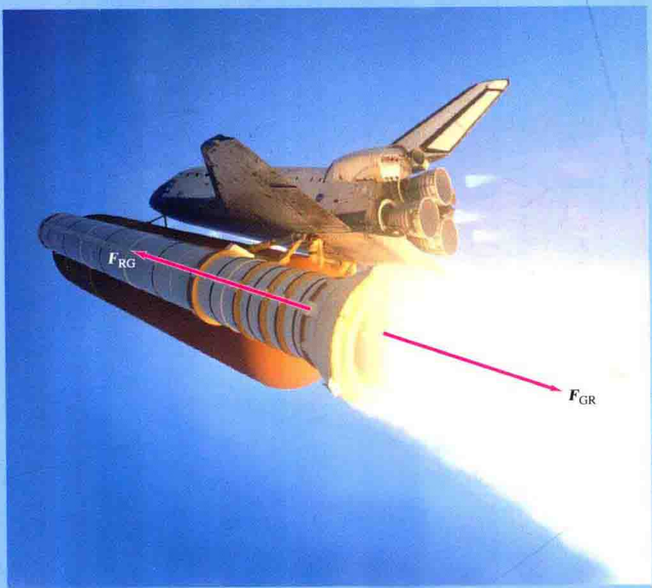
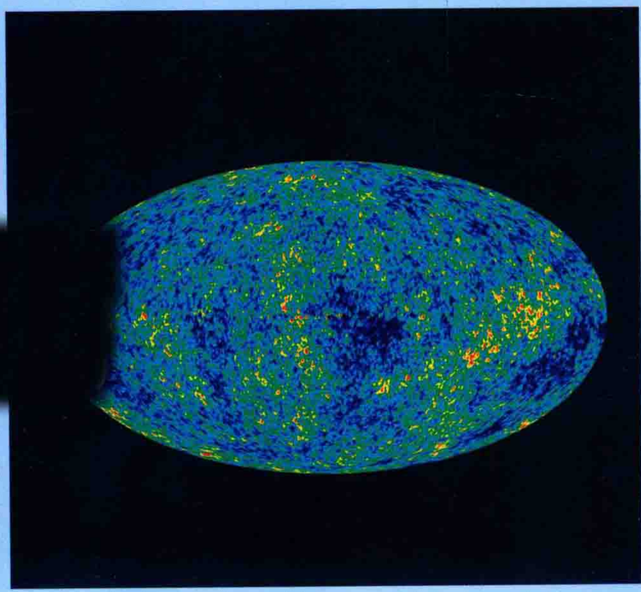
Pearson

PHYSICS FOR SCIENTISTS & ENGINEERS WITH MODERN PHYSICS, 4E

大学物理（修订版）（上）

[美] 詹科利（Giancoli,D.C.） 著
东华大学物理教研室 译



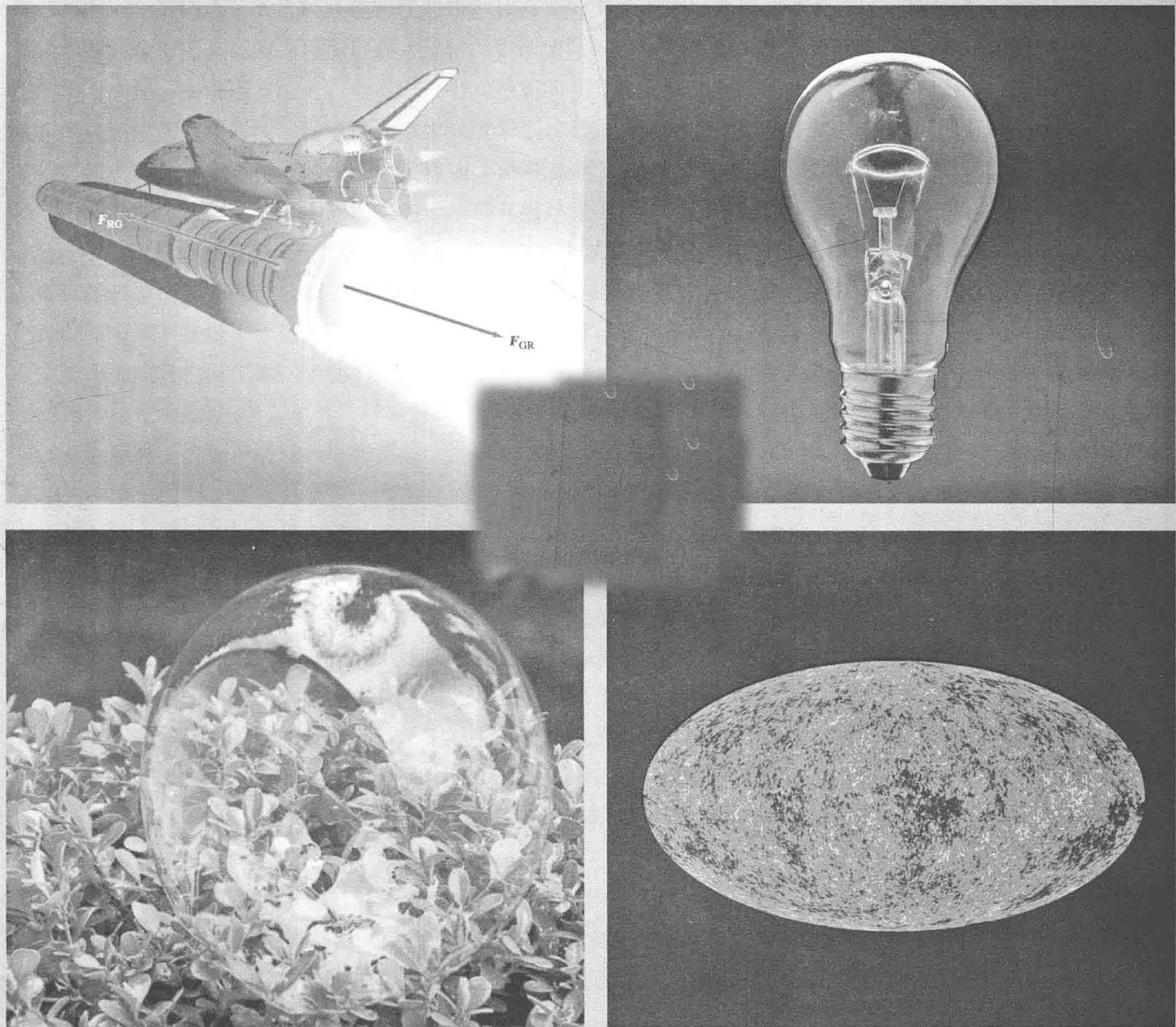


東華大學出版社

PHYSICS FOR SCIENTISTS & ENGINEERS WITH MODERN

大学物理（修订版）（上）

[美] 詹科利（Giancoli,D.C.） 著
东华大学物理教研室 译



東華大學出版社 · 上海

图书在版编目（CIP）数据

大学物理. 修订版. 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，2017. 2
ISBN 978-7-5669-1177-3

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（2017）第 000783 号

责任编辑：竺海娟
封面设计：小智慧

大学物理(修订版)(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，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：2017 年 2 月第 1 版
印　　　次：2017 年 2 月第 1 次印刷
书　　　号：ISBN 978-7-5669-1177-3
定　　　价：58. 00 元

前　　言

《Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics》是一套风格独特的美国大学物理课程教材。全书内容深浅适当，注重物理理论与现实生活的结合以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。国外很多名校都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，他撰写了很多与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，本书设计合理，对概念和原理的阐述科学、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，全书语言通俗简明、生动有趣，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图片，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、建立概念理解例题、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也做了细化处理，按难易程度将习题分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类，按内容分为思考题、习题和综合性习题，对不同层次的学生都有指导意义。

《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。本书分上、下两册，此为上册。

全书的内容主要包括：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），气体动理论，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各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院校学生的教材。

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)。统稿老师为陆爱江（第 1～6 章）、丁可（第 7～12 章）、李博（第 13～18、29～30 章）、伍滨和（第 19～25 章）、吴华（第 26～28、31～33 章）。

上册第一次修订版由以下老师修改完成：李博（第 1～2 章）、杨沁玉（第 3～4 章）、丁可（第 5～6 章）、卢洪伟（第 7～8 章）、陆爱江（第 9～10 章）、詹亚歌（第 11～12 章）、蔡旭初（第 13 章）、吴华（第 14～15 章）。

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、理论和定律 / **2**
1-3　测量与不确定度　有效数字 / **3**
1-4　单位、标准和 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　二维或三维运动　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　解决问题的通用方法 / **93**

第 5 章　牛顿定律的应用
摩擦力　圆周运动　阻力 / 100

5-1　考虑摩擦力的牛顿定律应用 / **101**
5-2　匀速圆周运动的运动学 / **107**
5-3　匀速圆周运动的动力学 / **110**
5-4　公路弯道　倾斜弯道和不倾斜弯道 / **113**
*5-5　变速圆周运动 / **115**
*5-6　与速度相关的力　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　地球物理的应用 / **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 稳定和不稳定平衡 / 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 / 228
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? / 241

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 / 250
11-3 质点的角动量 / 252
11-4 质点系的角动量和力矩 一般运动 / 253
11-5 刚体的角动量和力矩 / 254
11-6 角动量守恒 / 257

第 12 章 静态平衡 弹性与断裂 / 264

12-1 平衡条件 / 265
12-2 静力学问题求解 / 266
12-3 稳定与平衡 / 271
12-4 弹性 应力和应变 / 272
12-5 断裂 / 275

第 13 章 流体 / 282

13-1 物质的相 / 283
13-2 密度和比重 / 283
13-3 流体压强 / 284
13-4 大气压和表压 / 288
13-5 帕斯卡定律 / 288
13-6 压强的测量 压强计和气压计 / 289
13-7 浮力和阿基米德原理 / 291
13-8 运动中的流体 流量和连续性方程 / 295
13-9 伯努利方程 / 297
13-10 伯努利原理的应用：托里拆利、飞机、棒球、短暂性脑缺血 / 298

第 14 章 振动 / 308

14-1 弹簧的振动 / 309
14-2 简谐振动 / 311
14-3 简谐振动的能量 / 316
14-4 简谐振动与匀速圆周运动的关系 / 318
14-5 单摆 / 318
*14-6 复摆和扭摆 / 320
14-7 阻尼谐运动 / 321
14-8 受迫振动与共振 / 324

第 15 章 波动 / 332

15-1 波动的特征 / 333
15-2 波的种类：横波和纵波 / 334
15-3 波的能量 / 338
15-4 行波的数学表示 / 340
*15-5 波动方程 / 343
15-6 波的叠加原理 / 344
15-7 波的反射与传播 / 345
15-8 波的干涉 / 347
15-9 驻波 / 348
*15-10 波的折射 / 351
*15-11 波的衍射 / 352

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法?

(a) 放弃这种想法，因为用普通方法不可能完成测量;

(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半径;

(d) 使用一把卷尺、一架梯子及一个平静的湖面;

(e) 采用激光以及装在月球或者卫星上的镜子。

本书的每一章都将以如上所述的一个问题开始。请立即回答，不用担心正确与否。目的就是让读者凭直觉来确定答案，即便是作出错误的判断，通过本章的学习，也可以帮助澄清概念。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。

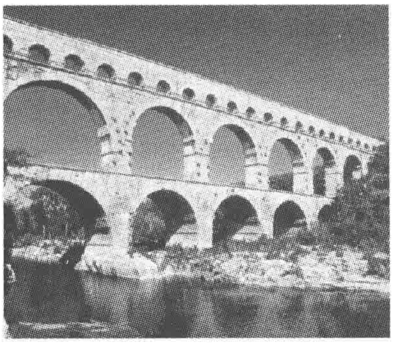
目录

1-1　科学的本质
1-2　模型、理论和定律
1-3　测量与不确定度　有效数字
1-4　单位、标准和 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

物理学是科学的基础，它以物质世界的规律和结构为研究对象。通常，物理学可分为经典物理和现代物理。经典物理包括运动学、动力学、流体力学、声学、光学、热学及电磁学；现代物理则包括相对论、原子与分子物理学、凝聚态物理、核物理、粒子物理、宇宙学及天体物理学。本书将介绍以上内容，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建筑物的内部应力，才能进行合理设计以确保建筑物长久屹立（图 1-1a）。在

第 12 章中，我们将介绍一个行之有效的有关物理计算的简单例子——甚至凭对力的物理学知识的直觉——拯救数以百计的生命（图 1-1b）。总之，本书提供了很多例子，让我们了解物理在各行各业和日常生活中的应用。



(a)

(b)

图 1-1　(a) 建于二千年前的罗马引水渠，迄今屹立不倒；(b) 1978 年坍塌的 Hartford 市政中心，建好仅两年

1-1　科学的本质

所有科学学科（包括物理学）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。实际上并非那么简单，科学作为一项创造性活动，在许多方面与人类的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）**，其中包括设计和实验。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。

让我们来看看两位伟大的学者亚里士多德（公元前 384—前 322）和伽利略（1564—1642）是如何解释平面运动的。亚里士多德认为，在地面或桌面上受到一个初始推力后的物体总是作减速运动，直至最后停止运动。由此，亚里士多德认为，静止是物体的自然状态。到了 17 世纪，伽利略再次观察物体平面运动时认为，如果摩擦可以消除，获得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。凭借这一新的思路，伽利略奠定了现代运动学的基础（第 2，3，4 章），他成功地借助想象力的翅膀，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是指导观察，包括细心地实验与测量；科学研究的另一个方面是发明或创造新的理论，用于解释和指导观察到的现象。理论决不会直接从观察中推导出来，而观察则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品或文学作品相媲美。而科学研究与其他创造性活动的不同之处又在哪里呢？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其是否可以由实验加以证实。

虽然理论验证将科学研究区别于其他创造性活动，但不应认为理论是由验证“证明”出来的。首先，没有一种测量仪器是完美的，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种可能情况。综上所述，理论不可能被绝对地证实。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）**。科学意义的模型是用我们熟悉的术语，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，但是水波却是可见的。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。

当我们无法理解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对现象理

解得更深刻：通过与已知系统的类比（例如上面列举的水波）可以提供实验的新方法，并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）**的适用性则更广、更详细，并能给予定量的、往往是非常精确的、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）是科学家们对自然现象的简洁而普适的描述（例如能量守恒定律）。有些定律由物理量之间的关系或等式（如牛顿第二定律 $F=ma$）描述。

作为定律，必须得到广泛的实验验证，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，即告诉我们该怎样做。科学定律是描述性的，它不是描述自然规律应该怎样，而是描述自然规律是怎样的。与理论一样，定律不可能经过无限次的验证，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，并且其局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。

虽然科学家们在进行研究时通常认可定律和理论的真实性，但一旦新的信息有可能质疑到既定的定律或理论时，他们就有责任保持开放的心态，修正任何已知定律或理论的有效性。

1-3 测量与不确定度 有效数字

在探索我们的周围世界时，科学家们设法寻求可以测量的物理量之间的关系。

不确定度

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。每次测量都伴随着不确定度。不确定度的最主要来源绝不是粗心造成的错误，而是来自测量仪器的有限精度和无法精确读取超出仪器最小分度值的数值。例如，如果你使用米尺测量一块板的宽度（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。

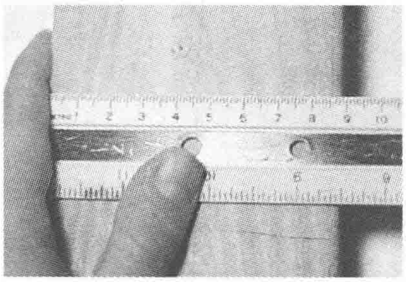


图 1-2 用米尺测量板的宽度，不确定度约为±1 mm

在给出测量结果时，表述测量的不确定度非常重要。例如，板的宽度可写为（8.8±0.1）cm，这里的±0.1 cm 表示测量的**估计不确定度（estimated uncertainty）**，实际宽度可能在 8.7 和 8.9 cm 之间。**相对不确定度（percent uncertainty）**是不确定度和测量值的比值乘以 100%。例如，测量值为 8.8 cm，不确定度约为 0.1 cm，则相对不确定度为

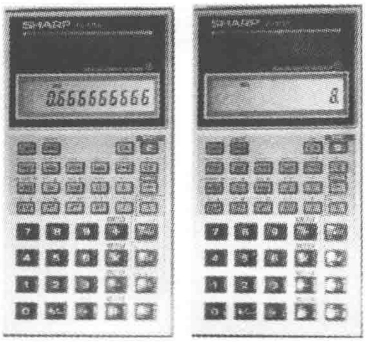
$$\frac{0.1}{8.8}\times 100\%\approx 1\%$$

测量值的不确定度常常没有明确说明，在这种情况下，不确定度的数量级通常被假定为测量值最后数位的一个或若干个单位数。比如，如果长度为 8.8 cm，不确定度被假定为 0.1 或 0.2 cm。重要的是，在这种情况下你不能写成 8.80 cm，因为这意味着不确定度约为 0.01 cm，长度为 8.79 ～ 8.81 cm，而实际上为 8.7 ～ 8.9 cm。

有效数字

数值中已知的可靠数字加上 1 位可疑数字称为**有效数字**（**significant figures**），这些数字的总位数称为有效位数。如 23.21 cm 有 4 位有效数字，0.062 cm 有 2 位有效数字。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：如果我们说它表示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，那么，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 cm × 6.8 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不确定度的上限）结果在 11.2 cm×6.7 cm = 75.04 cm^2 和 11.4 cm × 6.9 cm = 78.66 cm^2 之间。最好的答案可以取 77 cm^2，这意味着不确定度约为 1 或 2 cm^2。在 76.84 cm^2 中其他的两个数字必须删除，因为它们不是有效数字。作为一般的近似规则（即在没有详细考虑不确定度的情况下），乘法或者除法最终结果的有效数字位数与参与计算的各数中有效数字位数最少的一个相同。本例中 6.8 cm 的有效数字位数最少，只有 2 位。因此，结果 76.84 cm^2 四舍五入为 77 cm^2。



(a) (b)

图 1-3 这两个计算器给出了错误的有效数字。(a) 2.0 除以 3.0，正确的结果为 0.67；(b) 2.5 乘以 3.2，正确的结果为 8.0

解决问题

乘除法有效数字运算规则：最后结果的有效数字位数与输入的有效数字位数最少的位数相同

练习 A 正确地给出 4.5 cm× 3.25 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、减运算时，最终的结果只保留 1 位可疑数字。例如，3.6～0.57 的结果是 3.0（而不是 3.03）。

注 意

有效数字的计算器误差

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。例如，2.0 除以 3.0 时，正确的答案为 0.67，并不是 0.666 666 666。结果应该引入真正的有效数字，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，中间结果可以保留所有数字。）此外，需要注意的是，有时计算器给出的有效数字会减少，例如，当 2.5×3.2 时，计算器给出的结果是 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。

解决问题

中间结果多保留额外的有效数字，最后结果保留合适的有效数字位数

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。

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 2 位有效数字，即 30°（不是 30.0°）。(b) 如果在计算器中输入 cos 30°，将获得 0.866 025 403 这样的数。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）。

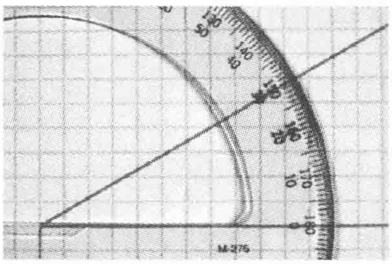


图 1-4 例 1-1，用量角器测量角度

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 指出下列各数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

我们通常将数写为“10 的幂”或用“科学”记数法表示。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 位有效数字。用 10 的幂来表示可以避免歧义，如果已知数有 3 位有效数字，可写为 3.69×10^4；但如果已知它有 4 位有效数字，则应写为 3.690×10^4。

练习 D 用科学记数法写出下列每个数并指出其有效数字的位数：(a) 0.025 8；(b) 42 300；(c) 344.50。

相对不确定度与有效数字的比较

有效数字的运算规则只是粗略估计的规则，在某些情况下，这个规则可能会低估答案的准确性（或不确定度）。例如 97 除以 92

$$\frac{97}{92}=1.05\approx1.1$$

97 和 92 都有 2 位有效数字，按照规则给出答案为 1.1。如果没有其他不确定度的话，数 97 和 92 意味着不确定度为 ±1，那么 92 ± 1 和 97 ± 1 都意味着相对不确定度约为 1%（$1/92\approx0.01=1\%$）。但是，最终结果以 2 位有效数字表示为 1.1，意味着不确定度为 ±0.1，相对不确定度为 $0.1/1.1\approx0.1\approx10\%$。在这种情况下，答案为 1.05（3 位有效数字）更好。为什么呢？因为 1.05 意味着不确定度为 ±0.01，即 $0.01/1.05\approx0.01\approx1\%$，与原来的数 92 和 97 的相对不确定度相似。

建议：使用有效数字的运算规则，兼顾相对不确定度。为了更实际地估计不确定度，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处理，并能意识到答案的精度可能并没有结果中给出的那么好。

准确度与精确度

“精确度”和“准确度”之间存在技术差异。**精确度（precision）**在严格意义上是指使用给定仪器测量的可重复性。比如，多次测量板的宽度，得到的结果分别为 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 所示米尺的制造误差为 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。估计不确定度意味着准确度和精确度都要考虑。

表 1-1　一些典型物理现象的空间尺度

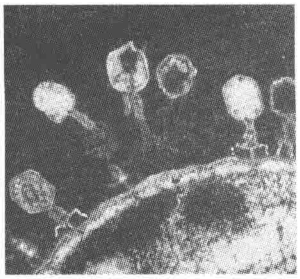
物理现象	近似值/m
中子或质子（直径）	10^{-15}
原子（直径）	10^{-10}
病毒［图 1-5a］	10^{-7}
纸张（厚度）	10^{-4}
手指宽度	10^{-2}
足球场长度	10^{2}
珠穆朗玛峰高度［图 1-5b］	10^{4}
地球直径	10^{7}
地球到太阳距离	10^{11}
地球到最近星球距离	10^{16}
地球到最近银河系距离	10^{22}
地球到可见的最远银河系距离	10^{26}

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，必须写清楚其单位，因为 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复，以使需要精确测量的任何人可以在实验室参考这一标准。



(a)

(b)

图 1-5 一些长度：(a) 病毒（长约 10^{-7} m）；(b) 珠穆朗玛峰高度 10^4 m 量级（准确高度 8 850 m）

长度

第一个真正的国际标准是**米**（**meter**）(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，根据一根特殊的钯-铱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重新作了定义（根据标准米的旧定义，光速的最佳测量值为 299 792 458 m/s，不确定度为 1 m/s）。这一新定义表述为"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 cm = 0.01 m）。表 1-1 给出了一些典型物理现象的空间尺度，从小到大相差数十个数量级。

表 1-2 一些典型物理现象的时间尺度

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	$10^{-22}\sim10^{28}$
μ 介子寿命	10^{-6}
人心跳时长	10^0 (=1)
一天	10^5
一年	3×10^7
人的寿命	2×10^9
有记录的历史	10^{11}
地球上人类的历史	10^{14}
地球上有生命的历史	10^{17}
宇宙年龄	10^{18}

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 h/d×60 min/h×60 s/min= 86 400 s/d）的 1/86 400。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 给出了一系列典型物理现象的时间尺度，数量级相差几十倍。

表 1-3 一些物体的质量

物体	近似值/kg
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}

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计量局的一个特别的铂-铱圆柱体，其质量定义为标准 1 kg。表 1-3 给出了一些物体的质量范围（地球上 1 kg 质量约 2.2 磅）。

在解决原子和分子问题时，我们通常使用统一的**原子质量单位**（**unified atomic mass unit**）(u)。以千克为单位，1 u = 1.660 5×10^{-27} kg。

其他量的标准单位的定义，我们将在后面的章节与它们相遇时再讨论。

单位前缀

在公制中，较大和较小的单位都定义为标准单位的 10 的倍数，这就使得计算特别容易。1 km 为1 000 m，1 cm 为 1/100 m，1 mm 为 1/1 000 m 或 1/10 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 为 1/100 L，1 kg 为 1 000 g。

单位制

当用物理学的定律和公式解决问题时，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**（法语：**Système International**），简称 SI。在 SI 单位制中，长度的标准单位为米，时间的标准单

位为秒，质量的标准单位为千克。常被称为 MKS（米-千克-秒）制。

另一个公制是 **cgs 制（cgs system）**，其中厘米（centimeter）、克（gram）和秒（second）分别是长度、质量和时间的标准单位，缩写为 cgs 制。

英制（British engineering system） 使用英尺为长度的标准单位，磅为力的标准单位，秒为时间的标准单位。

本书中我们基本上使用 SI 单位制。

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}

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 制中的 7 个基本量列于表 1-5 中。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，它被定义为路程除以经过该路程所需要的时间。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，这称为**运算操作定义（operational definition）**。

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
热力学温度	开尔文	K
物质的量	摩尔	mol
发光强度	坎德拉	cd

1-5 单位转换

我们测量的任何一个量如长度、速度或电流都由数值和单位组成。我们常常得到的是用一个单位制给出的量，却要用另外一个单位制来表示这个量。比如，测得一张桌子的宽度为 21.5 英寸，但我们想用厘米表示。这样，我们就必须用到**换算系数（conversion factor）**。本例中的换算系数定义为

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

或者，用另一种方式表示为

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

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

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

注意消去的单位（本例中的英寸）。再看下面一些例子。

物理应用

世界高峰

例 1-2 **8 000 m 高的山峰。** 世界上有 14 座高 8 000 m 以上的山峰（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： 我们只需简单地将米转换为英尺，可以从换算系数 1 in= 2.54 cm 开始。因为 1 in= 2.540 0 cm，这是一个常数，所以可以按需取有效数字。

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，重写上式可以得到 1 米有多少英尺

$$1\ \text{m} = \frac{1\ \text{ft}}{0.304\ 8} = 3.280\ 84\ \text{ft}$$

将该式乘 8 000.0（有 5 位有效数字）

$$8\ 000.0\ \text{m} = (8\ 000.0\ \cancel{\text{m}})\left(3.280\ 84\ \frac{\text{ft}}{\cancel{\text{m}}}\right) = 26\ 247\ \text{ft}$$

8 000 m 的海拔为海平面上 26 247 ft。

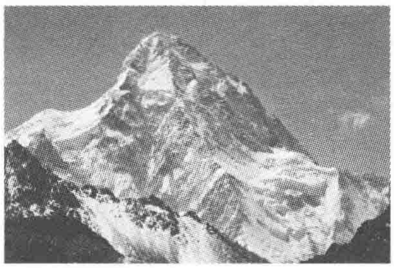


图 1-6 从北面（中国）看过去的世界第二高峰 K2，是公认的 8 000 m 以上最难攀登的高峰

注： 我们可以在一行中完成该单位的换算

$$8\ 000.0\ \text{m}=(8\ 000.0\ \cancel{\text{m}})\left(\frac{100\ \cancel{\text{cm}}}{1\ \cancel{\text{m}}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{\text{in}}}{2.54\ \cancel{\text{cm}}}\right)\left(\frac{1\ \text{ft}}{12\ \cancel{\text{in}}}\right)=26\ 247\ \text{ft}$$

关键是乘以换算系数，每一个都为 1（=1.000 0）以确保单位消去的需要。

练习 E 世界上有 14 座 8 000 m 以上的山峰（例 1-2），它们的名称和高度列于表 1-6 中，它们位于印度、巴基斯坦、中国西藏的喜玛拉雅山区，以英尺表示世界最高的 3 座山峰的高度。

表 1-6 8 000 m 以上的山峰

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

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： 换算系数为 1 in = 2.54 cm，这次我们需两次使用该换算系数。

解： 因为 1 in = 2.54 cm = 0.025 4 m，所以 $1\ \text{ft}^2=(12\ \text{in})^2(0.025\ 4\ \text{m/in})^2=0.092\ 9\ \text{m}^2$。则 $880\ \text{ft}^2=(880\ \text{ft}^2)(0.092\ 9\ \text{m}^2/\text{ft}^2)\approx 82\ \text{m}^2$。

注： 按照约定俗成，以平方英尺给出的面积大约 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： 我们再次使用换算系数 1 in=2.54 cm，1 英里为 5 280 英尺，1 英尺为 12 英寸，1 小时为（60 min/h）×(60 s/min) = 3 600 s/h。

解： (a) 我们可以将 1 英里写为

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

我们知道 1 h 为 3 600 s，所以

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

四舍五入为 2 位有效数字。

(b) 我们用 1 mi = 1 609 m = 1.609 km，那么

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

注： 每一个换算系数都为 1。

解决问题

换算系数=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？

解决问题

如果单位不能消去，则单位换算出错

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 1-4a中将 1 mi 换算为 1 609 m 时，如果使用换算系数为（100 cm/1 m）而不是（1 m/100 cm），那么，cm 单位就消不掉，就得不出以米为单位的结果。

1-6 数量级：快速估值

解决问题

怎样粗略估计

有时候我们仅仅对一个量的近似值感兴趣。其原因可能是精确计算太耗时而不值，或者因为精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。粗略估算一般是先将所有的数四舍五入到 1 位有效数字与 10 的幂次的乘

积，计算好后，结果再次保留 1 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。事实上，“数量级”有时简单地说就是 10 的几次方。

例 1-5 估算 湖水的体积。 估计图 1-7a 中湖水的体积。将湖近似为圆柱体，直径为 1 km，平均深度约为 10 m。

解题思路：湖不可能为标准圆柱体，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 为圆的半径，$r=1/2\ \mathrm{km}=500\ \mathrm{m}$，所以，体积大约为

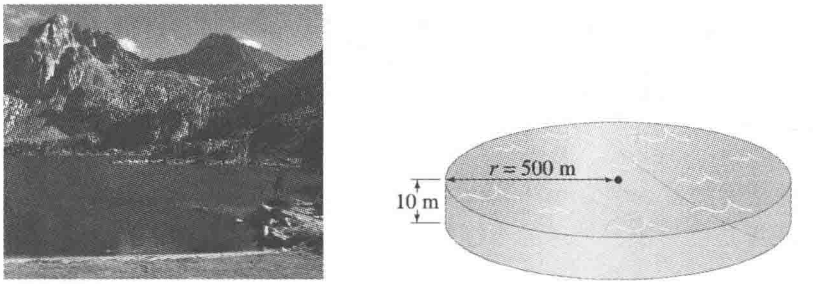
$$V=h\pi r^2\approx(10\ \mathrm{m})\times(3)\times(5\times10^2\ \mathrm{m})^2\approx8\times10^6\ \mathrm{m}^3\approx10^7\ \mathrm{m}^3$$

这里 π 四舍五入取 3，所以体积的数量级为 $10^7\ \mathrm{m}^3$，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（$10^7\ \mathrm{m}^3$）可能比数 $8\times10^6\ \mathrm{m}^3$ 要好。

注：以美制加仑表示结果时，$1\ \mathrm{L}=10^{-3}\ \mathrm{m}^3\approx\frac{1}{4}$ 加仑。因此，湖水有 $(8\times10^6\ \mathrm{m}^3)[1\ 加仑/(4\times10^{-3}\ \mathrm{m}^3)]\approx2\times10^9$ 加仑。

物理应用

怎样粗略估计



(a) (b)

图 1-7 (a) 湖里有多少水？(图片所示为加利福尼亚州内华达山脉的瑞拉湖)；(b) 将该湖看作一个圆柱体模型。[我们可以更进一步估算湖水的质量或重量。水的密度为 $1\,000\ \mathrm{kg/m^3}$，质量约为 $(10^3\ \mathrm{kg/m^3})(10^7\ \mathrm{m^3})\approx10^{10}\ \mathrm{kg}$，或 10 000 000 t（1 t 为 1 000 kg，约 2 200 lb，略大于 2 000 lb。）]

例 1-6 估算 纸的厚度。 请估算某本书一页纸的厚度。

解题思路：一开始你可能认为需要用特殊仪器如测微计（图 1-8），因为用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（不变性）：有理由认为这本书每一页纸的厚度都相等。

解：我们可以马上用米尺测量一下几百页书的厚度，如果你测量一下某本书第 1 至 500 页（实际为 250 张纸）的厚度大约为 1.5 cm。那么，每一页纸的厚度大约为

$$\frac{1.5\ \mathrm{cm}}{250}\approx6\times10^{-3}\ \mathrm{cm}=6\times10^{-2}\ \mathrm{mm}$$

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

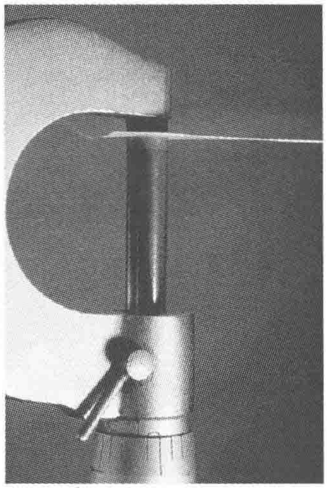


图 1-8 例 1-6，测量微小厚度的测微计

例 1-7 估算 建筑物的高度。 在公交站牌柱子和朋友的帮助下，利用“三角形法则”估算图 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，估算出柱子高度为 3 m，向离开柱子方向走，直到柱子顶与建筑物顶在一条直线上，如图 1-9a 所示。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，

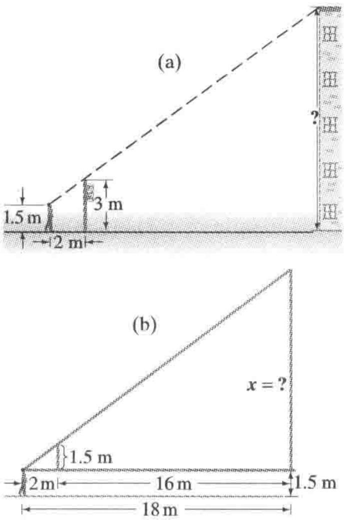


图 1-9 例 1-7，作图法很有用

另一只手扶着柱子，你和柱子之间距离大约为 2 m（图 1-9a）。然后，你迈着每步 1 m 的大步从柱子走向建筑物，一共走了 16 步即 16 m。

解： 用测量的数据按比例画出图 1-9b。可以在图上量出三角形一直角边（位于右边）的长度为 $x = 13$ m。也可以用相似三角形法得到建筑物高度 x 为

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

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

例 1-8 估算　地球的半径。 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，从地图上估算出你到湖对岸的距离 $d \approx 6.1$ km，用图 1-10 中高度 $h = 3.0$ m 来估算地球的半径 R。

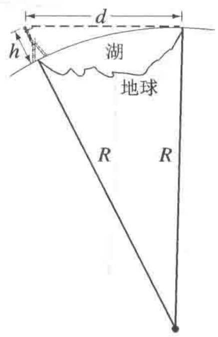


图 1-10 例 1-8，（未按比例）如果你站在梯子上，你就可以看见 6.1 km 宽的湖对岸的小岩石

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

解： 如图 1-10 所示的直角三角形，两直角边是地球的半径 R 和距离 $d = 6.1$ km= 6 100 m，斜边的长度大约为 $R + h$，$h = 3.0$ 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：

$$R \approx \frac{d^2 - h^2}{2h} = \frac{(6\ 100\ \mathrm{m})^2 - (3.0\ \mathrm{m})^2}{6.0\ \mathrm{m}} = 6.2 \times 10^6\ \mathrm{m} = 6\ 200\ \mathrm{km}$$

注： 地球半径的精确测量数据为 6 380 km。瞧，通过一些简单的粗略测量和初等几何，你就很好地估算出了地球的半径！你不需要去太空测量，也不需要用很长的绳子去测量。现在你知道本章第一页开篇问题的答案了吧。

例 1-9 估算　心跳的总次数。 估算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： 以秒为单位，1 年为 (24 h/d)(3 600 s/h)(365 d) $\approx 3 \times 10^7$ s。如果人的平均寿命为 70 年 = (70 年)(3×10^7 s/年) $\approx 2 \times 10^9$ s，所以，心跳总次数约为

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

即 30 亿次。

解决问题

估计一城市中有多少个钢琴调音师

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。要粗略地估算现今有 70 万居民的旧金山市拥有的钢琴调音师的数量级，我们可以通过估算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架数来进行。若要估算旧金山的钢琴数量，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 人拥有 1 架钢琴。作为一个数量级估算，假定每 10 人拥有 1 架钢琴，这比每 100 人拥有 1 架

钢琴或者每个人拥有1架钢琴当然更合理。这样，每10人拥有1架钢琴，旧金山约有7万架钢琴。如果一个钢琴调音师对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周大约可以调1 000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，这只是粗略的估算。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，所指的是基本单位的类别或形成这个量的基本量的类别。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。再如，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，三角形面积用底边b和高度h表示为$A=bh/2$，而半径为r的圆面积为$A=\pi r^2$。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关系分析，这一分析称为**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错误。请注意，必须添加或消去具有相同量纲的量（即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，假设推导出公式$v=v_0+\frac{1}{2}at^2$，其中v为t时刻物体的速度，v_0为物体的初始速度，a为物体的加速度。我们可以做一下量纲分析，检查这个公式是否可能正确或一定不正确。注意用数字表示的系数并不影响量纲检验。我们写出如下所示的量纲公式，记住，速度的量纲是$[L/T]$。

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

量纲不正确，公式右边相加的量，它们的量纲不相同。因此，我们得出的结论是：原始公式的推导过程出错。

量纲检验只能告诉你关系式不正确，它不能告诉你关系式是否完全正确。例如，无量纲数值系数（如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，假设你记不清长度为l的单摆周期T（作一个来回摆动的时间）的公式是$T=2\pi\sqrt{l/g}$还是$T=2\pi\sqrt{g/l}$，其中g为重力加速度，像所有的加速度一样具有量纲$[L/T^2]$。（不用过多地考虑这些公式——在第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：

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

而后一个公式（g/l）不正确：

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