

308

602517

4066. 2

A. H. 克罗默 著

生命科学用 **物理学**



武汉大学图书馆

基本馆藏

SHENGMING KEXUE YONG WULIXUE

生命科学用物理学

(第 二 版)

A. H. 克罗默 著

实 验 指 导

A. H. 克罗默 著
R. I. 鲍 顿

王鸿儒 蒋 霖 蒋连伟
刘子遥 文宗曜
李邦烈 舒辰慧 魏崇卿
王 照 沈树声 戴学勋
合 译
王 鸿 儒 校

人 民 卫 生 出 版 社

PHYSICS
FOR
THE LIFE SCIENCES
Second Edition
A. H. CROMER
Laboratory Manual
to Accompany
Physics for the Life Sciences
A. H. CROMER R. I. BOUGHTON
McGraw-Hill Book Company
1977

生命科学用物理学

(第二版)

实验指导

王鸿儒等译

人民卫生出版社出版

人民卫生出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 38 $\frac{1}{4}$ 印张 4插页 894千字

1980年11月第1版第1次印刷

印数：1—5,000

统一书号：14048·3793 定价：3.60元

译 者 的 话

本书是供生物学、医学、药学、体育和有关卫生科学等专业用的物理教科书。内容的选材主要根据生物科学的需要，同时考虑到作为入门的物理课程的水平。因而本书既包括普通物理学教科书的范畴，部分章节又反映生物科学的特殊要求而不同于普通物理学教科书。

书中突出了与生物科学的联系，通过运用生物学实例阐明每一物理原理和编入大量与生物科学有关的物理习题，对于切合于生命过程的内容一遇机会即予强调。

书中所用数学限于初等代数和三角，较切合上述专业的实际需要，有利于直接致力于物理内容的学习。

为配合本书的教学，另外出版了一册实验指导，这里一并译出，附于书后，供读者参考选用。

本书可供上述各专业的学生、工作人员及物理教师阅读参考。

根据目前需要，将此书译成中文，但由于水平和时间所限，书中谬误之处必然不少，请读者批评指正。

序

本书目的是给生物学、药学、医预、理疗、体育和有关卫生科学等专业学生提供在专业工作中所需要的物理学基础。根据对生命科学的适用性和适合于入门的物理课程进行选材。这些准则导致对某些章节的变更，但并未因此而削减普通物理教科书所应有的广阔领域。

由于生命科学专业的学生往往不了解学习物理课的必要性，因而本书通过运用生物学实例阐明每一物理原理和编入大量与生命科学有关的物理习题，对于切合于生命过程的内容，一遇机会即予以强调。作者发现，如此处理增进了那些可能对物理缺乏积极性的学生的学习兴趣和。

本书中的数学限于初等代数和三角，因为许多学生，甚至已经学过微积分的学生，并不善于从高等数学的应用中受益。仅仅运用初等数学可使学生直接地致力于物理学。

应第一版读者的要求，增加了以下内容：简谐振动、动量、热传递、透镜象差和测试仪器。为了给增添部分以篇幅，删去以下内容：简单机械、声速的推导、相对论和厚透镜。其它的重要改动是：重写第五章(能量)，有关热的一切内容都移后到第十一章作适当处理，并增加了关于现代研究中生物磁学的讨论。

本书共分六编：力学、物性学、热学和热力学、波动现象(包括光学)、电磁学(包括测试仪器)和现代物理学。

第一编(力学)中的第二、四、五、六章，包括其它部分所需要的力、加速度、能量和动量的基本概念。第二、三章，为了适应理疗和体育专业学生的需要，构成了一个静力学的独立单元。在第一章中初次引入的相似标度的概念，在第五章中用来导出动物的大小和机能之间的有趣的联系。

第二编中的第七章(物性学)，包括流体的静力学和动力学的性质及其在呼吸和循环中的应用。与生物学有关的气体、液体和固体的特性编入了第八章和第十章。

第三编(热学和热力学)分为两章。热学章(第十一章)讨论了热力学第一定律、比热和热传递，热力学章(第十二章)讨论了热力学转换、热力学第二定律和熵。第十二章超出了通常的热力学导论的范围，是为了增加熵和自由能的概念，因为这些概念对理解化学反应动力学是非常重要的。

声学、光学和光学仪器包括在第四编(波动现象)中，这一编与第二编无关，可在第二编之前学习。

第五编增加了电磁学原理在生物电现象(第十八章)、生物磁现象(第十九章)和生物医学测试仪器(第二十章)中的应用。

量子物理学基础及其在化学中的意义，包括在第六编第二十一章(现代物理学)中。第二十二章增加了为理解核医学的新进展所需要的核物理概念。

在多数章中的最后一、二节所介绍的较深的内容或特殊应用，可以省略而对连续性没有妨碍。通过对这些节的取舍来调整课程的广度和深度，以适应课程的需要。在每章末尾的种种习题中，对属于比较困难的习题采用(*)号标记。

作者感谢第一版的读者花费时间寄来对本书所提的改进意见。经逐一认真考虑后，很多建议已在本书中采纳。最后的手稿业经 A. Macnow (McGraw-Hill 公司) 女士、R. E. Adelberger 教授 (吉福德大学)、C. D. Teague 教授 (东肯塔基大学)、E. A. McGinnis 教授 (斯克兰顿大学) 和 J. E. Mulhern 教授 (新汉普郡大学) 细心审阅，在纠正错误和澄清含混问题上给予了很大帮助，对此作者表示深切感谢。本版中凡未改正的错误，概由本人负责。

A. H. 克罗默
(王鸿儒 译)

目 录

序

第一编 力学	1
第一章 测量	1
1.1 物理知识的来源	1
1.2 测量	2
1.3 精确度, 有效数字和实验误差	6
1.4 标度: 数学分析入门	8
第二章 力	15
2.1 力的特性	15
2.2 几种特殊的力	17
2.3 共线力举例	23
2.4 力的分量	27
2.5 共面力举例	30
第三章 力矩	39
3.1 转动平衡	39
3.2 重心	43
3.3 平衡	45
3.4 关于力矩的例题	49
第四章 动力学	65
4.1 参照系	65
4.2 速度和加速度	66
4.3 牛顿第二运动定律	74
4.4 单位制	75
4.5 关于牛顿第二运动定律的例题	76
第五章 能量	87
5.1 功和动能	87
5.2 位能	91
5.3 引力位能	97
5.4 谐振子位能	101
5.5 能量守恒	104
5.6 功率和代谢率	107
第六章 动量	116
6.1 质心定理	116
6.2 动量守恒	119
6.3 碰撞	122
第二编 物性学	129
第七章 流体	129

7.1 物质的三相	129
7.2 压强	130
7.3 重力对流体的影响	134
7.4 浮力	143
7.5 流体流动	147
第八章 气体	160
8.1 原子质量	160
8.2 温度	162
8.3 理想气体	164
8.4 理想气体运动论	167
8.5 实气体	171
第九章 液体	178
9.1 汽化热	178
9.2 表面张力	181
9.3 毛细作用	185
9.4 渗透作用	188
9.5 负压	198
第十章 固体	199
10.1 晶状固体	199
10.2 固体的力学性质	202
10.3 非晶状固体	207
10.4 生物材料	209
第三编 热学和热力学	213
第十一章 热学	213
11.1 热力学第一定律	213
11.2 比热	215
11.3 热传递	218
11.4 人体的温度调节	222
第十二章 热力学	227
12.1 热力学转换	227
12.2 热力学第二定律	229
12.3 第二定律的统计学表述	233
12.4 熵, 自由能, 热函 (焓)	236
第四编 波动现象	243
第十三章 波	243
13.1 在张紧的绳上的波	243
13.2 波的数学理论	246
13.3 叠加	248
13.4 正弦波	250
13.5 驻波	256
第十四章 声学	263
14.1 机械纵波	263

14.2	声强	266
14.3	驻波和共鸣	270
14.4	人的声音	273
第十五章 光学		279
15.1	光的本性	279
15.2	干涉和衍射	282
15.3	反射和折射	287
15.4	彩色	293
15.5	偏振	298
第十六章 光学仪器		307
16.1	透镜	307
16.2	实像和单透镜仪器	309
16.3	虚像	315
16.4	双透镜仪器	318
16.5	人的眼睛	324
16.6	像差	325
第五编 电磁学		333
第十七章 电学		333
17.1	基本力	333
17.2	库仑定律	334
17.3	电场	340
17.4	电位	343
17.5	电子束	346
第十八章 电流		353
18.1	欧姆定律	353
18.2	电路网络	357
18.3	交流电路	362
18.4	电容器	366
18.5	生物电	368
第十九章 磁学		380
19.1	磁铁	380
19.2	电磁	382
19.3	磁力	388
19.4	磁感应	392
19.5	生物磁学	396
第二十章 测试仪器		405
20.1	测试仪器的基本原理	405
20.2	量计	406
20.3	放大器	410
20.4	换能器	414
第六编 现代物理学		418
第二十一章 原子		418

21.1	波粒二象性	418
21.2	原子的玻尔模型	421
21.3	量子力学	428
21.4	复杂原子和周期表	430
21.5	化学键	436
第二十二章 原子核		440
22.1	原子核的结构	440
22.2	放射性	446
22.3	裂变和聚变	450
22.4	核辐射	455
22.5	核医学	460
附录		471
附录 I	十的幂次表示法	471
附录 II	对数	474
附录 III	角度和三角形	476
附录 IV	绳上横波的速率	480
附录 V	国际单位制	482
附录 VI	本书中采用的符号汇编	484
附录 VII	物理常数	485
附录 VIII	太阳系数据	486
附录 IX	一些常用的换算关系	486
附录 X	元素表	487
附录 XI	三角函数表	488
附录 XII	平方根表	489

实 验 指 导

序	492
导言	493
力学	497
实验一 测量	497
实验二 力	501
实验三 力矩	506
实验四 加速度	509
实验五 功和能	517
实验六 热功当量	522
物性学	530
实验七 流体的压强	530
实验八 液体的流动	535
实验九 波义耳定律	539

实验十 温度	541
实验十一 蒸汽压	545
实验十二 表面张力	548
波动现象	553
实验十三 驻波	553
实验十四 干涉和衍射	557
实验十五 反射和折射	561
实验十六 透镜	566
电磁学	571
实验十七 电场	571
实验十八 欧姆定律	574
实验十九 基尔霍夫定律	578
实验二十 示波器	582
实验二十一 磁场	587
现代物理学	593
实验二十二 原子光谱	593
实验二十三 光电效应	598
实验二十四 核辐射	601
实验二十五 核衰变	604

第一编 力 学

关于物质世界的本性问题，自然哲学家曾经思索了几千年。在两千多年前，古希腊科学家对于若干孤立的问题获得了相当大的进展，但是直至伽利略和牛顿建立起力学的基本定律之时，对一切物理现象才有了连贯的认识。力学所研究的是物体保持静止的条件(静力学)，和支配物体运动的定律(动力学)。这些定律的应用范围是普遍的，既适用于跑道上的赛跑运动员，也适用于围绕地球运动的卫星。尤为重要的是，力学是建立物理学其它部门的基础。

第一章 测 量

人和事物具有许多不同的属性，如长度、重量、颜色、美感及爱国主义。其中某些属性是明确可量度的，而另一些则是不可量度的。测量长度和重量存在着明确的程序，但美感或爱国主义则不然。〔颜色处于中间状态，因为虽然对每种颜色可以规定一个数值(15·4节)，但却不能把各种颜色依次排列。〕物理学是研究事物可量属性的。物理学的基本概念根据测量来加以定义，而物理理论的目的就是使测量结果相互关联。物理理论不管它表达得多么抽象，但归根结底它是实验室中所完成的具体工作的表述。

1·1 物理知识的来源

现代物理学是由两支不同的源流汇合而成的。其一可追溯到早先小亚细亚哲学家，他们是有史以来最先提出关于物质世界本性(物理)问题的人。虽然他们的推理往往倾向于推测而不是科学，但已摆脱了曾使当时很多人思想混乱的神话色彩。

在小亚细亚的希腊殖民地埃俄尼亚(Ionia)，特别是买勒吐斯市(Miletus)哲学家塞利斯(Thales, 公元前640?~546)、阿纳赫曼德(Anaximander, 公元前610~545)、阿纳赫麦纳斯(Anaximenes, 公元前?~525)和其他人发展了物质世界的统一概念。他们认为诸如石块、树木、云和马那样的物体之间尽管有明显差异，但是万物存在着根本的同一性。虽然他们每个人关于万物的本源有不同的见解(塞利斯认为是水，阿纳赫曼德认为是空气)，但他们关于物质统一的总概念仍然是现代物理学的主要学说。

埃俄尼亚哲学家们也是真正的科学家，他们继承了埃及人和巴比伦人早先的工作。在数学、天文学、地质学和生物学中均取得了重要进展。公元前第五世纪在希腊半岛和公元前第四世纪与第三世纪在希腊城市〔特别是亚历山大(Alexandria)〕，人们继续了他们的工作。西西里伟大的阿基米德(公元前287~212)生活在这段时间的末期，他在静力学和流体静力学方面的工作，非常接近现代物理学。而在其后的1800年间这方面的进展是如此之小，以致可以认为，假如让阿基米德来理解伽利略(1564~1642)的著作，他也不会感到多大困难。事实上阿基米德可能已经开创了物理学知识的第二个源流，这

与早先希腊人对万物本源的研究一起构成了现代物理学。但遗憾的是，他写的著作的大部分在欧洲已长期失传，故物理学的第二个源流直到伽利略时才明确地出现。

正是伽利略发展了用实验测量和数学分析研究简单系统的现代方法。他研究了沿斜面下滑物体的运动，分清了运动的有关特征和无关特征。有关特征通常是可测量的量，如物体的质量或物体经过一定距离所需的时间。他试图寻找这些数量间的联系，并用数学关系来表达其结果。事实证明，研究的结果往往可以概括为非常简单的关系，例如，物体沿斜面下滑的距离与它所经历的时间的平方成正比。伽利略指出：自然界的定律（至少是其中的某些定律）遵循简单的数学方程。从此以后物理学家才对联系他们测量结果的数学关系进行了持续不断的研究。

那么物理学是什么呢？物理学是目的又是方法。其目的就如同古希腊人一样，是寻求万物的本质。而方法则如伽利略那样，是用实验和数学分析来研究简单系统。研究的问题有时似乎很幼稚，而有时似乎又很深奥。伽利略使球沿斜面向下滚动；焦耳旋转水中桨轮；卢瑟福用稀有放射性元素做实验。这一次又一次的结果导致了对万物的本质的深刻认识，实现了古希腊哲学家只可能幻想的目标。

本书中我们将学习物理学的方法以及自伽利略以来 400 多年中取得的某些成果，这些成果对于对万物的本质感兴趣的任何人都是重要的，因为它们普遍适用于包括有生命的机体在内的整个物质世界。正如我们在本书中将要看到的，对于理解诸如躯体运动、血液流动、发音等生物学过程的机制，物理学的确是必不可少的。我们深信总有一天，生命本身的奥秘是可以通过物理学的基本定律来弄清楚的。

1.2 测 量

物理学研究能够测量之物。能够测量什么在很大程度上取决于当时的技术状况。例如，在放射性探测装置发明之前，放射性物质发出的射线是不可能测量的。随着新的发明而扩大了可能测量的范围，物理学的内容不断地增加。

一切科学，在某种程度上都依赖于测量，但通常测量对于主要目的来说，只是辅助性的。例如，动物学家为了确定药物对小白鼠生长的影响，需要仔细地称量它们的重量。这个测量对于研究药物的新陈代谢作用问题来说，不是主要的。然而，在物理学中，测

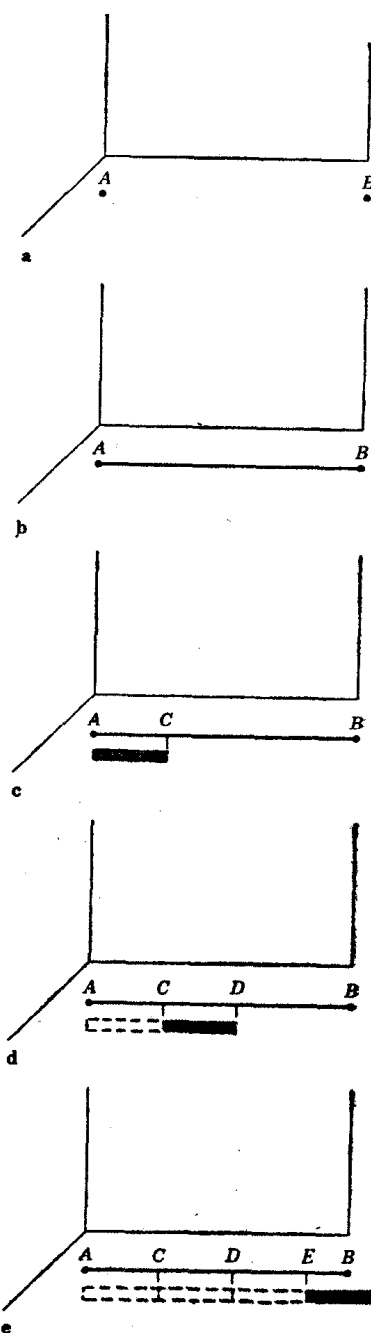


图 1.1 测量一个房间长度所需要的步骤

量本身就是研究的主要对象，因为诸如长度、时间或温度这些特定的概念，只有通过其测量方法来理解。定义事物的这种手段称为**操作** (operationalism)。操作的运用避免了把毫无根据的、形而上学的意义强加于概念，同时也避免了引入可能是错误的涵义。

举长度的概念为例。某物的长度操作上可用一数值来规定，这数值是当一系列特殊的、称为**测量它的长度**的操作完成时才能得到的。这些操作可通过考察测量一间房子所需的步骤来说明：

- 1 标明两点，使其一在房间的任一端(图 1·1a 的点 A 和 B)。
- 2 在此两点间拉直一条测量员的测链(一条绳即可)以定出它们之间的直线(图 1·1b)。
- 3 取一米尺沿拉直的测链放置，使一端置于 A 点，在尺的另一端接触测链处作一标记(图 1·1c 中 C 点)，沿测链移动米尺直到前端对准这一标记(图 1·1d)。重复此步骤直至达到 B 点为止。
- 4 当到达 B 点时，米尺将处于图 1·1e 标出的位置，在其与 B 点接触点处作出标记。
- 5 **长度**(以米为单位)就是测链上的标记数，加上从测链上的最后标记 E 到 B 点所需的米尺的那一部分。

我们看出，通过详细叙述测量一个长度的实际程序，可以不涉及关于空间或距离本质的任何东西。长度就是用米尺测量之所得，就研究物理学问题而言，我们决不需要比这更多的任何东西。

测量通常是与某个称为单位的标准比较来实现的。在上述例子中单位是米，最后测得的结果定为多少米，如 3.7m。这个结果也可换为另外的单位，只要长度米和这些单位的换算关系已知就行了。例如，从米换算为厘米是

$$1\text{m} = 100\text{cm}$$

所以该房间的长度为

$$(3.7\text{m})(100\text{cm}/\text{m}) = 370\text{cm}$$

从米换算为英尺是

$$1\text{m} = 3.28\text{ft} \quad \text{或} \quad 1 = 3.28\text{ft}/\text{m}$$

所以长度也可以是

$$(3.7\text{m})(3.28\text{ft}/\text{m}) = 12.1\text{ft}$$

例题1 已知一升等于 0.264 加仑，试问 20 加仑相当于多少升？

在换算单位过程中，通常的困难在于确定换算因子是应该乘还是除。为了看出在例中应怎样作法，我们首先写出升 (l) 与加仑 (gal) 之间的关系

$$1 \text{ 升} = 0.264 \text{ 加仑}$$

因为我们希望从加仑换算到升，故以 0.264 gal 除方程两边，找出一加仑相当于多少升

$$\frac{1 \text{ 升}}{0.264 \text{ 加仑}} = \frac{0.264 \text{ 加仑}}{0.264 \text{ 加仑}}$$

或

$$1 = 3.79\text{l}/\text{gal}$$

$$20 \text{ 加仑} = (20 \text{ 加仑})(3.79 \text{ 升/加仑}) = 75.8 \text{ 升}$$

值得注意的是,当把单位按代数符号来处理时,经过某些相消后,正确的单位就会出现最后的答案中。

同样,从升换算为加仑,我们可以用升乘以下列因子

$$1 = 0.264 \text{ gal/l}$$

有一个时期米和英尺曾分别是法国和英国的国家长度标准,而如今米已成为所有国家长度的科学标准。并且是除了美国以外的大多数国家的国家标准(甚至英国也已经改成米制了),米制详见附录V。英制单位与米制单位之间的换算见本书封底前页。

在许多有意义的情况中,直接用米尺来测量长度是不可能的,必须采用间接的方法。但即使在间接测量中,有些步骤仍然必须进行米尺类型的测量。

例如,为了测量隔河两点A和B之间的距离 d 时(图1·2),在测量员所在的河岸一边选第三点C,用经纬仪在B和C处测角 θ_1 和 θ_2 。如上所述用测链和米尺测量基线BC的长度 b ,运用正弦定理,即可以从这些结果求得长度 d 。

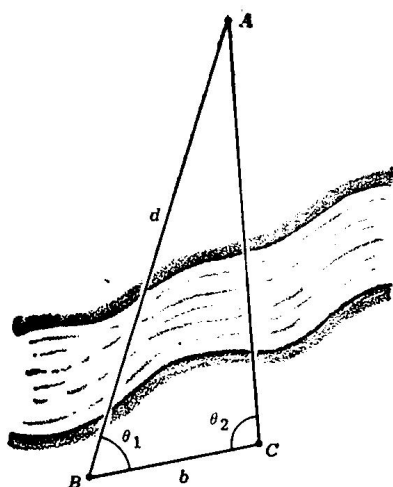


图1·2 隔河对岸两点A和B之间的距离
 d 通过测量距离 b 、角 θ_1 和 θ_2 求得

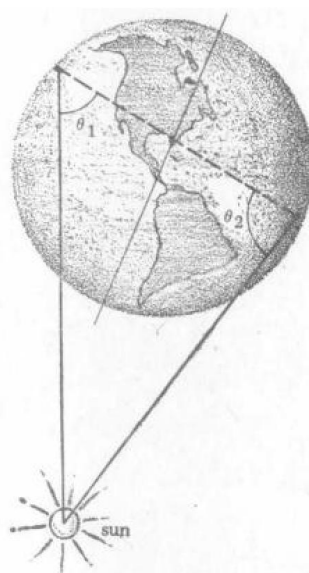


图1·3 从地球上相距已知距离的两点,
分别测量角 θ_1 和 θ_2 求出到太阳的距离
sun—太阳

但是,在本书中我们将尽可能地避免三角,对这类问题将用比例作图法来解决。

例题2 如图1·2中,已知 $b = 0.50 \text{ km}$, $\theta_1 = 80^\circ$, $\theta_2 = 85^\circ$,试求距离 d 是多少?
选适当比例,先作一比例图如

$$10 \text{ cm} = 1 \text{ km}$$

按比例画出5cm的基线,然后用量角器在B和C点分别作与BC线成 80° 和 85° 角的直线,这两条线延长交于A点,最后用尺测量AB间的距离并换算成原单位。在此例中,求得AB之长大约为19.2cm。按照我们规定的比例 $1 \text{ cm} = 0.1 \text{ km}$,所以

$$19.2 \text{ cm} = (19.2 \text{ cm})(0.1 \text{ km/cm}) = 1.92 \text{ km}$$

作图法虽不如三角法精确，但其概念简明，对我们来说，在大多数情况下已足够精确。我们将在本章末列举一些测量问题，为读者在下一章学习矢量作准备。

地球上的大距离可以通过一系列这样的小距离三角测量来测量。地球本身的大小就是用这种方法最终测定出来的。只要知道了地球的大小，就能通过测量在同一时刻太阳到地球任何两点的张角，并以此两点间的已知距离作为基线，而求得地球到太阳的距离（图 1·3）。然后再利用地球-太阳轨道直径为基线，测量地球到附近恒星的距离（图 1·4）。这样，往往通过大量的中间测量步骤，甚至把天文测量与运用测链和米尺的直接测量联系起来了。

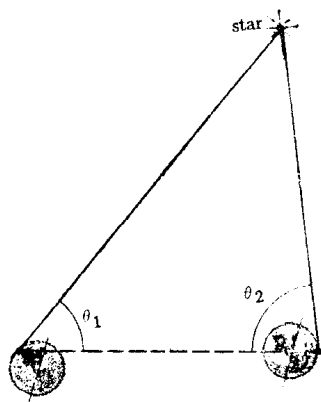


图 1·4 利用地球-太阳轨道的直径
作基线，求出太阳到恒星的距离
star—星球

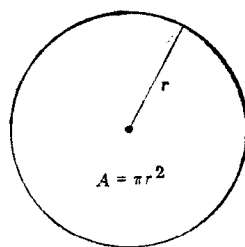


图 1·5 半径为 r 的圆

其他的概念要求另外的测量方法。时间是一个特别微妙的量。为了测量时间，需要一种不断重复某个事件的装置，因而可取发生两次事件之间的间隔作为时间单位。地球自转是很符合这一要求的。时间单位可以是一个恒星日，即一给定的恒星在两个相继夜晚通过天空最高位置（天顶）之间的时间。（这不同于平均太阳日，或 24 小时日，它是太阳相继两次通过天顶之间的时间在一年内的平均值。）

时钟是一再重复某事件的机械装置，它对照地球的自转而进行校正，时钟与地球所确定的时间的差异是由于两者之中有一个不准确而造成的。原子钟之所以比地球更精确，是因为地球海洋与海底之间的潮汐摩擦，使地球的转动并非绝对匀速的缘故。

时间的标准是秒(s)，在 1967 年以前定义为：1900 年的平均太阳日的 $1/86,400$ 。它不同于现行的 24 小时日的 $1/86,400$ 。因为地球的自转速度从 1900 年以来已经变化，地球这个时钟走得稍慢了一点。为了校正它，多出的一秒已加到 1972 年 7 月 30 日上。^①

长度与时间是物理学中两个基本量，我们还要引入另外三个基本量，质量、温度和电荷。所有其他量将通过这些量来定义。例如，在汽车竞赛中，汽车的(平均)速率 v 是汽车行驶的距离 d （由测量跑道长度和跑的圈数得到）除以经过的总时间（用停表来测量）。通常平均速率由下式定义

$$v = \frac{d}{t}$$

^① 从 1967 年以后秒已由铯钟定义，铯钟是一个原子钟，它是由铯原子中电子跃迁来控制的。同样，米现在规定为：当气体氪在电激发时所发射橙光波长的 $1,650,763.73$ 倍。

一个物理量的量纲是定义它的基本(或导出)量的因子。我们把因子放在方形括号中表示这个量的量纲。例如,长度与时间的量纲可以简单表示为 $[l]$ 和 $[t]$,速度的量纲则由长度除以时间的定义或 $[l/t]$ 得到。

面积与体积的量纲也与 $[l]$ 有关,为了测量某一物体的面积(或体积),需要某种长度测量加上某些数学计算。例如,为了求圆的面积,需要测量它的半径 r (图 1.5)。如果 $r=2.5\text{m}$,则面积 A 为

$$A = \pi r^2 = \pi (2.5\text{m})^2 = 6.25\pi\text{m}^2 = 19.6\text{m}^2$$

在本例中,单位是平方米(缩写为 m^2),量纲为 $[l^2]$ 。同样,体积的单位是立方米(缩写为 m^3),量纲为 $[l^3]$ 。

例如,半径为 2.5m 的球的体积是

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4\pi}{3} (2.5\text{m})^3 = \frac{4\pi}{3} (15.6\text{m}^3) = 65.4\text{m}^3$$

如前所述,面积和体积可以用各种单位来量度,但是这些量中每一种量的量纲都是相同的。

1.3 精确度,有效数字和实验误差

对于任何测量的精确度,都有一定限度,它取决于使用的实验设备和实验的技能。例如,假若用一标有厘米和 $\frac{1}{10}$ 厘米(毫米)的米尺来测量这本书的大小时,其结果可以精确到 0.1cm ,即这尺的最小分度。要是用它来测量房间的大小,则精确度多半要降低。这是因为米尺必须沿地面移动(如图 1.1 所示)。在每一步测量时,都要在尺的末端对地面作标记,这样,又给测量引进了一个附加的误差来源。

确定测量的精确度和测量本身一样都是重要的。每个实验者都应同时给出测量值以及它的精确度的估计值。这本书的大小的测量值可表示为 $24.2 \pm 0.1\text{cm}$ 。符号 $\pm$ (读作“加或减”)意味着可相信的真实长度是界于 24.1 和 24.3cm 之间,量 0.1cm 是测量中的不精确度或误差。

在测量中,可能引入两种截然不同的误差,即偶然误差和系统误差。在房间的长度测量中,每次米尺沿地面上移动,都引入一偶然误差。在地面上标明米尺末端的标记时,也决不可能精确地对准末端,而总是多少有些偏离,每当移动米尺,使尺的前端与此标记对齐时,又引入了另一偶然误差。此后,尺子又可能放置在稍偏离此标记处。偶然误差的特征是,它可能使最终结果不是过大就是过小。虽然偶然误差是不可避免的,但是通过艰巨的工作,能使它减到极小的程度。因此,多次重复测量和平均这些测量的结果,将在很大程度上消除偶然误差。

系统误差通常来源于实验设备或实验程序的缺陷。如果米尺稍长于 1m (不完善的仪器),或者以上述方式作的标记总是作在尺子的前端(不完善的程序),那么,由此测量房间的长度将有系统误差。无论是上述情况中的那一种,纵然测量重复多少次,所得的测量结果,总是比房间的真实长度短。除非核对和重新检查仪器和程序,否则是无从发现和消除该实验中的系统误差的。

实验者表示的误差,通常仅仅是对偶然误差的估计。估量系统误差则是不合情理的,