

物理学基础

第

上册



232

人

社

# 物理学基础

上册

[美] D. 哈里德 著  
R. 瑞斯尼克 著  
郑永令 等译  
吴剑华 校

人民教育出版社

本书系根据美国 John Wiley & Sons, Inc. 出版的哈里德 (D. Halliday) 与瑞斯尼克 (R. Resnick) 合著 Fundamentals of Physics 1974 年修订版译出。

本书中译本分两册出版。上册内容为质点运动学、质点动力学、转动运动学、转动动力学、刚体的平衡、振动、万有引力、流体力学、波动、气体分子运动论、热力学等。下册内容为电磁学与光学。

上册由郑永令译前言与第一、二、三、四章, 林荣富译第五章, 李洪芳译第六、七、十二章, 周鲁卫译第八、九章, 吴子仪译第十、十一、十四章, 朱耘译第十三章, 刘贵兴译第十五章, 范膺译第十六、十七、十八章, 诸长生译第十九章, 李仲卿译第二十、二十一章。上册由吴剑华校。

本书可作为高等学校理工科物理学课程试用教材, 也可供有关教师、学生参考。



[美] D. 哈里德 著

R. 瑞斯尼克

郑永令 等译

吴剑华 校

\*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷三厂印刷

\*

开本 850×1168 1/32 印张 20.625 字数 490,000

1979年5月第1版 1980年2月第1次印刷

印数 00,001—36,000

书号 13012·0358 定价 1.75 元

## 修订本前言

应许多教师希望本书增加一些新的习题的要求，我们修订了这本《物理学基础》。由于原来的 1220 个习题的教学效果良好，在这次修订中基本上都保留下来，另外增加了 450 个新习题——约增加 37%。这些新习题平均分配在各章中，成为与原来习题水平相当的一组习题。

利用这一机会，我们根据教学经验，对原来的许多习题作了改进：例如，使措词简洁、明了，增加一些提示或注释，引进一些有用的数据及参考文献等，并改正了印刷错误。在这个新的修订本中，我们对正文也作了许多类似的小的改进。在全书习题中力求比以前更多地采用国际单位制(SI)。

为帮助教师和学生组织与演算这些习题，我们做了几件事。首先，将每章的习题按节分组，即在习题编号中用括号注上为解题所需的主要原理所在之节的编号。其次，把每一组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，在教学上又有不同的效果和爱好。举例来说，以 17(4) 标号的习题，表示这是该章的第 17 题，解此题时需要读完该章第 4 节的内容。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，而不放在书末。

虽然，如上所述，本书远不只是原版的一个新的订正本，但严格地说，它并不是一个新版。我们称它为修订本，并把它看作比原来版本更加有用的教学用书。最近我们正在写一本新的基础物理学教本，而不准备写本书的新版。

我们衷心感谢F. 爱德华兹教授和J. 梅里尔教授在修订本书中所给予的帮助。

1974年1月

D. 哈里德

匹兹堡大学

宾夕法尼亚，匹兹堡

R. 瑞斯尼克

伦塞勒技术学院

纽约，特洛伊

## 前 言

在过去几年中，我们注意到以微积分为基础的物理学课程在性质方面的逐渐的、但是不断的变化。在许多学校里，用于本课程的时间比以前少了。在其他一些学校里，则对于题材的详尽细致的解释显得不很注意。此外，理工科高年级课程要求上的改变也说明需要一本比《物理学》\*简短的教本。

鉴于上述原因及其他原因，我们将《物理学》改编为《物理学基础》。改编时采取了以下几种办法。其一是删去《物理学》中大量补充材料和一些附录材料。其二是精简一些章节，并将其中某些章节加以合并。这必然使我们要仔细改写，我们利用这一机会修改了第二卷的一些内容。此外，还在思考题和习题中加进许多新的题目，并去掉一些题目，例如那些内容涉及被删去的题材的题目。有许多新的习题是属于所谓“树立信心”类型的题目。

由于作了这些修改，书的篇幅明显减少，并且多少简化了叙述的繁复性，但并不牺牲基本内容的广泛性。这样，《物理学基础》就成为比《物理学》简短而又易懂的改写本。因此，本书将适合于这样一些课程，在这些课程中在教学时间和学生预备知识方面都不允许使用《物理学》一书所采用的比较详尽的处理方法和较为严谨的叙述步骤。

作者也许是担任删节自己著作的最不合适的人选。但我们很幸运，在此工作中得到了犹他州立大学的 F. 爱德华兹教授和 J.

---

\* D. 哈里德与 R. 瑞斯尼克合著“Physics” Wiley, New York, 1966.

梅里尔教授的积极帮助。这两位教授在他们学校里教过一段为期一年的物理学课程，他们在实现我们所要达到的目的方面是有经验的。他们与我们详细讨论了哪些材料应该删去或精简，并且在内容改写方面做了许多工作，还提供了许多新的题目。此外，他们在照顾本书顺利出版方面也做了许多工作。我们对他们表示衷心的感谢。没有他们的帮助，本书要在短时间内完成是不可能的。

我们感谢维利公司出色的合作，特别要感谢物理编辑 D. 德内克，他把本书的出版工作办理得极好。阿尔弗雷德大学的 R. 马丁在为本书多数章的习题提供附加资料方面也曾给予帮助。

我们相信《物理学基础》对各类学生和新的课程设置是合适的，并且希望它对物理教学的改进有所贡献。

1970 年 1 月

D. 哈里德

R. 瑞斯尼克

## 一些物理常数

(较为完全的常数表请看附录 A, 那里还列有最佳实验值)

光速	$c$	$3.00 \times 10^8$ 米/秒 $1.86 \times 10^5$ 英里/秒
质能关系	$c^2$	931 兆电子伏/原子质量单位 $8.99 \times 10^{16}$ 焦耳/千克
引力常数	$G$	$6.67 \times 10^{-11}$ 牛顿·米 <sup>2</sup> /千克 <sup>2</sup> $3.44 \times 10^{-8}$ 磅·英尺 <sup>2</sup> /斯勒格 <sup>2</sup>
气体普适常数*	$R$	8.31 焦耳/摩尔·K 0.0823 升大气压/摩尔·K
真空磁导率	$\mu_0$	$1.26 \times 10^{-6}$ 亨利/米
真空电容率	$\epsilon_0$	$8.85 \times 10^{-12}$ 法拉/米
阿伏伽德罗常数*	$N_0$	$6.02 \times 10^{23}$ 分子/摩尔
玻耳兹曼常数	$k$	$1.38 \times 10^{-23}$ 焦耳/分子·K $8.63 \times 10^{-5}$ 电子伏/分子·K
普朗克常数	$h$	$6.63 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒 $4.14 \times 10^{-15}$ 电子伏·秒
基本电荷	$e$	$1.60 \times 10^{-19}$ 库仑 $4.80 \times 10^{-10}$ 静电库
电子的静止质量	$m_e$	$9.11 \times 10^{-31}$ 千克
质子的静止质量	$m_p$	$1.67 \times 10^{-27}$ 千克

## 一些物理性质

空气(干燥, 在 20°C 和 1 大气压下)

密度	1.29 千克/米 <sup>3</sup>
定压比热	$1.00 \times 10^3$ 焦耳/千克·K 0.240 卡/克·K

\* 这里和全书中“1摩尔”=“1克分子量”(= $10^{-3}$ 千克分子量)。



比热比( $\gamma$ )	1.40
声速	331 米/秒 1090 英尺/秒
水(在 20°C 和 1 大气压下)	
密度	$1.00 \times 10^3$ 千克/米 <sup>3</sup> 1.00 克/厘米 <sup>3</sup>
声速	1460 米/秒 4790 英尺/秒
折射率( $\lambda = 5890$ 埃)	1.33
定压比热	4180 焦耳/千克·K 1.00 卡/克·K
溶解热(0°C)	$3.33 \times 10^5$ 焦耳/千克 79.7 卡/克
汽化热(100°C)	$2.26 \times 10^6$ 焦耳/千克 539 卡/克
地球	
质量	$5.98 \times 10^{24}$ 千克
平均半径	$6.37 \times 10^6$ 米 3960 英里
地球至太阳平均距离	$1.49 \times 10^8$ 千米 $9.29 \times 10^7$ 英里
地球至月球平均距离	$3.80 \times 10^5$ 千米 $2.39 \times 10^5$ 英里
标准重力加速度	9.81 米/秒 <sup>2</sup> 32.2 英尺/秒 <sup>2</sup>
标准大气压	$1.01 \times 10^5$ 牛顿/米 <sup>2</sup> 14.7 磅/英寸 <sup>2</sup> 760 毫米汞高

# 目 录

<b>第一章</b>	<b>测量</b> .....	1
1-1	物理量 标准与单位 .....	1
1-2	参照系 .....	2
1-3	长度标准 .....	3
1-4	时间标准 .....	6
1-5	单位制 .....	10
<b>第二章</b>	<b>矢量</b> .....	15
2-1	矢量与标量 .....	15
2-2	矢量加法 几何方法 .....	16
2-3	矢量分解与合成 分析方法 .....	18
2-4	矢量乘法 .....	24
<b>第三章</b>	<b>一维运动</b> .....	34
3-1	力学 .....	34
3-2	质点运动学 .....	34
3-3	平均速度 .....	35
3-4	瞬时速度 .....	36
3-5	一维变速运动 .....	38
3-6	加速度 .....	42
3-7	一维变加速运动 .....	43
3-8	一维匀加速运动 .....	44
3-9	单位和量纲的一致性 .....	48
3-10	自由落体 .....	50
<b>第四章</b>	<b>平面运动</b> .....	62
4-1	位移 速度与加速度 .....	62
4-2	恒定加速度平面运动 .....	63
4-3	抛体运动 .....	65
4-4	匀速圆周运动 .....	69

4-5	相对速度与相对加速度	73
<b>第五章</b>	<b>质点动力学</b>	<b>85</b>
5-1	引言	85
5-2	经典力学	85
5-3	牛顿第一定律	87
5-4	力	90
5-5	质量 牛顿第二定律	92
5-6	牛顿第三定律	95
5-7	力学单位制	98
5-8	力的定律	100
5-9	重量与质量	102
5-10	测量力的静力学方法	104
5-11	牛顿运动定律的一些应用	105
5-12	摩擦力	112
5-13	匀速圆周运动的动力学	119
<b>第六章</b>	<b>功与能</b>	<b>142</b>
6-1	引言	142
6-2	恒定力所作的功	143
6-3	变力所作的功——一维情况	148
6-4	变力所作的功——二维情况	151
6-5	动能与功能定理	152
6-6	功能定理的重要性	156
6-7	功率	156
<b>第七章</b>	<b>能量守恒</b>	<b>165</b>
7-1	引言	165
7-2	保守力	165
7-3	势能	170
7-4	一维保守系统	175
7-5	总能量与势能曲线	180
7-6	二维保守系统与三维保守系统	182
7-7	非保守力	185

7-8	能量守恒	188
7-9	质量与能量	190
<b>第八章</b>	<b>动量守恒</b>	<b>204</b>
8-1	质心	204
8-2	质心的运动	210
8-3	质点的动量	212
8-4	质点系统的动量	214
8-5	动量守恒	215
8-6	动量原理的一些应用	216
<b>第九章</b>	<b>碰撞</b>	<b>229</b>
9-1	什么是碰撞	229
9-2	冲量和动量	231
9-3	碰撞期间的动量守恒	232
9-4	一维碰撞	234
9-5	二维碰撞与三维碰撞	241
9-6	碰撞截面	244
9-7	核反应与衰变过程	246
<b>第十章</b>	<b>转动运动学</b>	<b>260</b>
10-1	转动	260
10-2	转动运动学——转动变量	261
10-3	匀加速转动	264
10-4	圆周运动中质点的线量与角量之间的关系	266
<b>第十一章</b>	<b>转动动力学与角动量守恒</b>	<b>273</b>
11-1	引言	273
11-2	作用在质点上的力矩	273
11-3	质点的角动量	277
11-4	质点系统的角动量	281
11-5	转动动能与转动惯量	283
11-6	刚体转动动力学	287
11-7	角动量守恒	296
11-8	转动动力学——复习	301

<b>第十二章 刚体的平衡</b> .....	314
12-1 刚体的平衡条件.....	314
12-2 重心.....	317
12-3 静力平衡举例.....	320
<b>第十三章 振动</b> .....	333
13-1 振动.....	333
13-2 简谐振子.....	336
13-3 简谐运动.....	341
13-4 简谐运动中的能量守恒.....	347
13-5 简谐运动的应用.....	353
13-6 简谐运动与匀速圆周运动的关系.....	356
13-7 谐运动的合成.....	361
<b>第十四章 万有引力</b> .....	373
14-1 万有引力定律.....	373
14-2 万有引力常数 $G$ .....	378
14-3 惯性质量与引力质量 等效原理.....	382
14-4 球形分布的的质量的引力效应.....	385
14-5 重力加速度 $g$ .....	389
14-6 引力场.....	394
14-7 行星和卫星的运动.....	395
14-8 引力势能.....	399
14-9 多质点系统的势能.....	403
14-10 行星和卫星运动中的能量守恒.....	405
<b>第十五章 流体力学</b> .....	419
15-1 流体.....	419
15-2 压强与密度.....	419
15-3 静止流体中的压强变化.....	422
15-4 帕斯卡原理与阿基米德原理.....	426
15-5 压强的测量.....	428
15-6 流体动力学.....	431
15-7 流线与连续性方程.....	433
15-8 伯努利方程.....	436

15-9	伯努利方程与连续性方程的应用	439
<b>第十六章 弹性介质中的波</b>		<b>456</b>
16-1	机械波	456
16-2	波的类型	457
16-3	行波	460
16-4	张紧弦线上的波速	464
16-5	波的功率与波的强度	468
16-6	迭加原理	470
16-7	波的干涉	472
16-8	驻波	475
16-9	共振	480
<b>第十七章 声波</b>		<b>492</b>
17-1	可闻声波 超声波与次声波	492
17-2	纵波的传播与速率	493
17-3	纵行波	497
17-4	振动系统与声源	500
17-5	拍	505
17-6	多普勒效应	507
<b>第十八章 温度</b>		<b>523</b>
18-1	宏观描述与微观描述	523
18-2	热平衡——热力学第零定律	524
18-3	温度测量	525
18-4	理想气体温标	528
18-5	摄氏温标与华氏温标	531
18-6	国际实用温标	533
18-7	热膨胀	534
<b>第十九章 热与热力学第一定律</b>		<b>544</b>
19-1	热是能量的一种形式	544
19-2	热量与比热	546
19-3	热传导	548
19-4	热功当量	551

19-5	热量与功	553
19-6	热力学第一定律	556
19-7	热力学第一定律的一些应用	558
<b>第二十章 气体分子运动论</b>		<b>572</b>
20-1	引言	572
20-2	理想气体——宏观描述	573
20-3	理想气体——微观描述	576
20-4	压强的分子运动论计算	578
20-5	温度的分子运动论解释	582
20-6	理想气体的比热	585
20-7	能量均分定理	589
20-8	平均自由程	596
20-9	分子的速率分布	600
<b>第二十一章 熵与热力学第二定律</b>		<b>614</b>
21-1	引言	614
21-2	可逆过程与不可逆过程	614
21-3	卡诺循环	617
21-4	热力学第二定律	623
21-5	热机效率	626
21-6	熵——可逆过程	629
21-7	熵——不可逆过程	633
21-8	熵与热力学第二定律	636

# 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来表述物理学定律的物理量。在这些量中,有力、时间、速度、密度、温度、电荷、磁化率等等。其中有许多名词,如力和温度,是我们日常辞汇中的一部分。但在日常应用这些名词时,它们的意义也许是含糊的,也许与它们的科学意义是不同的。

为了物理学的目的,一些基本的量必须定义得清楚而且确切。有一种看法是:当一个物理量的测量程序规定以后,那末它的定义也就给定了。这种看法叫做操作观点,因为在这里,物理量的定义归根到底是一组用来导出一个带有单位的数字的实验室操作;这些操作也可以包括数学运算在内。

常常把物理量分为基本量和导出量。物理量的这种划分是任意的,因为一个量在一组操作中可以看作是基本量,而在另一组操作中却可以看作是导出量。导出量是这样一些量,即定义它们时所用的操作是以其他物理量的测量为基础的。通常看作导出量的物理量有速度、加速度和体积等。基本量不是用其他物理量来定义的。基本量的数目,应该是能融洽一致地和明确地描述物理学中所有各量所必需的最小数目。通常看作基本量的物理量有长度和时间等。基本量的操作定义包含两个步骤:首先,选择一个标准;其次,确立一组把待测量与标准进行比较的程序,从而定出一个数和一个单位作为该量的量度。

一个理想的标准具有两个主要特征:一个是易于获得,一个



是不会改变。这两个要求往往是互不相容的，因此，得取它们之间的折衷。最初比较强调易得性，但科学技术的不断增长的需要，要求更高的不变性。例如，我们所熟悉的码、英尺和英寸是从实践中直接用人体的臂，脚和大姆指作为标准而得来的。今天，这样粗率地量度长度，当然很难令人满意，因而即使牺牲易得性也一定要采用可变性小得多的标准。

假定我们选定长度的标准是一根棒，并且将它的长度定义为一米。如果我们将这根棒与第二根棒直接比较，而且断定第二根棒是这标准长的三倍，那末我们就说，第二根棒长三米。但这种与原始标准的直接比较很少能够实行，通常必须采用包含更多步骤的间接测量方法。于是，为了把间接测量与直接测量的结果联系起来，就要作某些假设。举例来说，天文上的距离，如地球与星体之间的距离，不能用直接方法测量。同样，很小的距离，诸如原子、分子内部的距离，也只能用间接方法来测量。

## 1-2 参 照 系

同一个物理量，如果由两个彼此作相对运动的观察者来测量的话，可有不同的值。一列火车的速度，如果由地面上的观察者来测量，有一个值；如果由行驶着的汽车上的观察者来测量，就有另一个值；如果由坐在该火车上的观察者来测量，其值为零。这些值中没有一个是比其他一个具有任何根本的优越性；从进行测量的观察者的观点看来，每个值都是同等“正确的”。当你读完这本书时，你就会清楚地了解这一点。

一般地说，一个物理量的测量值依赖于观察者进行测量的参照系。如上所述，如果此物理量是速度，这一点就很容易明了。但如果此物理量比如说是一个粒子的位移、两个事件之间的时间间隔、电场或磁场，上述结论也是正确的；虽然要完全懂得这四个特