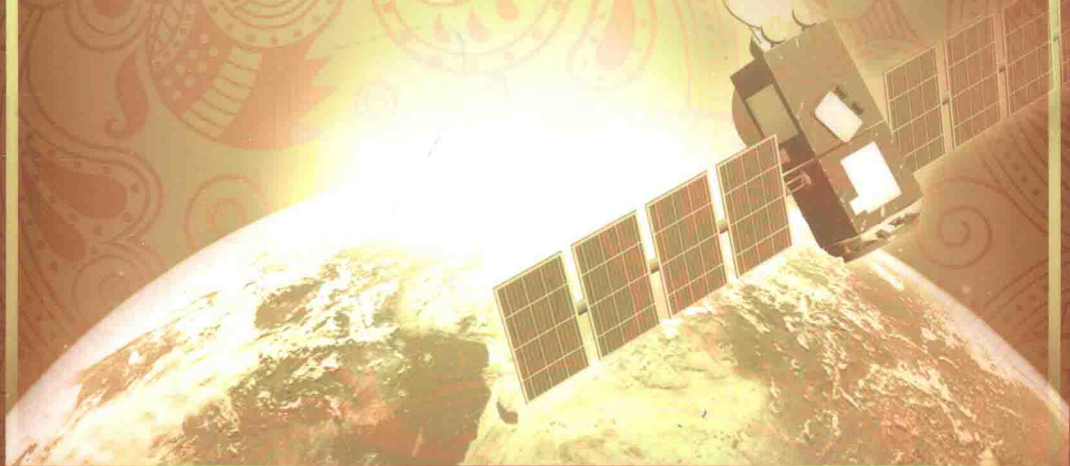


普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理学 简明教程

严导淦 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理学简明教程

严导淦 编

机械工业出版社

本书是供少学时(60~65学时)的工、农、医、商、邮、交通和采矿等本科各专业大学物理学课程的教学用书。

本书是参照教育部物理基础课程教育指导分委员会颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》而编写的。主要内容有力学、电学、机械振动与机械波、波动光学、热力学和量子物理简介等,每章列有问题、习题,习题附有解答。

全书在内容的深、广度上做了必要的调整和损益,在论述和论证上尽去枝蔓,力求简便易读,相应的例题和习题在难易度和题量上以达到基本训练为度;在近代物理(如狭义相对论、量子物理学等)方面不做赘述,仅做简略介绍或提供一些相关的结论。这样,在不影响教学基本要求和可读性的前提下,与一般的同类教材相比,在篇幅上十去其五六。

本书可兼作函授、网络教育和高等职业技术学院等的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学简明教程/严导淦编. —北京:机械工业出版社,2015.8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-50861-8

I. ①大… II. ①严… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第159116号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李永联 责任编辑:李永联 熊海丽

责任校对:陈延翔 佟瑞鑫 封面设计:陈沛

责任印制:李洋

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2016年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·434千字

标准书号:ISBN 978-7-111-50861-8

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务 网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

2013 年秋,曾在寒舍与机械工业出版社李永联先生畅叙,并在拙编《物理学第 5 版》教材的基础上,遵嘱撰写一部少学时(60~65 学时)的大学物理教材,以供当前各高校非物理学专业(如工、农、医、商、邮、交通和采矿等专业)少学时物理课程的教学使用。

为此,参照当前教育部颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》,考虑到学时数较少的情况,遂重行构建全书的编写体系,着重叙述物理学的基本知识、基本概念、基本原理和定律,并适当联系一些生活和生产实际的例子,冀求有助于提升这些专业的大学生的科学素养。

在编写时,对全书的内容及其深、广度做了必要的调整和损益,在论述和演证上尽去枝蔓,力求简便易读,相应的例题和习题在难易度和题量上以达到基本训练为度;在近代物理(如狭义相对论、量子物理学等)方面不做赘述,仅做简略介绍或提供一些相关的结论。这样,在不影响教学基本要求和可读性的前提下,与一般的同类教材相比,本书在篇幅上十去其五六。有道是“删繁就简三秋树,标新立异二月花”。编者深感学识浅陋,欲达此境界,相去尚远,恐难以如愿。

在编写本书的过程中,曾参阅了国内外一些优秀的同类教材,深受启迪,使编者获益匪浅,恕不一一列举,在此谨表深切的谢忱。

对本书错漏不当之处,企望读者不吝教正。

严导淦

于同济学舍

目 录

前言

第0章 预篇	1
0.1 物理学 物理量及其单位	1
0.1.1 物理学	1
0.1.2 物理量 标量和矢量	1
0.1.3 物理量的基准单位	1
0.2 法定计量单位 量纲	2
0.2.1 法定计量单位	2
0.2.2 在本书中使用法定计量单位的方法和具体要求	4
*0.2.3 量纲	5
习题0	6
第1章 质点运动学	7
1.1 参考系和坐标系 位矢、位移和路程	7
1.1.1 参考系	7
1.1.2 坐标系	7
1.1.3 位矢	8
1.1.4 运动函数 轨道方程	9
1.1.5 位移	9
1.2 速度与加速度	10
1.2.1 速度 速率	10
1.2.2 加速度	11
1.3 直线运动	13
1.4 抛体运动	16
1.5 圆周运动	17
1.5.1 变速圆周运动	17
1.5.2 圆周运动的角量描述	19
问题1	21
习题1	22
第2章 质点动力学的基本定律	23
2.1 牛顿运动定律	23
2.1.1 牛顿第一定律	23
2.1.2 牛顿第二定律	24
2.1.3 牛顿第三定律	25
2.2 力学中常见的力	26
2.2.1 万有引力 重力	26
2.2.2 弹性力	27
2.2.3 摩擦力	29

2.3 牛顿运动定律的应用示例	30
* 2.4 宇宙速度 黑洞	33
2.4.1 第一宇宙速度	33
2.4.2 第二宇宙速度	34
2.4.3 第三宇宙速度	35
2.4.4 黑洞	35
问题 2	35
习题 2	36
第 3 章 力学中的守恒定律	38
3.1 功 动能定理	38
3.1.1 功 功率	38
3.1.2 动能定理	39
3.1.3 系统的动能定理	40
3.2 保守力的功 系统的势能	42
3.2.1 保守力及其做功的特点	42
3.2.2 势能	44
3.3 系统的功能定理 机械能守恒定律 能量守恒定律	45
3.3.1 系统的功能定理	45
3.3.2 机械能守恒定律	46
3.3.3 能量守恒定律	48
3.4 冲量与动量 质点的动量定理	48
3.5 系统的动量定理 动量守恒定律	51
3.5.1 系统的动量定理	51
3.5.2 系统的动量守恒定律	51
3.6 碰撞	53
3.6.1 弹性碰撞	54
3.6.2 完全非弹性碰撞	54
* 3.7 角动量 力矩 质点的角动量守恒定律	55
3.7.1 质点的角动量	56
3.7.2 力矩	56
3.7.3 质点的角动量定理	57
3.7.4 质点的角动量守恒定律	57
3.8 狭义相对论简介及牛顿力学的适用范围	58
问题 3	60
习题 3	61
第 4 章 刚体的定轴转动	64
4.1 刚体的基本运动	64
4.1.1 刚体的平动	64
4.1.2 刚体的定轴转动	64
4.2 刚体定轴转动的转动动能 转动惯量	67
4.2.1 刚体定轴转动的转动动能	67
4.2.2 刚体的转动惯量	67
4.3 力矩的功 刚体定轴转动的动能定理	69

4.3.1	力矩	69
4.3.2	力矩的功	70
4.3.3	刚体定轴转动的动能定理	70
4.4	刚体的定轴转动定律	73
4.5	刚体定轴转动的角动量定理 角动量守恒定律	75
4.5.1	角动量 冲量矩 角动量定理	75
4.5.2	角动量守恒定律	75
	问题4	77
	习题4	77
*	第5章 固体的弹性 流体力学简介	80
5.1	固体的形变和弹性	80
5.1.1	固体的形变	80
5.1.2	应力与应变	80
5.1.3	胡克定律 材料的弹性模量	81
5.1.4	梁的弯曲	82
5.1.5	杆的扭转	82
5.1.6	弹性极限和强度极限	83
5.2	流体的压强	83
5.2.1	静止流体内的压强	83
5.2.2	静止流体内各点的压强分布规律	84
5.2.3	帕斯卡定律	86
5.2.4	阿基米德原理	86
5.3	理想流体 连续性方程	87
5.3.1	理想流体	87
5.3.2	定常流动	88
5.3.3	流线 流管 总流	88
5.3.4	连续性方程	89
5.4	理想流体定常流动的总流伯努利方程	89
5.5	实际流体定常流动的总流伯努利方程 层流和湍流	92
	问题5	92
	习题5	93
	第6章 静电学	94
6.1	电荷 库仑定律	94
6.1.1	电荷 电荷守恒定律	94
6.1.2	库仑定律	95
6.1.3	静电力叠加原理	95
6.2	电场 电场强度	96
6.2.1	电场	96
6.2.2	电场强度	96
6.2.3	电场强度叠加原理	97
6.3	电通量 高斯定理	100
6.3.1	电场线	100
6.3.2	电通量	100

6.3.3	高斯定理	101
6.4	电势	104
6.4.1	静电力的功 静电场的环路定理	104
6.4.2	电势能 电势 电势差	105
6.4.3	电势的计算	106
6.4.4	等势面	107
6.4.5	电场强度和电势的关系	108
6.5	静电场中的导体和电介质	108
6.5.1	金属导体的静电平衡条件	108
6.5.2	尖端放电现象和静电屏蔽	109
6.5.3	电介质的极化现象	110
6.6	电容 电容器 静电场的能量	111
6.6.1	电容 电容器	111
6.6.2	静电场的能量	113
	问题 6	114
	习题 6	115
第 7 章	稳恒电流	117
7.1	电流 电流密度	117
7.1.1	电流	117
7.1.2	电流密度	117
7.2	直流电路 电阻 欧姆定律	118
7.2.1	直流电路	118
7.2.2	电阻	118
7.2.3	欧姆定律	119
7.3	电流的功 焦耳定律	119
7.3.1	电流的功和功率	119
7.3.2	焦耳定律	119
7.4	电动势 一段含源电路的欧姆定律	120
7.4.1	电源及电动势	120
7.4.2	闭合电路的欧姆定律	121
7.4.3	一段含源电路的欧姆定律	121
7.5	基尔霍夫定律	122
7.5.1	基尔霍夫第一定律	122
7.5.2	基尔霍夫第二定律	123
	问题 7	124
	习题 7	125
第 8 章	稳恒磁场	126
8.1	磁场 磁感应强度	126
8.1.1	磁的基本现象	126
8.1.2	磁场	126
8.1.3	磁感应强度	127
8.2	磁通量 高斯定理	127
8.2.1	磁感应线	127

8.2.2 磁通量 磁场的高斯定理	128
8.3 毕奥-萨伐尔定律及其应用	129
8.3.1 毕奥-萨伐尔定律	129
8.3.2 直电流的磁场	130
8.3.3 圆电流轴线上的磁场	131
8.3.4 载流长直螺线管内部的磁场	132
8.4 安培环路定理	132
8.5 磁场对运动电荷的作用	134
8.5.1 洛伦兹力	134
8.5.2 带电粒子在电场和磁场中的运动	135
8.6 磁场对电流的作用	137
8.6.1 安培定律	137
8.6.2 两根长直平行载流导线间的相互作用力	138
8.6.3 矩形载流线圈在均匀磁场中所受的力矩	138
8.7 物质的磁性	139
8.7.1 磁介质 磁导率	139
8.7.2 磁滞回线 磁性材料及其应用	140
问题 8	141
习题 8	142
第 9 章 电磁感应 电磁场简介	145
9.1 电磁感应的的基本定律	145
9.1.1 电磁感应现象 楞次定律	145
9.1.2 法拉第电磁感应定律	146
9.2 动生电动势和感生电动势	148
9.2.1 动生电动势	148
9.2.2 感生电动势	149
9.3 自感和互感	150
9.3.1 自感	150
9.3.2 互感	151
9.4 磁场的能量	153
9.5 位移电流 麦克斯韦电磁场理论简介	154
9.5.1 位移电流 全电流定律	154
9.5.2 麦克斯韦电磁场理论简介	156
问题 9	156
习题 9	157
第 10 章 机械振动和机械波	160
10.1 简谐运动	160
10.1.1 简谐运动的基本特征	160
10.1.2 简谐运动的表达式	161
10.2 描述简谐运动的基本物理量	162
10.2.1 周期 频率与角频率	162
10.2.2 相位 初相	163
10.2.3 相位差	163

10.2.4 振幅、初相与初始条件的关系	164
10.2.5 简谐运动的能量	167
10.3 同方向、同频率简谐运动的合成	168
10.4 阻尼振动 受迫振动 共振	170
10.4.1 阻尼振动	170
10.4.2 受迫振动 共振	171
10.5 机械波	172
10.5.1 机械波的产生和传播	172
10.5.2 横波和纵波的描述	173
10.6 描述机械波的一些物理量 波的几何表示	174
10.6.1 周期、频率、波长与波速	174
10.6.2 波的几何表示	174
10.7 平面简谐波的波动表达式 波的能量	175
10.7.1 平面简谐波的波动表达式	175
10.7.2 波动表达式的物理意义	176
10.7.3 波的能量	178
10.8 惠更斯原理 波的衍射、反射和折射	179
10.8.1 惠更斯原理	179
10.8.2 波的衍射	180
10.8.3 波的反射和折射	181
10.9 波的干涉 驻波	182
10.9.1 波的叠加原理	182
10.9.2 波的干涉	182
10.9.3 驻波	184
10.10 声波 超声波	185
10.10.1 声波	185
10.10.2 超声波	187
10.10.3 声波的多普勒效应	187
问题 10	190
习题 10	191
第 11 章 电磁振荡 电磁波	194
11.1 电磁振荡	194
11.2 电磁波	196
11.2.1 电磁波的概念	196
11.2.2 电磁波的辐射和传播	197
11.2.3 电磁波的性质	198
11.2.4 电磁波的能量	199
11.3 电磁波谱	200
问题 11	202
习题 11	202
第 12 章 波动光学	203
12.1 光的相干性 杨氏双缝实验	203
12.1.1 光的相干性	203

12.1.2	杨氏双缝实验	204
12.1.3	洛埃德镜实验	206
12.2	光程 光程差	207
12.3	增透膜和增反膜	208
12.4	劈形膜 牛顿环	209
12.4.1	劈形膜的干涉	209
12.4.2	牛顿环	210
12.5	单缝衍射	212
12.5.1	光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	212
12.5.2	夫琅禾费单缝衍射	213
12.6	衍射光栅 光栅衍射光谱	216
12.6.1	衍射光栅	216
12.6.2	光栅公式 光栅衍射光谱	216
12.7	自然光和偏振光 马吕斯定律	217
12.7.1	偏振现象	217
12.7.2	自然光和偏振光	218
12.7.3	起偏和检偏	219
12.7.4	马吕斯定律	219
12.8	反射光和折射光的偏振 光的双折射现象	220
12.8.1	反射光和折射光的偏振	220
12.8.2	光的双折射现象	221
	问题 12	222
	习题 12	223
第 13 章 热力学基础		224
13.1	热力学系统及其平衡态 准静态过程	224
13.1.1	热力学系统 平衡态	224
13.1.2	物态参量	225
13.1.3	准静态过程	225
13.2	气体的物态方程	226
13.2.1	气体的实验定律 理想气体	226
13.2.2	理想气体的物态方程	227
13.2.3	实际气体的物态方程	229
13.3	热力学第一定律	229
13.3.1	系统的内能 功与热的等效性	229
13.3.2	热力学第一定律及其应用	230
13.3.3	功和热量的计算	231
13.4	热力学第一定律对理想气体热力学过程的应用	233
13.4.1	等容过程	233
13.4.2	等压过程	233
13.4.3	等温过程	234
13.4.4	绝热过程	235
13.5	循环过程	237
13.5.1	循环过程简介	237

13.5.2 正循环 热机的效率	238
13.5.3 逆循环 制冷机的效率	239
13.6 热力学第二定律 卡诺定理	241
13.6.1 自发过程的不可逆性	241
13.6.2 热力学第二定律	241
13.6.3 卡诺定理	242
13.7 卡诺循环	242
问题 13	244
习题 13	244
第 14 章 气体动理论基础	246
14.1 气体动理论的基本观点	246
14.2 气体分子热运动及其统计规律性	248
14.2.1 气体分子热运动的图景	248
14.2.2 大量分子热运动服从统计规律	249
14.2.3 分子运动的速率分布	249
14.2.4 气体分子的碰撞	251
14.3 理想气体的压强公式和温度公式	251
14.3.1 理想气体的微观模型	251
14.3.2 理想气体的压强公式	252
14.3.3 理想气体的温度公式	254
14.4 理想气体的内能	255
14.5 热力学第二定律的统计意义	256
习题 14	257
第 15 章 量子物理简介	258
15.1 热辐射和普朗克量子假设	258
15.1.1 热辐射	258
15.1.2 普朗克量子假设	258
15.2 光电效应和爱因斯坦方程	259
15.2.1 光电效应的实验规律	259
15.2.2 用经典理论解释光电效应时遇到的困难	260
15.2.3 爱因斯坦的光量子假设 爱因斯坦方程	260
15.2.4 光电效应的应用	261
15.2.5 光的波粒二象性	262
15.3 氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	262
15.3.1 氢原子光谱的规律性	262
15.3.2 玻尔的氢原子理论	264
15.4 微观粒子运动的一些基本特征	266
15.4.1 德布罗意波	266
15.4.2 不确定关系	266
15.4.3 用四个量子数描述原子中电子的运动状态	267
参考文献	269

第 0 章 预 篇

0.1 物理学 物理量及其单位

0.1.1 物理学

物理学是研究物质及其相互作用和基本运动规律的一门自然科学。物质通常是在其周围其他物质作用下运动的。各种形式的运动可以相互转化。物理学所研究的物质运动包括机械运动、电磁运动、热运动、微观粒子运动等各种运动形式。由于这些运动形式及其规律具有普遍性,所以物理学就成为其他自然科学、工程技术乃至人文科学的重要基础。在许多科学和技术领域以及生产部门中,都广泛地应用着物理学中的力学、热学、电磁学、光学和近代物理等各方面的基本理论、基本知识和基本方法。因此,如果能够较好地掌握物理学的基本理论、基本知识和基本技能,并从中逐步领会物理学的思想和思考问题的方法,就可以为研究其他自然科学和当代各学科领域中崛起的科学和技术(例如,信息科学、生命科学、材料科学、环境科学、能源科学、海洋科学、航天科学等)打下良好的基础,从而使我们更贴近 21 世纪人类文明快速发展的时代脉搏,以期能促进我们所从事的专业得以日新月异地长足发展。可以这么说,对 21 世纪的理工科学生需求而言,物理学具有不可替代的奠基作用,并且在当代各有关学科中皆具有举足轻重的导向作用。

0.1.2 物理量 标量和矢量

为了确切地定量表述物质的属性、相互作用和物质运动的状态及其变化过程,需要建立或定义许多物理量,如密度、速度、力、电流等;而物质运动的基本规律,在物理学中通常是由某些原理、定律或定理来表述的,它们反映了有关物理量之间的相互关系。

在物理学中,有一类物理量,如时间、质量、功、能量、温度等,只需用大小(包括数字和单位)和正、负就可以完全确定,这类物理量统称为标量。标量既有大小又有正、负,它是代数量,可用代数方法计算。例如,同类的标量可以求代数和;又如,可以对标量函数进行求导和积分等运算。

在物理学中,还有另一类物理量,如位移、速度、加速度、力、动量、冲量、电场强度等,必须同时给出大小,标明方向,才能完全确定。并且在相加时服从平行四边形法则。这类物理量称为矢量或向量。有关矢量的运算可参考高等数学教材的解析几何这部分的内容。

0.1.3 物理量的基准单位

物理定律或理论的建立,一般都要首先通过对物理现象的观察和实验,这时,需要利用各种仪器去测定有关的物理量,进行各种各样的量度。

量度任何一个物理量,都必须有一个标准。例如,要知道一根钢轨有多长,可用米尺去量,

而米尺上的刻度是按照规定的标准长度刻好的;要知道一颗子弹的质量,可用天平去称,而天平所使用的砝码也是按照规定的标准质量注明的。所以,诸如上述长度、质量等每一个物理量都有一个规定的量度标准。这一量度标准就叫作该物理量的**基准单位**。所谓**量度**,就是把一个待测的量与它的基准单位进行比较,看它是基准单位的多少倍。例如,若说某根钢轨长15m,就等于说,该机床的长度是长度的基准单位——1m的15倍,即 $1\text{m} \times 15 = 15\text{m}$;又如,若说铅粒的质量为0.128kg,这等于说,该铅粒的质量是质量的基准单位——1kg的0.128倍,即 $1\text{kg} \times 0.128 = 0.128\text{kg}$ 。所以,每一物理量的大小都是由数字与单位相乘的形式来表述的。如果我们只说钢轨长12.6,就毫无意义。因为在这种情况下,它的长度或许是12.6m,或许是12.6cm等,其真实的大小就无从知道。因此,只有在数字与它们的单位相乘后,物理量才有实际意义。亦即,在物理学中所进行的都是量的计算,而不仅仅是数的计算。

既然每一物理量都要有一个基准单位,那么,如此众多的物理量,都要一一去规定相应的基准单位,显然不胜其烦。因此,为了简便和统一起见,我们只是从众多的物理量中挑选出少数几个物理量作为基本物理量,然后再给每一个基本物理量规定一个基准单位,这样的基准单位叫作**基本单位**。其余物理量的单位就可以根据某些物理定律或定义,用这些基本单位来导出,并称为**导出单位**。根据以上叙述,以后我们把作为基本单位的物理量称为**基本量**,而其余的物理量统称为**导出量**。

0.2 法定计量单位 量纲

0.2.1 法定计量单位

对于不同的计量单位,物理学中有几种不同的单位制。本书采用**中华人民共和国法定计量单位**,简称**法定计量单位**。

法定计量单位是以**国际单位制(代号为SI)**为基础,并根据我国的国情,选添了一些非国际单位制的单位而构成的。简介如下:

(1) 在国际单位制中选择了表0-1中所列的七个物理量作为基本量,它们的单位就规定为国际单位制的基本单位。

表0-1 国际单位制(SI)的计量单位及其量纲

量的名称	单位名称	单位符号	基本量的量纲
长度	米	m	L
质量	千克(公斤)	kg	M
时间	秒	s	T
电流	安[培]	A	I
热力学温度	开[尔文]	K	Θ
物质的量	摩[尔]	mol	N
发光强度	坎[德拉]	cd	J

注:()内的字为前者的同义词。[]内的字是在不致混淆的情况下,可省略的字。

此外,还规定了表0-2所列的两个量的计量单位作为国际单位制的**辅助单位**。

表0-2 国际单位制(SI)的辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

(2) 国际单位制中的导出单位。导出量的计量单位(即导出单位),可以从物理学中的定义或定律出发,利用上表所列的基本单位导出。例如速度的单位是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (米·秒⁻¹),密度的单位是 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (千克·米⁻³),等等。有些国际单位制的导出单位还规定了专门名称和符号,例如力的单位是 $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (千克·米·秒⁻²),显得较累赘,因此规定了它的专门名称,叫作牛顿或牛,符号为N。使用这种具有专门名称的国际单位制导出单位(见表0-3)以及用它们表示其他导出单位,甚为方便。至于没有专门名称的国际单位制导出单位,统称为组合形式的国际单位制导出单位。

表 0-3 国际单位制中具有专门名称的导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示式
频率	赫[兹]	Hz	s^{-1}
力;重力	牛[顿]	N	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
压力,压强;应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2
能量;功;热量	焦[耳]	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
功率;辐射通量	瓦[特]	W	J/s
电荷(量)	库[仑]	C	$\text{A} \cdot \text{s}$
电位;电压;电动势	伏[特]	V	W/A
电容	法[拉]	F	C/V
电阻	欧[姆]	Ω	V/A
电导	西[门子]	S	A/V
磁通量	韦[伯]	Wb	$\text{V} \cdot \text{s}$
磁通量密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m^2
电感	亨[利]	H	Wb/A
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	
光通量	流[明]	lm	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
光照度	勒[克斯]	lx	lm/m^2
放射性活度	贝可[勒尔]	Bq	s^{-1}
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	J/kg
剂量当量	希[沃特]	Sv	J/kg

上述这些国际单位制导出单位以后将在有关章节中一一介绍。

(3) 我国还选定一批作为法定计量单位的非国际单位制单位。例如,体积用L(升)做单位,质量用t(吨)做单位,能量用电子伏(eV)做单位等。今后,在有关内容中具体介绍。

(4) 当我们用国际单位制的计量单位来表示某一物理量时,有时需用到很大或很小的数字。例如,太阳的直径是1390000000m,而氢原子的直径是0.00000000106m,这对了解该物理量的数量级或读、写都不方便。习惯上,常将这类数的数值部分取在1~10之间,并乘以10的n次幂(即 10^n ,n可正、可负或为零)。这样,就可将上述两个量分别表示成 $1.39 \times 10^9 \text{m}$ 和 $1.06 \times 10^{-10} \text{m}$ 。此外,根据指数值可用国际单位制中特定的十进倍数单位或分数单位(即词头)来表示计量单位,例如,地球半径为 $6.37 \times 10^6 \text{m}$,可以写成6.37Mm(兆米);在原子核物理中, μ 子的半衰期为 $2.2 \times 10^{-6} \text{s}$,可以写成2.2 μs (微秒),等等。这些词头的名称和符号可参阅表0-4。

表 0-4 用于构成十进倍数和分数单位的词头

所表示的因数	词头名称	词头符号
10^{12}	太[拉]	T
10^9	吉[咖]	G

(续)

所表示的因数	词头名称	词头符号
10^6	兆	M
10^3	千	k
10^2	百	h
10^1	十	da
10^{-1}	分	d
10^{-2}	厘	c
10^{-3}	毫	m
10^{-6}	微	μ
10^{-9}	纳[诺]	n

0.2.2 在本书中使用法定计量单位的方法和具体要求

(1) 在本书中,物理量一般都采用国际单位制的法定计量单位来表示。所有物理量的单位及词头都用符号表示,一般不用单位名称表示。例如,地球平均半径为 6.37×10^6 米或6.37兆米,写作 6.37×10^6 m 或 6.37Mm;力为10牛,写作10N。并且,为了避免与公式或计算式中的物理量符号相混淆,单位符号一律用正体字表示,而物理量符号一般用斜体字表示。例如,时间 t 的单位写作s,而路程的符号写作 s 。又如长度的单位m绝不能与质量的符号 m 相混淆。读者在阅读教材和解题时应留神区别。

(2) 在导出单位是由一个单位与另一个单位相除而构成时,可用斜线“/”或负指数幂表示。例如,速度单位的符号可用m/s或 $m \cdot s^{-1}$ 来表示;角加速度的单位可用 rad/s^2 或 $\text{rad} \cdot s^{-2}$ 来表示;力的单位在不用专门命名的符号N、而用组合形式的导出单位时,可写作 $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (几个单位用相乘形式表示时,各单位之间的当中加圆点“·”)。为一致起见,本书一律采用负指数幂的方式来表示。

(3) 在演算例题或习题时,原则上不仅在计算的最后结果或答案中皆须标明物理量的数字和单位,而且在计算过程中间的每一步,各个物理量的数字一般都须标明单位。计算时,不仅要进行数字的运算,还要同时对单位进行运算(如相约或相乘)。可是,有时为了简便起见,亦可把有关各物理量的单位通过换算,用国际单位制计量单位或专门名称统一配套表示后,只写出其结果或答案的单位。

例题 0-1 已知冰的密度为 $900\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,水的密度为 $1\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。试问:当 10m^3 的水完全结成冰时,其体积为多少?

解 我们知道,物质密度(亦称质量密度)的定义是质量与体积之比。若以 ρ 表示密度, m 表示质量, V 表示体积,则密度的定义可表述成下列公式:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

利用这个密度公式,统一各量的单位,把水的密度化为 $1\text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = 1000\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,可求得 10m^3 水的质量为

$$m = \rho V = 1000\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 10\text{m}^3 = 10000\text{kg} \cdot \text{m}^0 = 10000\text{kg}$$

水结成冰时质量不变、将相应的量代入密度公式,可求出 10m^3 的水完全结成冰时的体积为

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{10000\text{kg}}{900\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}} \approx 11.1\text{m}^3$$

也可写成

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{10000}{900} \text{ m}^3 \approx 11.1 \text{ m}^3$$

若写成

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{10000}{900} \approx 11.1 \text{ m}^3$$

是错误的。为什么？

可见,水结成冰时,体积变大(膨胀)。寒冬季节,在 0°C 以下时,水结冰,体积膨胀,常导致水管爆裂,使道路积水。因此,在埋设城镇给水管道时,往往把水管埋当地的冰冻线以下。例如,上海地区的冰冰线约在地面下深度为 $0.8 \sim 1.0\text{m}$ 处。

* 0.2.3 量纲

在单位制已选定的情况下,导出量与基本量的幂次关系可用量纲表示。在关系式中,各基本量的指数称为该物理量对各该基本量的量纲。例如,在SI中,取长度 L 、质量 M 和时间 T 为力学量的基本量,则速度可用 LM^0T^{-1} 或 LT^{-1} 表示,所以速度对长度的量纲是1,对质量的量纲是0,对时间的量纲是-1;体积对长度 L 的量纲是3,即 L^3 ,能量也可用 $L^2\text{MT}^{-2}$ 表示,它对长度、质量、时间的量纲分别为2,1,-2。上述 LT^{-1} , L^3 , $L^2\text{MT}^{-2}$ 分别称为速度 v 、体积 V 和能量 E 的量纲式,并记作 $[v]^{\ominus} = \text{LT}^{-1}$, $[V] = L^3$ 和 $[E] = L^2\text{MT}^{-2}$ 。一般而言,在SI中,某个物理量 X 的量纲 $[X]$,若用长度、质量、时间这三个量纲 L, M, T 的幂次的乘积形式表示,则其量纲式为

$$[X] = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} \quad (0-1)$$

在上述量纲式中,如果 α, β, γ 中有一个不等于零,就说 X 是一个有量纲的量。例如,速度的量纲是 $[v] = [s]/[t] = \text{LM}^0\text{T}^0/(\text{L}^0\text{M}^0\text{T}) = L/\text{T} = \text{LT}^{-1}$;加速度的量纲是 $[a] = [v]/[t] = \text{LT}^{-1}/\text{T} = \text{LT}^{-2}$;力的量纲是 $[F] = [m][a] = \text{L}^0\text{MT}^0\text{LT}^{-2} = \text{MLT}^{-2}$;等等。可见,在物理学中,能够借基本量的量纲及其量纲式反映出它的特征。

若式(0-1)中的 $\alpha = \beta = \gamma = 0$,即

$$[X] = \text{L}^0\text{M}^0\text{T}^0$$

则此物理量 X 称为量纲为1的量,它是一个纯数。一个量纲为1的量也可由几个量纲不为1的物理量通过乘、除组合而成。例如,在材料力学中,直杆的线应变 ε 定义为其长度增量 Δl 与指定参考状态下的长度 l_0 之比,即 $\varepsilon = \Delta l/l$,其量纲为 $[\varepsilon] = [\Delta l]/[l_0] = L/L = L^0 = 1$ 。所以线应变为一个纯数。

我们知道,不同单位的同类量可以相加减,例如, $36\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 是具有相同量纲 LT^{-1} 的同类量——速度,因此,把它们换算成统一的单位后,相加或相减的结果仍是速度。但是,不同种类的物理量是不能相加、减的^①,也不能列成等式或比较它们的大小。例如, $2\text{kg} + 3\text{m} \cdot \text{s}^{-2} = 5\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 是绝无意义的。

如上所述,能够相加减的每一项或列入同一方程(等式)中的每一项,必须是具有相同量纲的物理量(同类量)。这就要求:凡是根据物理学基本定律推导出来的方程,其中每一项的量纲必须一致。这一结论称为物理方程的量纲一致性原理。

例如,在匀变速直线运动的位移公式 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 中,不难检验: $[x] = L$, $[v_0 t] =$

① 按照 GB 3103—1993 文件规定,某个物理量 X 的量纲用 $\text{dim}X$ 表示,考虑到以往的使用习惯,本书沿用 $[X]$ 表示。

② 不过,不同种类的物理量虽不能进行加、减,但在某种意义上进行乘、除。例如,质量为 2kg 的物体,其加速度为 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,则它所受的力为 $2\text{kg} \times 5\text{m} \cdot \text{s}^{-2} = 10\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = 10\text{N}$;又如, 1m^3 的水,质量为 1t ,则水的密度为 $1\text{t}/1\text{m}^3 = 1\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ 。这种乘、除的结果,实际上构成了新的量纲,定义了一个新的物理量。