的叠加原理 / 342
- 15-7 波的反射与传播 / 343
- 15-8 波的干涉 / 345
- 15-9 驻波 / 346
- * 15-10 波的折射 / 349
- * 15-11 波的衍射 / 350



第 1 章 引言 测量 估算

开篇问题——请猜一猜！

如果你不想听信于人，而是想自己粗略地测量一下地球的半径，你会使用以下哪种方式？

- (a) 放弃这种想法，因为普通方法不可能测量。
- (b) 使用超长的卷尺。
- (c) 飞到足够高的地方去观察，地球的实际曲率。
- (d) 使用一把卷尺、一架梯子以及一个平静的湖面。
- (e) 用激光以及装在月球或者卫星上的镜子。

本书中每一章我们都将以一个问题开始，如上所示。请立即回答，不用担心正确与否，目的就是让读者按直觉来回答，通过本章的学习，可以帮助澄清概念。随着本章阅读的进一步深入，你将有机会再次回答这个问题。这些开篇问题将帮助你更好地了解物理的重要性与实用性。

物理是科学的基础，是以物质世界的规律和结构为研究对象。物理学可粗分为经典物理和现代物理，经典物理包括运动学、流体、声、光、热、电以及磁学；现代物理则包括相对论、原子结构、凝聚态物质、核物理、基本粒子、宇宙学以及天体物理学。本书将介绍以上所有内容，从运动学（经典力学）开始直至我们在宇宙学上的最新发现。

物理知识对于科技工作者来说至关重要。比如说，工程师必须懂得如何计算结构的内部应力才能进行设计以确保其长久屹立（见图 1-1a）。在第 12 章我

目录

- 1-1 科学的本质
- 1-2 模型、理论与定律
- 1-3 测量与误差 有效数字
- 1-4 单位 标准与 SI 制
- 1-5 单位转换
- 1-6 数量级 快速估值
- * 1-7 量纲和量纲分析

们将介绍一个行之有效的有关物理计算的简单例子——甚至凭对物理力学知识的直觉——拯救数以百计的生命（见图 1-16）。总之，本书提供了很多例子，说明物理在各行各业和日常生活中很有用处。

1-1 科学的本质

所有科学学科包括物理的根本目标，是探寻物质世界的基本规律。许多人认为，科学学科只是机械地收集事实和推导理论。实际上可没那么简单。科学作为一项创造性活动，在许多方面与人类其他创造性活动类似。

科学学科的一个重要方面是对现象的观察（**observation**），其中包括设计及进行实验。观察和实验需要想象力，科学家们永远也无法完完全全地描述他们所观察到的现象。也就是说，科学家们必须判断哪些现象才与他们的观察和实验相关。

我们来看看两个伟大的学者亚里士多德（公元前 384—322 年）和伽利略（1564—1642 年）是如何解释平面运动的。亚里士多德认为，给予物体一个初始力之后，这个物体总是作减速运动，直至最后停止下来。由此，亚里士多德认为静止是物体的自然状态。17 世纪伽利略在再次观察物体平面运动时认为，假设摩擦可以排除，得到了初始推力的物体将沿平面继续无期限地运动，运动中的物体保持运动也是一种自然状态，就像保持静止状态一样。凭借这新的思路，伽利略奠定了现代的运动学（第 2, 3, 4 章），他成功地借助了想象力的翅膀，在没有实际消除摩擦的情况下实现了概念上的飞跃。

科学研究的一个方面指导观察，包括细心的实验与测量；科学研究的另一个方面是发明或新的理论的提示，用于解释和观察。理论决不会直接从观察中推导出来，观察有助于激励理论的产生，理论能否被接受取决于观察和实验结果的验证。

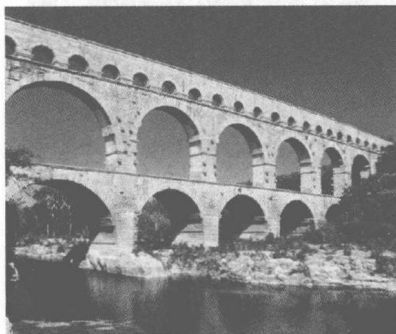
作为创造性的人类成就，伟大的科学理论可与伟大的艺术或文学作品相媲美。而科学与其他创造性活动的不同之处在哪里呢？一个重要的区别在于，科学思想或理论需要**验证（testing）**，这些想法和理论是否正确要看是否可以由实验加以证实。

虽然理论验证将科学区别于其他创造性活动，但不应认为理论是验证“证明”出来的。首先，没有一个测量仪器是完美的，所以精确的验证是不可能的。此外，也不可能用实验来验证理论的每一个可能情况。综上所述，理论不可能被绝对的证实。事实上，科学史告诉我们，长期认可的旧理论完全有可能被新的理论取代。

1-2 模型、理论和定律

当科学家们试图了解一组特定的现象时，往往使用**模型（model）**。科学意义的模型是以我们熟悉的术语，对现象进行的类比或心理想象。比如光的波动模型，虽然光波是不可见的，但是水波确是可见的。由于实验表明光的特性在很多方面像水波一样，因此将光想象成具有波动性是很有价值的模型。

当我们看不到实际发生了什么的时候，建立模型的目的是建立近似的心理或视觉的图像——一种我们可以把握的东西。模型往往能帮助我们理解得更深刻：与已知系统的类比（例如上面示例中的水波）可以提供实验的新方法，并



(a)



(b)

图 1-1 (a) 建于 2000 年前的罗马引水渠，迄今屹立不倒；(b) 1978 年坍塌的 Hartford 市政中心，建好仅两年。

了解其他相关现象发生的可能性。

你可能不知道理论和模型之间有什么区别。模型通常相对简单，与研究现象结构相似。**理论 (theory)** 的适用性更广、更详细，并能给予定量的、往往非常精确的、可以验证的预测。

然而重要的是，不要将模型或理论与现实系统或现象本身相混淆。

定律 (law) 是科学家用简单明了地描述自然界行为的术语（例如能量守恒定律）。有时候采用物理量之间关系或公式的形式（如牛顿第二定律 $F = ma$ ）。

作为定律，必须得到广泛实验验证，否则只能称作**原理 (principle)**，比如阿基米德原理。

科学定律不同于政治法律，后者是约束性的：告诉我们该怎样做。科学定律是描述性的：不是描述自然规律应该怎样，而是描述自然规律是怎样。与理论一样，定律不可能经过无穷次的验证，所以我们也不能确保任何定律是绝对正确的。只有当其有效性已经得到广泛验证，并且其有限性和有效范围也清楚的情况下，我们才能使用定律这个术语。

虽然科学家们进行研究时通常认可定律和理论的真实性，一旦新的信息有可能质疑到既定的定律或理论时，他们有责任保持开放的心态，改变任何已知定律或理论的有效性。

1-3 测量和误差 有效数字

在探索了解我们的周围世界时，科学家们设法寻求可以测量的物理量之间的关系。

误差

可靠的测量是物理学的重要组成部分，但没有一个测量是绝对精确的。每次测量都有误差，最重要的误差来源不是粗心，而是每个测量仪器有限的准确性以及无法读取超出最小刻度的部分。例如，如果你要使用米尺来测量一块板的宽度（图 1-2），其结果可以精确到米尺的最小刻度 0.1 cm (1 mm) 左右，虽然这个值的一半也可以是有效的。原因是观察者很难在最小刻度之间进行估值，此外，米尺本身的制造精度可能不比这更好。

给出测量结果时，给出测量误差非常重要。例如，板的宽度可写为 (8.8 ± 0.1) cm，这 ± 0.1 cm 表示测量中的**估计误差 (estimated uncertainty)**，实际宽度可能在 8.7 和 8.9 cm 之间。**百分误差 (percent uncertainty)** 是误差和测量值的比率乘以 100%。例如，测量值是 8.8 cm，误差约 0.1 cm，百分误差是：

$$\frac{0.1}{8.8} \times 100\% \approx 1\%$$

测量值的误差常常没有明确说明，在这种情况下，误差通常被假定为指定的最后一位数字的一倍或几倍。比如，如果长度为 8.8 cm，误差被假定为 0.1 或 0.2 cm。重要的是在这种情况下你不能写成 8.80 cm，因为这意味着误差约为 0.01 cm，长度是 8.79 至 8.81 cm，而实际上是 8.7 至 8.9 cm 之间。

有效数字

数字中已知的可靠数字加上一位可疑数字称为**有效数字 (significant**

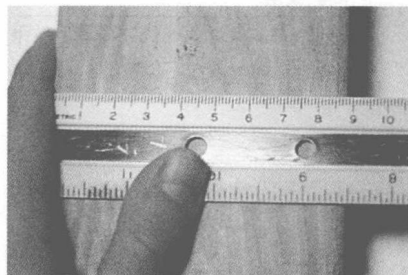


图 1-2 米尺测量模板宽度，误差约 ± 1 mm。

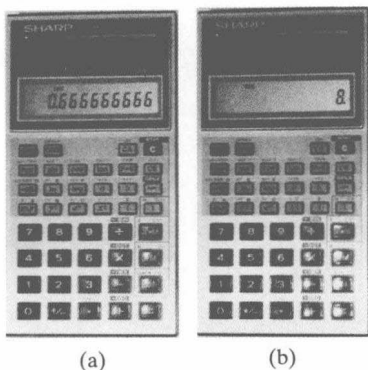


图 1-3 这两个计算器给出的有效数字不对(a)2.0 除以 3.0, 正确的结果为 0.67, (b) 2.5 乘以 3.2, 正确结果为 8.0



问题求解

有效数字原则: 最后结果的有效数字位数与输入的有效数字位数最少的一致



注意

有效数字的计算器误差



问题求解

中间结果多保留额外位数, 最后结果保留合适的有效数字位数

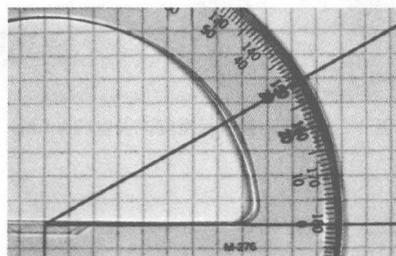


图 1-4 例 1-1 测量角度的量角

figures), 这些数字的总位数称为有效位数。如 23.21 cm 有 4 个有效数字, 0.062 cm 有 2 个有效数字。有时我们会搞不清有效位数, 例如, 80 这个数, 是 1 位还是 2 位有效数字? 这里我们需要说明一下: 如果我们说它代表两个城市之间的距离大约为 80 km, 那么就只有 1 位有效数字 8; 如果没有提 80 是一个粗略的估计值, 那么我们一般可以假设这 80 km 的精度为 1 或 2 km, 有 2 位有效数字; 如果它是精确到 0.1 km 内的 80 km, 那我们应写为 80.0 km (3 位有效数字)。

在进行测量或计算时, 应该避免在最后的答案中无理由地保留过多位数。例如, 计算矩形 $11.3 \text{ cm} \times 6.8 \text{ cm}$ 的面积时, 乘积的结果为 76.84 cm^2 , 但是这个答案并不能精确到 0.01 cm^2 , 因为 (使用每个测量值假设误差的上限) 结果在 $11.2 \text{ cm} \times 6.7 \text{ cm} = 75.04 \text{ cm}^2$ 和 $11.4 \text{ cm} \times 6.9 \text{ cm} = 78.66 \text{ cm}^2$ 之间。最好的答案可以取 77 cm^2 , 这意味着误差约为 1 或 2 cm^2 。其他在 76.84 cm^2 中两个数字必须删除, 因为它们不是有效数字。作为一般的近似规则 (即在没有详细考虑误差的情况下), 乘法或者除法最终结果的有效数字位数与计算中有效数字位数最少的位数相同。本例中 6.8 cm 的有效数字位数最少, 为 2 位。因此, 结果 76.84 cm^2 四舍五入为 77 cm^2 。

练习 A 正确地给出 $4.5 \text{ cm} \times 3.25 \text{ cm}$ 矩形的面积。(a) 14.625 cm^2 ; (b) 14.63 cm^2 ; (c) 14.6 cm^2 ; (d) 15 cm^2 。

加、减数字时, 最终的结果不会比有效数字最少的精确。例如, $3.6 - 0.57$ 的结果是 3.0 (而不是 3.03)。

需要记住的是, 当你使用计算器时, 它产生的所有数字并不都有效, 2.0 除以 3.0 时, 正确的答案为 0.67, 并不是 0.666 666 666。结果应该引入真正有效数字, 不是有效数字的不应引入。然而, 为了获得最准确的结果, 计算中通常应该多保留一个或多个有效数字, 最后的结果四舍五入 (用计算器时, 中间结果可以保留它的所有数字)。此外需要注意的是, 计算器有时给出的有效数字会减少, 例如, 当 2.5×3.2 时, 计算器给出的简单结果是 8。但答案需精确到 2 位有效数字, 所以正确的答案是 8.0。请参见图 1-3。

概念理解 例 1-1 有效数字。 使用量角器 (图 1-4), 测量角度为 30° 。(a) 测量中应该取多少位有效数字? (b) 用计算器计算测量角度的余弦值。

解答: (a) 在量角器上, 你会看到可以测量的角度精度是 1° 左右 (并不是 0.1°)。所以你可以取两位有效数字, 即 30° (不是 30.0°)。(b) 如果在计算器中输入 $\cos 30^\circ$, 将获得 0.866 025 403 这样的数字。可是, 你输入的角度只有 2 位有效数字, 因此其正确的余弦值为 0.87 (你必须将答案四舍五入到 2 位有效数字)。

练习 B 0.003 24 和 0.000 56 确实具有相同的有效位数吗? 注意不要混淆小数位数与有效数字。

练习 C 指出下列数字的有效位数和小数位数: (a) 1.23; (b) 0.123; (c) 0.012 3。

科学记数法

我们通常将数字写为“10 的幂”或用“科学”记数表示法。比如 36 900 写

为 3.69×10^4 , 0.002 1 写为 2.1×10^{-3} 。科学记数法的优点在于它清楚地表示出有效数字的位数, 例如, 不清楚 36 900 是有 3, 4 或 5 个有效数字。用 10 的幂来表示可以避免歧义: 如果已知数字是 3 位有效数字, 可写为 3.69×10^4 ; 但如果已知它是 4 位有效数字, 则应写为 3.690×10^4 。

练习 D 以科学记数法写出下列每个数字并指出其有效数字的位数: (a) 0.0258; (b) 42 300; (c) 344.50。

百分误差与有效数字的比较

有效数字的规则是作近似, 在某些情况下可能会低估答案的准确性(或误差)。例如 97 除以 92:

$$\frac{97}{92} = 1.05 \approx 1.1$$

97 和 92 都有 2 位有效数字, 按照规则给出答案为 1.1。如果没有其他误差的话, 97 和 92 数字意味着误差为 ± 1 , 那么 92 ± 1 和 97 ± 1 都意味着误差约为 1% ($1/92 \approx 0.01 = 1\%$)。但是, 最终结果以 2 位有效数字表示为 1.1, 意味着误差为 ± 0.1 , 占误差的 $0.1/1.1 \approx 0.1 \approx 10\%$ 。在这种情况下, 答案 1.05 更好(3 位有效数字)。为什么呢? 因为 1.05 意味着误差为 ± 0.01 , 即 $0.01/1.05 \approx 0.01 \approx 1\%$, 与原来数字 92 和 97 的误差相似。

建议: 使用有效数字的规则, 兼顾百分误差。为了更实际地估计误差, 可添加一个额外的有效数字。

近似值

物理知识总是涉及到近似, 因为我们并没有准确的解决问题的手段。例如, 在做练习时, 即使这是一个真实世界的问题, 我们也可能会选择忽略空气阻力或摩擦力, 这样我们的计算结果只能是一个近似值。在解题时, 应注意我们所作的近似, 并能意识到答案的精度可能并没有结果中给出的那么好。

准确度与精度

“精度”和“准确度”之间存在技术差别。**精度 (precision)** 在严格的意义上是指使用给定的仪器测量的可重复性。比如, 多次测量板的宽度, 得到的结果为 8.81, 8.85, 8.78, 8.82 cm (每次尽可能在 0.1 cm 标记之间插值), 你可以说测量精度高于 0.1 cm。**准确度 (accuracy)** 是指测量值接近真值的程度。例如, 如果图 1-2 所示的标尺制造误差为 2%, 板宽度(约 8.8 cm)测量的准确度将是 8.8 cm 的 2%, 即约 ± 0.2 cm。误差估计意味着准确度和精度都要考虑。

1-4 单位 标准和 SI 制

任何定量的测量都基于一个特定的标准或单位 (unit), 以及与这个单位相对应的数值。例如, 测量长度可以用英制单位如英寸、英尺和英里, 或用米制单位如厘米、米和千米。单提某个特定对象的长度为 18.6 是没有意义的, 必须写清楚单位, 18.6 米、18.6 英寸或 18.6 毫米完全不同。

对使用的任何单位, 如距离(米)或时间(秒), 我们需要定义一个标准 (standard) 来确定米的长度或者秒的时长。更重要的是, 选择的标准应易于重

表 1-1 典型物理现象的尺度

物理现象	近似值/m
中子或质子(直径)	10^{-15}
原子(直径)	10^{-10}
病毒	10^{-7}
纸张(厚度)	10^{-4}
手指宽度	10^{-2}
足球场长度	10^2
Mt. 埃维斯山高度	10^4
地球直径	10^7
地球到太阳距离	10^{11}
地球到最近星球距离	10^{16}
地球到最近银河系距离	10^{22}
地球到可见的最远银河系距离	10^{26}

复，使需要精确测量的任何人可以在实验室参考这一标准。

长度

第一个真正的国际标准是米 **meter** (简称 **m**)，这一长度 (**length**) 的标准由法国科学院在 18 世纪 90 年代建立。标准米一开始选择为地球赤道到南极或北极距离的一千万分之一，用一根铂棒代表这个长度。1889 年，根据一根特殊的铯-铷合金棒上两个精确雕刻标记点之间的距离更准确地定义了标准米。1960 年，标准米重新定义为氪-86 发出的特定橙色光波长的 1 650 763.73 倍，精度和重复性更高。1983 年，又根据光的速度对米作了重新定义 (根据标准米的旧定义，光速的最佳测量值为 299 792 458 m/s，不确定量为 1 m/s)。这一新定义表示为：“标准米是光在真空中 $1 / 299\,792\,458$ s 的时间间隔内行进的路程”。

英制长度单位 (英寸、英尺、英里) 现在都根据标准米进行定义。英寸 (in) 被定义为 2.54 cm ($1\text{ cm} = 0.01\text{ m}$)。表 1-1 给出了一些典型的长度，从小到大相差数十个数量级。

时间

时间 (**time**) 的标准单位是秒 **second** (s)。多年来，秒被定义为平均太阳日 ($24\text{ h/d} \times 60\text{ min/h} \times 60\text{ s/min} = 86\,400\text{ s/d}$) 的 $1/864\,00$ 。现在标准秒根据铯原子两个特定状态的辐射频率进行更精确的定义 (具体而言，秒被定义为 9 192 631 770 个辐射周期)。根据定义，60 s 为 1 min，60 min 为 1 h。表 1-2 给出了一系列的测量时间间隔，数量级相差几十倍。

质量

质量 (**mass**) 的标准单位是千克 **kilogram** (kg)。标准质量是保存在法国巴黎附近国际度量衡局的一个特别的铂铱圆柱体，其质量定义为标准 1 kg。表 1-3 给出了一系列物体的质量范围 (地球上 1 kg 质量约 2.2 磅)。

在处理原子和分子时，我们通常使用统一的原子质量单位 **unified atomic mass unit** (u)。根据千克的定义， $1\text{ u} = 1.660\,5 \times 10^{-27}\text{ kg}$ 。

其他量的标准单位的定义我们在后面的章节中遇到时再讨论。

单位前缀

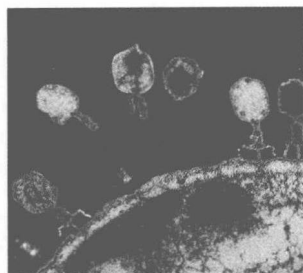
公制中，相邻两个单位之间相差 10 倍，这使得计算特别容易。1 km 为 1 000 m，1 cm 为 $1/100\text{ m}$ ，1 mm 为 $1/1\,000\text{ m}$ 或 $1/10\text{ cm}$ ，等等。前缀“centi-百分之一”，“kilo-千”等列于表 1-4，不仅可以应用于长度单位，也可以应用于体积、质量等其他公制单位。例如，1 cL 是 $1/100\text{ L}$ ，1 kg 是 1000 g。

单位制

当处理物理学的定律和公式时，使用同一套单位制非常重要。有几个不同的单位制已经使用多年。现在最重要的是国际单位制 (**Systeme International**)，简称 SI。在 SI 单位制中，长度的标准为米，时间标准为秒，质量标准为千克。常被称为 MKS (米-千克-秒) 制。

第二个公制是 cgs 制，其中厘米 (**centimeter**)、克 (**gram**) 和秒 (**second**) 是长度、质量和时间标准单位，缩写为 cgs 制。

英制 (**British engineering system**) 使用英尺为长度标准单位，磅为力的标



(a)



(b)

图 1-5 某些长度：(a) 病毒 (长约 10^{-7} m)；(b) 喜马拉雅山高度 10^4 m 量级 (准确高度 8 850 m)。

表 1-2 典型时间尺度

时间尺度	近似值/s
非稳态亚原子粒子寿命	10^{-23}
放射性元素寿命	$10^{-22} \sim 10^{28}$
μ 介子寿命	10^{-6}
人心跳时长	$10^0 (=1)$
一天	10^5
一年	3×10^7
人寿命	2×10^9
有记录的历史	10^{11}
地球上人类的历史	10^{14}
地球上生命的历史	10^{17}
宇宙年龄	10^{18}

表 1-3 某些物体质量

物体	质量/kg (近似值)
电子	10^{-30}
质子, 中子	10^{-27}
DNA 分子	10^{-17}
细菌	10^{-15}
蚊子	10^{-5}
李子	10^{-1}
人	10^2
船	10^8
地球	6×10^{24}
太阳	2×10^{30}
宇宙	10^{41}

准单位，秒为时间标准单位。

这本书中我们基本上使用 SI 单位制。

基本量和导出量

物理量可以分为两类：基本量和导出量。相应的单位称为基本单位和导出单位。**基本量 (base quantity)** 必须根据标准术语定义。为了简单起见，科学家试图用尽可能少的基本量来完整地描述物理世界。SI 制中 7 个基本量列于表 1-5。其他的量都可以根据这 7 个基本量来定义，因此被称为**导出量 (derived quantities)**。导出量的一个例子是速度，它被定义为距离除以经过该距离所需要的时间。定义任何一个量，无论是基本量或导出量，我们都需要规定一个规则或步骤，这被称为**运算定义 (operational definition)**。

1-5 单位转换

我们测量的任何一个量比如长度、速度或电流都由数值和单位组成。我们常常用一个单位制给出这个量，用另外一个单位制表示这个量。比如，测量一个桌子的宽度为 21.5 英寸，但我们想用厘米表示。这样我们就得用**换算系数 (conversion factor)**，本例中换算系数定义为：

$$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$$

或者，换一种方式为：

$$1 = 2.54 \text{ cm} / \text{in}$$

因为一个量乘以 1 不会改变这个量，所以，桌子的宽度以 cm 表示为：

$$21.5 \text{ in} = (21.5 \cancel{\text{ in}}) \times (2.54 \frac{\text{cm}}{\cancel{\text{ in}}}) = 54.6 \text{ cm}$$

注意消去的单位（本例中的英寸）。再看下面一些例子。

例 1-2 8 000 m 的山峰。世界上有 14 座 8 000 m 高的山峰（图 1-6 和表 1-6），它们的峰顶都在海拔 8 000 m 以上。用英尺表示 8 000 m 的高度为多少？

解题思路：我们需要简单地将米转换为英尺，可以从转换系数 $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$ 开始。 $1 \text{ in} = 2.540 0 \text{ cm}$ 可以按需取有效数字，因为这是一个常数。

解： 1 ft 为 12 in，所以，可以写为：

$$1 \text{ ft} = (12 \cancel{\text{ in}}) \left(2.54 \frac{\text{cm}}{\cancel{\text{ in}}} \right) = 30.48 \text{ cm} = 0.304 8 \text{ m}$$

注意消去的单位，重写该方程可以找出 1 米有多少英尺：

$$1 \text{ m} = \frac{1 \text{ ft}}{0.304 8} = 3.280 8 \text{ ft}$$

将该方程乘 8 000.0（有 5 位有效数字）：

$$8 000.0 \text{ m} = (8 000.0 \cancel{\text{ m}}) \left(3.280 8 \frac{\text{ft}}{\cancel{\text{ m}}} \right) = 26.247 \text{ ft}$$

8 000 m 的海拔为海平面上 26 247 ft。

注：我们可以在一行中完成该换算：

$$8 000.0 \text{ m} = (8 000.0 \cancel{\text{ m}}) \left(\frac{100 \cancel{\text{ cm}}}{1 \cancel{\text{ m}}} \right) \left(\frac{1 \cancel{\text{ in}}}{2.54 \cancel{\text{ cm}}} \right) \left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \cancel{\text{ in}}} \right) = 26.247 \text{ ft}$$

关键是乘以转换因子，每一个都为 1（=1.000 0）以确保单位消去的需要。

表 1-4 公制 (SI 制) 前缀

前缀	缩写	数值
yotta	Y	10^{24}
zetta	Z	10^{21}
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
hecto	h	10^2
deka	da	10^1
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
yocto	y	10^{-24}

表 1-5 基本量和单位

基本量	单位	单位符号
长度	米	m
时间	秒	s
质量	千克	kg
电流	安培	A
温度	开尔文	K
物质量	摩尔	mol
光强	坎德拉	cd

物理应用

世界高峰



图 1-6 从北面看过去（中国）的世界第二高峰 K2，公认的 8000 米以上最难登顶的高峰

表 1-6 8 000 m 以上高山

山峰	高度/m
Mt. Everest	8 850
K2	8 611
Kangchenjunga	8 586
Lhotse	8 516
Makalu	8 462
Cho Oyu	8 201
Dhaulagiri	8 167
Manaslu	8 156
Nanga Parbat	8 125
Annapurna	8 091
Gasherbrum I	8 068
Broad Peak	8 047
Gasherbrum II	8 035
Shish Pangma	8 013

练习 E 世界上有 14 座 8 000 m 的高峰 (例 1-2), 它们的名称和高度列于表 1-6, 它们都在印度、巴基斯坦、中国西藏的喜马拉雅山区, 以英尺表示世界最高的 3 座高峰的高度。

例 1-3 公寓面积。你漂亮公寓的面积为 880 ft^2 , 相当于多少平方米?

解题思路: 转换系数为 $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$, 这次我们得两次使用该转换系数。

解: 因为 $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm} = 0.0254 \text{ m}$, 所以 $1 \text{ ft}^2 = (12 \text{ in})^2 (0.0254 \text{ m/in})^2 = 0.0929 \text{ m}^2$ 。

所以 $880 \text{ ft}^2 = (880 \text{ ft}^2) (0.0929 \text{ m}^2/\text{ft}^2) \approx 82 \text{ m}^2$

注: 按照约定俗成, 以平方英尺给出的面积大约是 10 倍于以平方米给出的面积 (更准确些为 10.8 倍)。

例 1-4 速度。限速标示牌上的速度限制为 55 mi/h , 那么 (a) 速度以米每秒 (m/s) 表示是多少? (b) 速度以千米每小时 (km/h) 表示是多少?

解题思路: 我们再次使用转换系数 $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$, 1 英里为 5 280 英尺, 1 英尺为 12 英寸, 1 小时为 $(60 \text{ min/h}) \times (60 \text{ s/min}) = 3 600 \text{ s/h}$ 。

解: (a) 我们可以将 1 英里写为:

$$1 \text{ mi} = (5 280 \text{ ft}) \left(12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} \right) \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{\text{in}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 1 609 \text{ m}$$

我们知道 1 小时为 3 600 s, 所以

$$55 \frac{\text{mi}}{\text{h}} = \left(55 \frac{\text{mi}}{\text{h}} \right) \left(1 609 \frac{\text{m}}{\text{mi}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3 600 \text{ s}} \right) = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

四舍五入为 2 位有效数字。

(b) 我们用 $1 \text{ mi} = 1 609 \text{ m} = 1.609 \text{ km}$, 那么

$$55 \frac{\text{mi}}{\text{h}} = \left(55 \frac{\text{mi}}{\text{h}} \right) \left(1.609 \frac{\text{km}}{\text{mi}} \right) = 88 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

注: 每一个换算系数都为 1。

练习 F 以 15 m/s 开车的司机在 35 mi/h 的限速区域会超速吗?

单位换算时, 检查单位是否消去可以避免使用换算系数时出错。比如例 1-4 (a) 中将 1 英里换算为 1 609 米时, 如果使用换算系数为 $(100 \text{ cm}/1 \text{ m})$ 而不是 $(1 \text{ m}/100 \text{ cm})$, 那么 cm 单位就消不掉, 就得出以米为单位的结果。

1-6 数量级 快速估值

有时候我们仅仅对一个量的近似值感兴趣。一个原因可能是准确计算耗时太多而不值, 或者因为准确计算需要一些额外的未知数据。有时候我们可能仅仅想做一个粗略估算, 以检验计算器计算结果的准确性, 确保没有因为输错数字而犯错。粗略估计一般是将所有数字四舍五入到一位有效数字与 10 的幂次的乘积, 计算好后, 结果再次保留一位有效数字。这样的估值称为**数量级估算 (order-of-magnitude estimate)**, 可以精确到 10 的一次方之内, 甚至更好。事实

解决问题

转换系数=1

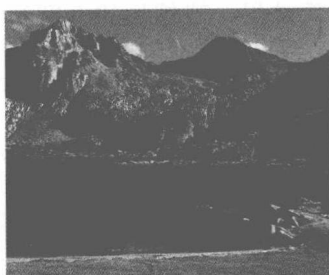
解决问题

如果单位不能删除, 则单位换算出错

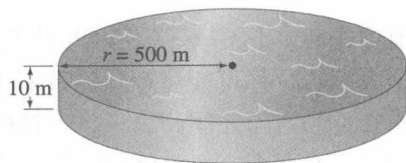
解决问题

怎样粗略估计

上，“数量级”有时就是用于简单地知道数量是10的几次方。



(a)



(b)

图 1-7 (a) 湖里有多少水? (照片是加利福尼亚内华达山脉的瑞拉湖) (b) 将该湖看作作为一个圆柱体模型。[我们可以更进一步估计湖水的质量或重量。水的密度为 $1\,000\text{ kg/m}^3$, 质量约为 $(10^3\text{ kg/m}^3)(10^7\text{ m}^3) \approx 10^{10}\text{ kg}$, 大约 $10\,000\,000\,000\text{ kg}$ 或 $10\,000\,000\text{ t}$ 。(1 t 是 $1\,000\text{ kg}$, 约 $2\,200\text{ lb}$, 略大于 $2\,000\text{ lb}$)]

例 1-5 估值 湖的体积。估计湖水的体积。湖水近似为圆柱形，直径 1 km ，平均深度约为 10 m 。

解题思路：湖水不可能为标准圆柱形，下表面也不可能光滑平整。我们只能粗略估算。要估算体积，将湖看作一个简单的圆柱体模型（图 1-7b）：体积等于平均深度乘以近似的圆形表面积。

解：圆柱体的体积 V 等于高度 h 乘以底面积： $V = h\pi r^2$ ，这里， r 是圆的半径， $1/2\text{ km} = 500\text{ m}$ ，所以，体积大概为：

$$V = h\pi r^2 = (10\text{ m}) \times (3) \times (5 \times 10^2\text{ m})^2 \approx 8 \times 10^6\text{ m}^3 \approx 10^7\text{ m}^3$$

这里 π 四舍五入取 3，所以体积的数量级为 10^7 m^3 ，1 千万立方米。因为计算中用的都是估计数字，估算的数量级 (10^7 m^3) 可能比用 $8 \times 10^6\text{ m}^3$ 数字要好。

注：以美制加仑表示结果时， $1\text{ L} = 10^{-3}\text{ m}^3 \approx \frac{1}{4}$ 加仑。

因此，湖水有 $(8 \times 10^6\text{ m}^3) (1\text{ 加仑}/4 \times 10^{-3}\text{ m}^3) \approx 2 \times 10^9$ 加仑。

物理应用

怎样粗略估计

例 1-6 估计本书一页纸的厚度。

解题思路：一开始你可能认为需要用特殊仪器，因为一般的米尺显然不行。但我们可以用一点技巧，用物理术语来表达即对称性：有理由认为本书的每一页厚度都相等。

解：我们可以马上用米尺测量一下几百页书的厚度，如果你测量一下本书第 1 页至第 500 页（实际页数为 250 页）的厚度大概为 1.5 cm 。所以，每一页的厚度大约为：

$$\frac{1.5\text{ cm}}{250} \approx 6 \times 10^{-3}\text{ cm} = 6 \times 10^{-2}\text{ mm}$$

小于十分之一毫米 (0.1 mm)。

解决问题

在可能的情况下使用对称性

例 1-7 估计三角形的高度。在公交站牌柱子和朋友的帮助下，利用“三角形”法则估计图 1-9 所示建筑物的高度。

解题思路：让朋友靠近公交站牌柱子，估计出柱子高度为 3 m ，向离开柱子方向走，直到柱子顶与建筑物顶成一条直线，如图 1-9 (a)。你自己身高 5 英尺 6 英寸，你的眼睛大概位于地面上方 1.5 m 处，你的朋友高些，她一只手拉着你，另一只手扶着柱子，你和柱子之间距离大概为 2 m (图 1-9 (a))。然后你迈着每步 1 m 的大步从柱子走向建筑物，一共 16 步即 16 m 。

解：用测量的数据按比例画出图 1-9 (b)。可以在图上量出三角形一边（位于右边的）长度为 $x = 13\text{ m}$ 。也可以用相似三角形法，建筑物高度 x 为：

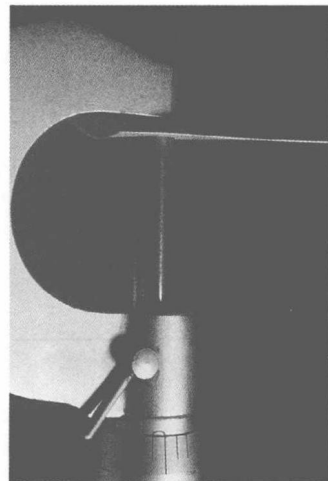


图 1-8 例 1-6 测量微小厚度的测微计

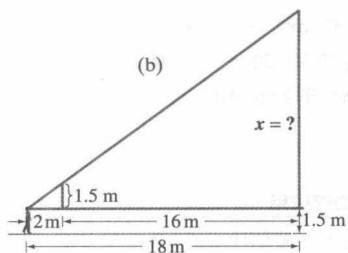
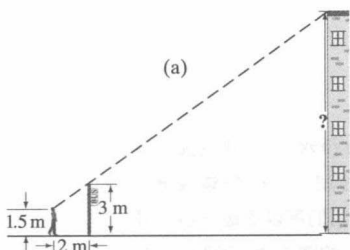


图 1-9 例 1-7 作图法很有用

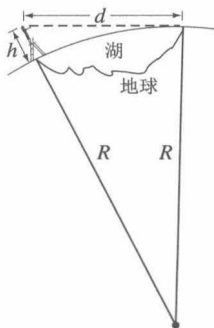


图 1-10 例 1-8 (未按比例) 如果你站在梯子上, 可以看见 6.1 km 宽的湖对岸水面上的小岩石。

$$\frac{1.5 \text{ m}}{2 \text{ m}} = \frac{x}{18 \text{ m}}, \text{ 所以 } x \approx 13 \frac{1}{2} \text{ m}$$

最后, 加上你的眼睛离开地面的高度 1.5 m, 得出最后结果, 建筑物的高度约为 15 m。

例 1-8 估算地球半径。你信不信, 你可以不用到太空就能估算出地球的半径。如果在一个大湖边, 你可能注意到你看不见湖对岸的沙滩、码头或者岸边的岩石。湖好像在你和对岸之间凸出来了, 这暗示你地球是圆的。假定你爬上一个梯子, 眼睛位于水面上方 3.0 m (10 ft) 时刚好看见湖对岸河滩上的岩石, 从地图上你估计到湖两岸的距离 $d \approx 6.1 \text{ km}$, 用图 1-10 中高度 $h = 3.0 \text{ m}$ 来估计地球的半径 R 。

解题思路: 我们可以用初等几何, 包括毕达哥拉斯的勾股定理 $c^2 = a^2 + b^2$, 这里 c 是任何直角三角形的弦, a 和 b 为另外两边的长度。

解: 如图 1-10 所示的直角三角形, 两边是地球的半径 R 和距离 $d = 6.1 \text{ km} = 6100 \text{ m}$, 斜边弦的长度大约为 $R + h$, $h = 3.0 \text{ m}$ 。根据三角形勾股定理,

$$R^2 + d^2 \approx (R + h)^2 \approx R^2 + 2hR + h^2$$

方程两边约去 R^2 , 解出 R :

$$R \approx \frac{d^2 - h^2}{2h} = \frac{(6100 \text{ m})^2 - (3.0 \text{ m})^2}{6.0 \text{ m}} = 6.2 \times 10^6 \text{ m} = 6200 \text{ km}$$

注: 地球半径的准确测量数据为 6380 km。瞧, 通过几个简单的粗略测量和初等几何, 你就很好地估计出了地球的半径! 你不需要去太空测量, 也不需要很长的绳子去测量。现在你知道第一页本章开篇问题的答案了吧。

例 1-9 估计心跳的总次数。估计一般人一生心脏跳动的总次数。

解题思路: 典型静息心率为 70 次/min, 但运动心率要高得多, 平均心率可取 80 次/min。

解题方法: 以秒为单位, 一年是 (24 h) (3600 s/h) (365 d) $\approx 3 \times 10^7 \text{ s}$ 。如果人的平均寿命 70 年 = (70 年) (3600 s/年) $\approx 2 \times 10^9 \text{ s}$, 所以, 心跳总次数约为:

$$(80 \frac{\text{次}}{\text{min}}) (\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}) (2 \times 10^9 \text{ s}) \approx 3 \times 10^9 \text{ 次}$$

即三十亿次。



问题求解

在城市, 估计有多少钢琴调谐器

一项估算城市 (像芝加哥或旧金山这样的大城市) 钢琴调音师数量的技术使埃瑞克·费米在他的物理学生中声名鹊起。要粗略地估计今天有 70 万居民的旧金山的钢琴调音师的数量级, 我们可以通过估计正常弹奏的钢琴数量、每架钢琴调音的次数、每个调音师可以调音的钢琴台数来进行。若要估计旧金山的钢琴数量, 我们注意到当然不是每个人都有 1 架钢琴。假定 3 个家庭中有 1 家拥有 1 架钢琴, 假定每个家庭平均 4 人, 那就对应于每 12 人有 1 架钢琴。作为一个数量级估计, 为每 10 人 1 架钢琴, 这比 100 人 1 架钢琴或者每个人 1 架钢琴当然更合理。这样 10 人 1 架钢琴, 旧金山有约 7 万架钢琴。1 个钢琴调音师如 1 架钢琴调音需要 1~2 h, 调音师 1 天可以调 4~5 架钢琴。1 架钢琴一般每 6 个月或 1 年需要调音 1 次, 那我们取每年调 1 次。钢琴调音师 1 天可以调 4~5 架钢琴, 1 周 5 天、1 年 50 周可以调大约 1000 架钢琴。所以旧金山 7 万架钢

琴（非常粗略）需要约 70 个钢琴调音师。当然，这只是粗略的估计。它只是告诉我们，钢琴调音师的数量肯定超过 10 个但不会超过 1 000 个。

* 1-7 量纲和量纲分析

当我们谈论一个量的量纲 (dimensions) 时，所指的是基本量类型或基本量的单位类型。例如，面积的量纲，总是长度的平方，用方括号缩写为 $[L^2]$ ；单位可以是平方米、平方英尺，平方厘米等。另一方面，速度可以 km/h, m/s 或 mi/h 来测量，但其量纲始终是长度 $[L]$ 除以时间 $[T]$ ；即 $[L/T]$ 。

在不同的情况下，公式中的物理量可能会不同，但量纲保持不变。例如，三角形面积用基底 b 和高度 h 表示是 $A = 1/2 (bh)$ ，而半径为 r 的圆的面积是 $A = \pi r^2$ 。在这两种情况下面积公式不同，但面积的量纲总是 $[L^2]$ 。

量纲有助于物理量间的分析，称为量纲分析 (dimensional analysis)。很实用的一个例子就是使用量纲分析来检验关系式是否不正确。请注意，必须添加或消去具有相同量纲的量（不能同时添加厘米和小时）；每个等式两边的量必须具有相同的量纲（在数值计算时，公式两边的单位还必须相同）。

例如，假设推导的公式 $v = v_0 + \frac{1}{2}at^2$ ，是时间 t 时物体的速度， v_0 是物体的初始速度， a 是物体的加速度。我们可以做一下量纲分析，看这个公式正确或不正确。注意数字系数并不影响量纲检验。我们写量纲公式如下所示，记住，速度的量纲是 $[L/T]$ ：

$$\left[\frac{L}{T}\right] = \left[\frac{L}{T}\right] + \left[\frac{L}{T^2}\right][T^2] = \left[\frac{L}{T}\right] + [L]$$

量纲不正确：公式右边相加的量，其量纲是不相同的。因此我们得出的结论是：原始公式的推导过程错误。

量纲检查只能告诉你关系不正确，它不能告诉你是否完全正确。例如，无量纲数值系数（如 $\frac{1}{2}$ 或 2π ）可能被忽略。

量纲分析也可以用来对一个不太有把握的等式作快速检验。例如，假设你不记得长度为 l 的单摆周期 T （作一个来回摆动的时间）的公式是： $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ 或 $T = 2\pi \sqrt{g/l}$ ，其中 g 是重力加速度，像所有的加速度一样具有量纲 $[L/T^2]$ 。（不用担心这些公式——第 14 章我们会推导出正确的公式；这里只关心你的记忆是 l/g 还是 g/l ）。量纲分析表明前者 (l/g) 是正确的：

$$[T] = \sqrt{\frac{[L]}{[L/T^2]}} \sqrt{[T^2]} = [T]$$

后一个 (g/l) 公式不正确：

$$[T] \neq \sqrt{\frac{[L/T^2]}{[L]}} \sqrt{\frac{1}{[T^2]}} = \frac{1}{[T]}$$

请注意，常量 2π 没有量纲，所以不会出现在量纲分析中。