

物理学

第一卷

第一册

[美] R. 瑞斯尼克 D. 哈里德 著

科学出版社

物 理 学

第一卷 第一册

[美] R. 瑞斯尼克 著
D. 哈里德

郑永令等 译

吴剑华 校

科 学 出 版 社

1 9 7 9

内 容 简 介

本书为美国近年来较为流行的高等院校理工科用物理学教材。原书分两卷，1960年初版，1966年第二版，1977年第三版作了较多修改。现在的中译本就是按原书第一卷1977年第三版译出的。

第一卷中译本分为两册。第一册内容为质点运动学、质点动力学、转动运动学、转动动力学、刚体的运动与平衡等。第二册内容为振动、万有引力、流体力学、波动、气体分子运动论、热力学等。

本书是一部普通物理学，适合我国高等院校理工科一、二年级师生作为教学参考书。

第一册由郑永令译前言与第一、二、三、四章，林荣富译第五、六章，李洪芳译第七、八、十四章，周鲁卫译第九、十章，吴子仪译第十一、十二、十三章。本册由吴剑华负责校订。

R. Resnick, D. Halliday
PHYSICS (Part I)
John Wiley, 1977

物 理 学

第一卷 第一册

[美] R. 瑞斯尼克 著
D. 哈里德

郑永令等译

吴剑华校

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979年12月第一版 开本：850×1168 1/32
1979年12月第一次印刷 印张：13 3/4
印数：0001—58,900 字数：358,000

统一书号：13031·1147

本社书号：1604·13—3

定价：1.70元

一些物理常数

(较为完全的常数表请看附录 B, 那里还列有最佳实验值)

光速	c	3.00×10^8 米/秒 1.86×10^5 英里/秒
质能关系	c^2	8.99×10^{16} 焦耳/千克 931 兆电子伏/原子质量单位
引力常数	G	6.67×10^{-11} 牛顿·米 ² /千克 ² 3.44×10^{-8} 磅·英尺 ² /斯勒格 ²
气体普适常数 ¹⁾	R	8.31 焦耳/摩尔·开 0.0823 升·大气压/摩尔·开
真空磁导率	μ_0	1.26×10^{-6} 亨利/米
真空电容率	ϵ_0	8.85×10^{-12} 法拉/米
阿伏伽德罗常数	N_0	6.02×10^{23} 个分子/摩尔
玻耳兹曼常数	k	1.38×10^{-23} 焦耳/分子·开 8.63×10^{-5} 电子伏/分子·开
普朗克常数	h	6.63×10^{-34} 焦耳·秒 4.14×10^{-15} 电子伏·秒
基本电荷	e	1.60×10^{-19} 库仑
电子静止质量	m_e	9.11×10^{-31} 千克
电子荷质比	e/m_e	1.76×10^{11} 库仑/千克
质子静止质量	m_p	1.67×10^{-27} 千克

一些物理性质

空气(干燥, 在 20°C 与 1 大气压下)

密度	1.29 千克/米 ³
定压比热	1.00×10^3 焦耳/千克·开 0.240 卡/克·开
比热比(γ)	1.40
声速	331 米/秒 1090 英尺/秒

水(在 20°C 与 1 大气压下)

1) 这里和全书中, “1 摩尔” = “1 克分子量” (= 10^{-3} 千克分子量).

密度	1.00×10^3 千克/米 ³ 1.00 克/厘米 ³
声速	1460 米/秒 4790 英尺/秒
折射率($\lambda=5890$ 埃)	1.33
定压比热	4.180 焦耳/千克·开 1.00 卡/克·开
溶解热(0°C)	3.33×10^3 焦耳/千克 79.7 卡/克
汽化热(100°C)	2.26×10^6 焦耳/千克 539 卡/克
地球	
质量	5.98×10^{24} 千克
平均半径	6.37×10^6 米 3960 英里
地球到太阳平均距离	1.49×10^8 千米 9.29×10^7 英里
地球到月球平均距离	3.80×10^5 千米 2.39×10^5 英里
标准重力加速度	9.81 米/秒 ² 32.2 英尺/秒 ²
标准大气压	1.01×10^5 帕 14.7 磅/英寸 ² 760 毫米汞高 29.9 英寸汞高

一些换算因子

(较为完全的换算因子请看附录 G, 这里只摘一部分)

质量

1 千克 = 2.21 磅(质量) = 6.02×10^{26} 原子质量单位

1 斯勒格 = 32.2 磅(质量) = 14.6 千克

1 原子质量单位 = 1.66×10^{-27} 千克

长度

1 米 = 39.4 英寸 = 3.28 英尺

1 英里 = 1.61 千米 = 5280 英尺

1 英寸 = 2.54 厘米

1 毫微米 = 10^{-9} 米 = 10 埃

时间

1 天 = 86400 秒

1 年 = 365 天 = 3.16×10^7 秒

角度

1 弧度 = $57.3^\circ = 0.159$ 转

π 弧度 = $180^\circ = 1/2$ 转

速率

1 英里/小时 = 1.47 英尺/秒 = 0.447 米/秒

电磁单位

1 库仑 = 3.00×10^9 静电库仑

1 安培 = 3.00×10^9 静电安培

1 韦伯/米² = 1 特斯拉 = 10^4 高斯

力与压强

1 牛顿 = 10^5 达因 = 0.225 磅

1 磅 = 4.45 牛顿

1 牛顿/米² = 10 达因/厘米² = 1.45×10^{-4} 磅/英寸² = 9.87×10^{-6} 大气压
= 7.50×10^{-4} 厘米汞高

能量与功率

1 卡 = 4.19 焦耳

1 焦耳 = 10^7 尔格 = 0.239 卡 = 0.738 英尺·磅 = 2.78×10^{-7} 千瓦小时

1 电子伏 = 1.60×10^{-19} 焦耳 = 1.60×10^{-12} 尔格

1 马力 = 746 瓦 = 550 英尺·磅/秒

一些常用的数

$$\sqrt{2} = 1.414 \quad \sqrt{3} = 1.732 \quad \sqrt{10} = 3.162 \quad \pi = 3.142$$

$$\pi^2 = 9.870 \quad \sqrt{\pi} = 1.773 \quad \log \pi = 0.4971 \quad 4\pi = 12.57$$

$$e = 2.718 \quad 1/e = 0.3679 \quad \log e = 0.4343 \quad \ln 2 = 0.6932$$

$$\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 0.5000 \quad \cot 30^\circ = \tan 60^\circ = 1.7321$$

$$\cos 30^\circ = \sin 60^\circ = 0.8660 \quad \sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 0.7071$$

$$\tan 30^\circ = \cot 60^\circ = 0.5774 \quad \tan 45^\circ = \cot 45^\circ = 1.0000$$

对数换底

$$\log x = \ln x / \ln 10 = 0.4343 \ln x$$

$$\ln x = \log x / \log e = 2.303 \log x$$

中译本前言

本书是美国近年来较为普遍采用的高等院校理工科用物理学教材。原书初版于1960年，书名为《高等院校理工科用物理学》。此后曾经多次修订再版。1966年起，书名改为《物理学》，并被许多理工院校采用作教材或主要参考书。本书的特点是取材比较全面系统，内容比较近代化，对物理概念的阐述比较清楚，叙述简明扼要，深入浅出，并附有大量的习题和思考题，以进一步加深读者对内容的理解。本书是一部普通物理学，适合我国高等院校理工科一、二年级师生作为教学参考书。

这次中译本按原书1977年第三次修订版译出。作者在第三版中对内容作了较多修订，并增加了不少新的习题和思考题，以提高教学效果。原书共两卷，中译本分成四册出版。

本书译文不当之处，欢迎读者批评指正。

第一卷第三版前言

《物理学》分为两卷。第一卷包括力学、声学 and 热学；第二卷包括电磁学、光学和量子物理学。第一版出版于1960年(书名为《理工科用物理学》)，第二版出版于1966年(书名改为《物理学》)。

本教材是打算给那些同时学习微积分的学生用的，例如理工科学生。它的着重点在于为学生掌握经典物理学原理打下一个坚实的基础，并增强解题的能力。但全书也注意到实际应用、最新理论以及历史的和哲学的论点。这一目的是通过一些专门的章节和思考题以及对内容所作的完整表述来达到的。在全书各处都举有许多例题，每章之末还附有大量习题。对于为学好本书内容已证明行之有效的教学方法给予了充分注意。

自从《物理学》第二版问世以来已有十一年了。在此期间本书一直受到全世界的欢迎，与此同时，我们一直与使用者保持着不断的通信联系，从这些联系中得出一个结论：现在出版一本新版本是适合时宜的。

在美国，米制单位的使用日益增多，在全世界也日益普遍。为了适应这一情况，我们更加重视了米制单位的应用，因而在全书中采用国际制(SI)单位及其命名法。对美国来说，现在计量单位正由英制向着国际制过渡，所以在看来合适的地方，我们仍保留了英制(工程制)的某些内容。为了帮助学生学习国际制单位，使他们对这种单位有一些感性认识，我们强调了两种单位制之间的换算关系。为此，特别在习题和例题中，我们常常用两种单位制来表示同一个数据。

为了改进教学，我们主要根据使用者的经验和最新的科学文献，对全书内容作了仔细审查。审查结果促使我们改写了某些部分，主要是改进它们的表述方式、注意内容的正确性和物理学的实

用性。对有些论题和内容增添了一些必要的新例题；更新了所有的参考文献，并增加了一些新插图，改进了许多旧插图，使它们更能说明问题；扩充并更新了表和附录，使它们提供较新的数据和较多的资料。此外，还增加了狭义相对论这一补充论题。

思考题和习题都作了较大改进。整个第一卷的题目数比第二版净增了35%，在总的1567题中有430题是新的。思考题数目现在是611题，而以前只有413题。这些思考题所涉及的概念范围较广，其着重点大体上放在现代的和应用的论题方面，并且在这些思考题中增加了许多新的科普参考资料，我们鼓励学生和教师利用它们。象思考题一样，大部分以前的习题仍保留下来，不过其中有一些作了修改，使其意义更加明确，但在第一卷中增加了225个新的经过试用的习题，以使所涉及的材料范围更广，所适应的学生水平更宽，并使教师有较多的选择余地。

为帮助学生和教师组织与演算这样大量的习题（以前是746题，而现在有956题），我们做了几件事。首先，将每章中的习题按节分组，就是说，在一组习题前冠以解题所需的主要原理所在章节的编号。其次，把每一组按节编号的习题大致按照难度逐渐增加的次序加以排列。当然，不论是节号的规定或是难度的安排，都不是绝对的，因为有些习题有不同的解法，各人又有不同的爱好，由此产生的教学效果就不一样。最后，我们在思考题和习题所用的插图下面加上该题的编号，并把编号为奇数的习题的答案直接放在题后，不再放在书末。

我们希望《物理学》第三版的出版，将对物理学的教学改进有所贡献。

R. 瑞斯尼克 D. 哈里德

1977年1月

目 录

中译本前言	iv
第一卷第三版前言	v
第一章 测量	1
1-1 物理量 标准与单位	1
1-2 国际单位制	2
1-3 长度标准	4
1-4 质量标准	7
1-5 时间标准	8
思考题	12
习 题	14
第二章 矢量	17
2-1 矢量与标量	17
2-2 矢量加法 几何方法	18
2-3 矢量分解与合成 分析方法	20
2-4 矢量乘法	25
2-5 矢量与物理定律	30
思考题	31
习 题	32
第三章 一维运动	38
3-1 力学	38
3-2 质点运动学	38
3-3 平均速度	39
3-4 瞬时速度	41
3-5 变速一维运动	42
3-6 加速度	46
3-7 变加速一维运动	48
3-8 匀加速一维运动	48

3-9	单位、量纲一致性的重要性	52
3-10	自由落体	56
3-11	自由落体的运动方程	57
	思考题	60
	习 题	62
第四章	平面运动	70
4-1	位移 速度与加速度	70
4-2	恒定加速度平面运动	71
4-3	抛体运动	73
4-4	匀速圆周运动	79
4-5	圆周运动的切向加速度	84
4-6	相对速度与相对加速度	86
	思考题	89
	习 题	91
第五章	质点动力学 (I)	100
5-1	经典力学	100
5-2	牛顿第一运动定律	102
5-3	力	105
5-4	质量 牛顿第二运动定律	106
5-5	牛顿第三运动定律	108
5-6	力学单位制	112
5-7	力的定律	114
5-8	重量和质量	115
5-9	力的静力学测量方法	117
5-10	牛顿运动定律的一些应用	118
	思考题	127
	习 题	129
第六章	质点动力学 (II)	137
6-1	引言	137
6-2	摩擦力	137
6-3	匀速圆周运动的动力学	145
6-4	力的分类 惯性力	150
6-5	经典力学 相对论力学与量子力学	152

思考题	156
习 题	158
第七章 功与能	166
7-1 引言	166
7-2 恒定力所作之功	167
7-3 变力所作之功 一维情况	172
7-4 变力所作之功 二维情况	175
7-5 动能与功能定理	177
7-6 功能定理的重要性	181
7-7 功率	181
思考题	183
习 题	184
第八章 能量守恒	191
8-1 引言	191
8-2 保守力	191
8-3 势能	196
8-4 一维保守系统	200
8-5 只与位置有关的一维力问题的完全解	205
8-6 二维保守系统与三维保守系统	209
8-7 非保守力	211
8-8 能量守恒	214
8-9 质量与能量	216
思考题	220
习 题	221
第九章 动量守恒	232
9-1 质心	232
9-2 质心的运动	238
9-3 质点的动量	241
9-4 质点系统的动量	242
9-5 动量守恒	244
9-6 动量原理的一些应用	245
9-7 可变质量系统	249
思考题	256

习 题	258
第十章 碰撞	267
10-1 什么是碰撞	267
10-2 冲量和动量	269
10-3 碰撞期间的动量守恒	270
10-4 一维碰撞	272
10-5 力的“真正”量度	280
10-6 二维碰撞与三维碰撞	281
10-7 碰撞截面	287
10-8 核反应与衰变过程	292
思考题	294
习 题	296
第十一章 转动运动学	306
11-1 转动	306
11-2 转动运动学 转动变量	308
11-3 匀加速转动	310
11-4 转动量作为矢量	313
11-5 作圆周运动的质点的线量与角量之间的关系 标量形式 ..	316
11-6 作圆周运动的质点的线量与角量之间的关系 矢量形式 ..	319
思考题	322
习 题	323
第十二章 转动动力学(I).....	328
12-1 引言	328
12-2 作用在质点上的力矩	328
12-3 质点的角动量	331
12-4 质点系统的角动量	335
12-5 转动动能和转动惯量	337
12-6 刚体转动动力学	344
12-7 刚体平动与转动的结合	352
思考题	359
习 题	363
第十三章 转动动力学(II) 角动量守恒.....	372
13-1 引言	372

13-2	陀螺	372
13-3	角动量与角速度	377
13-4	角动量守恒	383
13-5	角动量守恒的其它方面	389
13-6	转动动力学 复习	390
	思考题	392
	习 题	394
第十四章	刚体的平衡	402
14-1	刚体	402
14-2	刚体的平衡条件	402
14-3	重心	405
14-4	静力平衡举例	409
14-5	刚体在重力场中的稳定平衡、不稳定平衡和随遇平衡	416
	思考题	419
	习 题	420

第一章 测 量

1-1 物理量 标准与单位

物理学的构成要素是我们用以表述物理定律的物理量。在这些量中,有长度、质量、时间、力、速度、密度、电阻率、温度、发光强度、磁场强度等等。其中有许多词,诸如质量和力,已是我们日常词汇中的一部分。例如,你可以说:“为了提高教学质量,我们花了很大力气。”但在物理学中,我们必须清楚而又确切地定义所有与物理量有关的词,如力和质量,并且不要把这些词和它们的日常含意混淆起来。在上述句子中,力和质量这两个词的用法和它们的精确科学定义毫无关系。

当我们给一个物理量(例如质量)规定了一套测量程序(或说方法亦可),并给它规定了一种单位(例如千克)时,我们就说已定义了该物理量。这就是说,我们确立了一个标准。所谓程序是相当任意的。例如,我们可用任何一种方法来定义千克。但重要的是要用有效而且可行的方法来定义它,并得到国际承认。

物理量为数很多,如何将它们组织起来,就成了一个问题。它们并不是相互独立的。举一个简单的例子,速率是长度与时间的比值。我们的任务是从所有可能的物理量中挑选出少数几个叫做基本量的物理量,所有其他的量都可由它们导出。然后我们就给每一个基本量规定一个标准,而不给其他量规定标准。例如,如果我们选长度作为基本量,我们就取一个叫做米的标准(见第 1-3 节),并用精确的实验室操作来定义它。

这里发生一些问题:(a)应选择多少个基本量?(b)应选哪些量为基本量?(c)谁来选择?

对前两个问题的回答是,我们应选择最少数目的物理量以最简单措词来完整描述物理学。这里可以有多种选择法。例如在

某一种单位制中,力是基本量。而在我们所选的单位制(见第1-2节)中,力是导出量。

对第三个问题的回答有赖于国际协议。负责这些事务的是位于巴黎附近1875年成立的国际计量局。它与全世界标准化实验室保持联系,美国国家标准局即其中之一¹⁾。国际计量大会(一个国际机构)定期开会,作出决议或建议。它的第一届大会于1889年举行,十四届大会于1971年举行*。

一旦确立了一个基本量(例如长度)的标准,就必须同时建立起与该标准进行比较以测量任何物体长度的程序。这就意味着标准必须是易于获得的。此外,在每次将标准与一给定物体进行比较时都要在允许限度内得到相同的量值。这意味着标准必须是不变的。这两个要求常常是相互矛盾的。如果你选择长度作为基本量,规定人的鼻子与伸开手臂的手指间的距离为长度标准,并规定这个单位为码,你就有了一个标准,它的确是易于获得的,但它不是不变的。科学和技术的要求指示我们走的却是另一条路。我们制造一些较易获得的次级、三级等标准,以保证易得性,但我们特别强调不变性。

我们往往用很间接的方法与基本量的标准作比较。就长度来说,试考虑下列测量问题:(a)由地球到仙女座大星云的距离;(b)你的身高;(c)NH₃分子中原子核间的距离。显然,这些长度的比较方法差别很大。例如,你在第一个问题和第三个问题中,就不能直接用尺子来量度。

1-2 国际单位制²⁾

在前几届国际计量大会和委员会工作的基础上,第十四届国

1) 参看“Standards of Measurement,” Allen V. Astin, *Scientific American*, June 1968, 及“A Short History of Measurement Standards at the National Physical Laboratory” H. Barrell, *Contemporary Physics* 9, 205 (1968)。

* 第十五届国际计量大会于1975年举行。——译者注。

2) 参看NBS Special Publication 330, 1972, “The International System of Units (SI).”

际计量大会(1971)选择了列于表 1-1 中的七个量作为基本单位。这是国际单位制(缩写为 SI, 来源于法文“Le Système International d’Unites”)的基础。

我们将在全书中给出许多国际制导出单位的例子, 诸如速度、力、电阻等等, 它们可由表 1-1 导出。例如力的国际制单位叫牛顿(国际符号为 N), 它用国际制基本单位定义为

$$1 \text{ 牛顿} = 1 \text{ 千克} \cdot \text{米} / \text{秒}^2,$$

在第五章中我们将讲清楚这一点。

表 1-1 国际制(SI)基本单位

量	单 位	国际符号	中文符号
长度	米	m	米
质量	千 克	kg	千克
时间	秒	s	秒
电流	安 培	A	安
热力学温度	开尔文	K	开
物质的量	摩 尔	mol	摩
发光强度	坎德拉	cd	坎

当我们用国际制单位(基本单位或导出单位)表示诸如地球的半径或两个原子核事件的时间间隔时, 往往要用到很大或很小的数字。为便于表示起见, 第十四届国际计量大会也在以前工作的基础上推荐了列于表 1-2 中的一些级次词头。于是我们可以把地球的平均半径(= 6.37×10^6 米)写为 6.37 兆米, 而把核物理中经常遇到的时间间隔, 例如 2.35×10^{-9} 秒, 写为 2.35 纳(毫微)秒。十进倍数的词头来源于希腊语; 十进分数的词头来源于拉丁语。

为使表 1-1 更为完善, 我们需要七套操作程序, 说明怎样在实验室里产生这七个国际制基本单位。我们将在以下三节中探讨长度、质量和时间的操作程序。

与国际制(SI)相匹敌的有两种比较重要的单位制。一种是高斯制, 许多物理文献是用它来表述的。在本书中我们不用这种单位制。附录 G 中列出高斯制单位与国际制单位的换算因子。