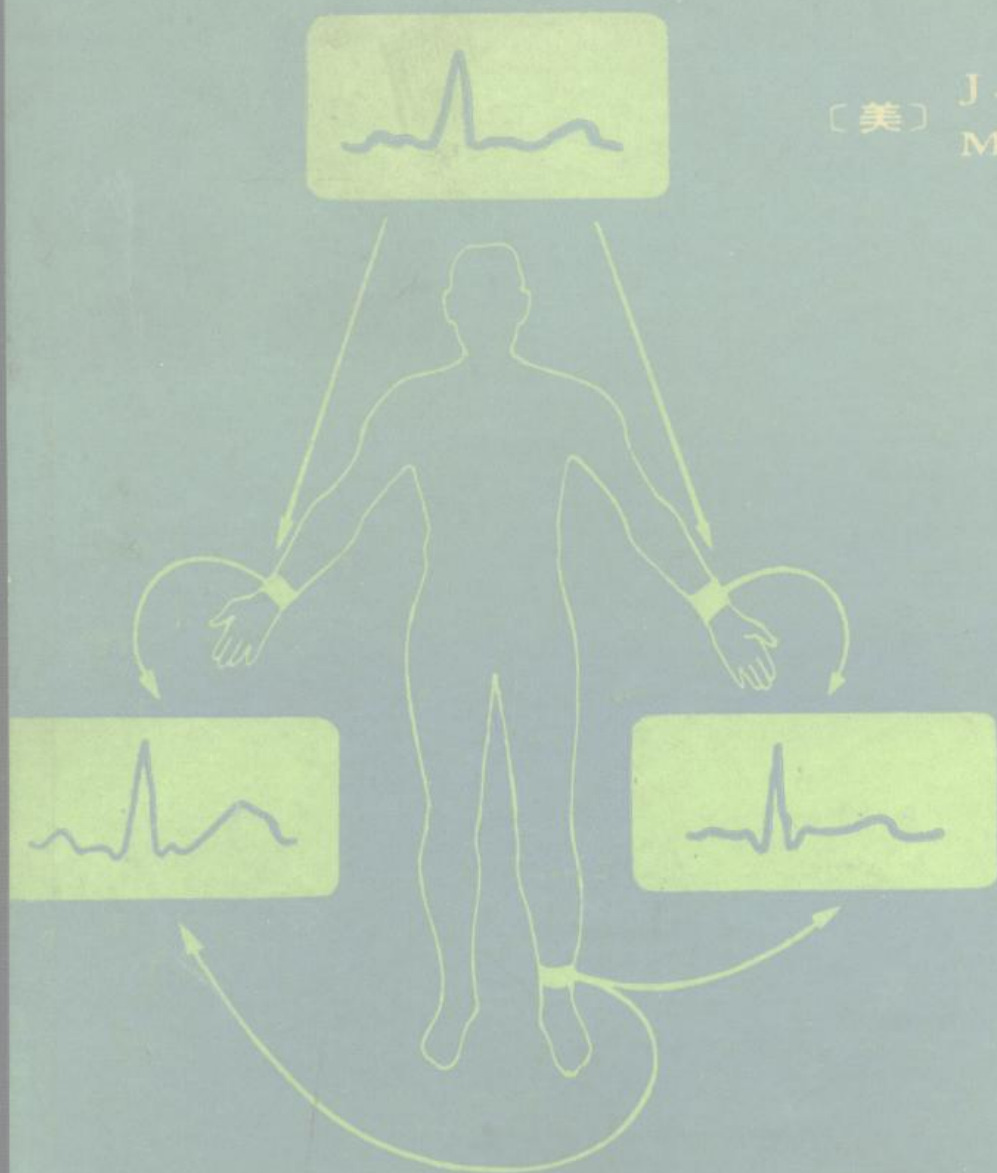


[美] J.W. 凯恩 著
M.M. 斯特海姆



生命科学物理学



科学出版社

生 命 科 学 物 理 学

[美] J. W. 凯恩 M. M. 斯特海姆 著

王祖铨 陶如玉 钱士雄 译校
虞宝珠 吕云仙



科 学 出 版 社

1985

8610396

内 容 简 介

本书是作者为生命科学所属专业编写的物理学教科书，书中包括物理学中与生命科学有关的各个基本领域的内容及最新发展。作者从事这方面的教学多年，搜集的资料十分丰富，并且密切结合医学、生物学和体育科学等方面的应用；还有许多专门的章节分析、讨论与物理学有关的生命科学课题，内容生动；书中的物理概念清晰，物理图象鲜明；作为生命科学领域的物理学教科书，书中尽量避免繁琐的数学推导；每一章都提供许多练习和习题并附有部分答案。本书可作为高等院校医学、生物、农林等专业的物理学教学参考书，也可供其他有关的科学工作者及中学物理教师参考。

Joseph W. Kane

Morton M. Sternheim

LIFE SCIENCE PHYSICS

John Wiley & Sons, 1978

生 命 科 学 物 理 学

〔美〕J. W. 凯恩 M. M. 斯特海姆 著

王祖铨 陶如玉 钱士雄 译校

虞宝珠 吕云仙

责任编辑 王爱琳

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

*

1985年12月第一版 开本：787×1092 1/16
1985年12月第一次印刷 印张：51 3/4 插页：2
印数：0001—3,000 字数：1,198,000

统一书号：13031·3012

本社书号：4028·13—6

定价：13.00 元

译 者 的 话

这本书是作者为生命科学所属专业编写的物理学教科书,其内容从题材的选取、举例到应用都紧密结合生命科学各个专业的需要。教材中有大量的物理学在医学、生物学和体育等方面的应用实例,搜集的资料十分丰富,可供具有不同需要的专业选取。

书中尽量避免繁琐的数学推导,并以初等数学为主,采用通俗易懂的文字和大量的图表,突出物理思想的阐述。由于本书具有大量的、生动的应用实例,使人读起来饶有兴味,有助于使生命学科各专业的学生认识到学习物理不是一种额外的负担,而是一门必不可少的基础知识;认识到在生命科学和物理学之间并没有截然的分界线,而是存在着许多富有生命力的蓬勃发展的边缘学科,这一点在已有的物理教科书中是没有的或少见的。

本书由钱士雄(第一单元)、吕云仙(第二单元)、虞宝珠(第三、四单元和附录)、王祖铨(第十八—二十五章)、陶如玉(第二十六—三十四章)翻译。全书由王祖铨统一校对。译文中的错误和不妥之处敬请读者指正。

前 言

生命科学物理学是为各种不同情况的学生而编写的。它是在我们教了许多学生的经验的基础上写成的,这些学生的专业属于生命科学领域,包括动物学、医科大学预科、植物学、医药技术、林学和体育等,也有一些学生的专业属于非生命科学领域。他们多数是二、三年级的学生,已经念完了大学水平的化学、数学和生物学等课程,也有一些是一年级学生,少数是研究生。他们多数在中学没有学过物理学。学生中有许多人已经接触过微积分,但是只有少数人对于认真应用微积分的能力具有信心。

本书的编写与那些为自然科学各个专业而编写的常规物理学教科书有几点不同之处。首先,我们所要包括或者要强调的基本物理课题的选取,是根据它们在生命科学专业中的重要性和需要来决定的。这就要求我们选取一些物理学家现在已经不太感兴趣的课题,例如几何光学、流体力学和声学等。另外,还尽量减少历史性材料以及近代物理学(如高能物理和天体物理等方面)的内容,因为这些内容对生物学几乎没有直接的影响。

第二个主要不同点是许多例子都是从生物系统中选出来的,这和一般从工程的角度采用的例子相比是很不一样的。这样,刚体的问题就常常取自生物力学;电阻和电容的例子取自神经传导;而热传导和潜热的说明则取自体温的维持等等。在生物医学工作中所用的仪器,只要是能来说明物理学原理的,我们就加以讨论。

本书的第三个或许也是最重要的一个新特点,是它用了几个整节、整章来说明物理学在生物系统中的详细的应用。这些讨论表明了物理学与生命科学的关系,同时也可以判断学生对其中所包含的物理学原理的理解程度,从而推动学生去学习物理学。由于这些讨论同时用到了物理、生物和化学方面的概念,这就显示了科学的各个领域的联系和协同关系。不过这里并不要求学生在生物或化学方面必须具有任何专门的知识作为基础。

由于我们包括了生命科学各专业通常所选用的物理学课程的所有课题,另外还增加了一些不常有的材料,所以这本书的内容比起标准的两个学期或者三个季度的课程内容稍微多了一些。本书共有三十四章,分成九个单元。其中有四章的材料在一般导论性的物理学教科书中是找不到的:第十七章,哺乳动物的循环系统;第二十章,神经传导;第三十二章,核磁共振;第三十四章,电离辐射。这几章可以省去或者稍带而过而不会严重影响内容的连贯性。甚至一些传统性的章节,如第九章,材料的弹性;第二十七章,狭义相对论和第三十一章,物质结构,也可以同样处理。此外,许多章的末尾都有一节或几节补充材料,其内容或者是它们在生物学中的应用,或者是不太重要的、更为传统性的课题。这样一种安排可以让教师自己去选择该包括什么或该强调什么,同时也有助于学生把物理学的基本原理与相对说来较为次要的材料区分开。

每一章都包括一些练习,这些练习与书中各节内容紧密配合,用以检查学生对教材基本内容的理解程度,目的在于树立他们的信心。还有一些则是配合得不很紧密的习题,其中难度较大的用星号标记。每一章末尾的补充课题也附有练习和习题,所以可以把它们作为课程的一个完整部分来利用。

虽然我们在本书中包括了相当大的一部分在标准的物理学课本中通常找不到的材料,但我们仍然按习惯的次序和格式来介绍物理学的基本内容。之所以这样做是因为看起来标准的安排还是最好的,并且也便于教师选择和组织材料以适合每个人的要求和爱好。虽然力学必须放在开头而近代物理学必须放在最后,但处于中间的那些教材(热、流体,电和磁以及波动等)可以重新安排而不会造成大问题。尽管只要有可能我们总是强调物理概念的统一并指出它们的相互联系,但是这种重新安排还是可行的。

在全书中,我们尽量少用严密的数学形式来处理物理学内容,这就是说,我们主要是运用代数和一些几何知识。由于有些学生在他们开始学习物理学时,他们的数学技能相当不熟练,所以开头的几章我们进行得相当慢。此外,我们还在附录 B 中提供了数学的复习内容。在第一章中我们引入了微分,后来我们在给一些物理量下定义时也用了微分。每一章中所需要的但为数不多的微积分推导都放在该章的末尾,这样它们就不会截断正文中的材料。我们完全避免用积分,而代之以先用一个猜测的近似结果,然后对这个问题的解求微分,用这种方法反过来验证它。例如,放射性核的指数衰变规律就是这样处理的。所有的例题、练习和习题都无需用微积分的知识。

学习物理学的一个重要方面是建立一定的思维模型。因此我们强调采用简单的模型来代替复杂的系统、用数学近似以及采用量纲分析等方法。这些在全书中都有体现,尤其在生物学方面的应用最为明显。我们也着重指出,物理学是一门实验科学而不是抽象的智力训练。它不但与其他科学领域里的研究工作密切相关,而且与日常生活经验有密切联系。

在一本导论性的课本中,单位常常是一个问题。本书中主要采用国际单位制(即 S. I. 单位制),但偶尔也用英制和 c.g.s. 制单位,以便与一些我们所熟悉的量联系起来,同时也是为了与不同的应用领域的习惯用法相一致。

没有很多人的帮助这本书是写不成的。我们首先要感谢许多学生,他们以各种途径帮助我们明瞭生命科学物理学这一课程以及它的教科书应该是什么样的,他们还在使用这本教材的最初样本作为课时蒙受了不便之苦。

Norman C. Ford 参加了本书早期的计划和写作工作,后来由于另有委任而不得不离去。我们的同事 Stanley S. Hertzbach 从早期的草稿开始教起,为我们提供了有益的建议。几位评论者也提出了有帮助的建议,他们当中有 Rubin Landau、Margaret McCarthy、Harvey Picker、Arnold Strassenberg、John Weir、Robert Williamson 和 Steve Woods。在几年的时间里,许多研究生和大学生在读和教了部分手稿或在做了练习和习题的基础上提出了不少有价值的建议。他们当中有 James Ledwell、David Long、Caroline Markey、Robert Meyer、Francesc Roig、Ernest Seglie、Thomas Slavekovsky、David Vetter、J. C. Wang 和 Jonathan Wainer。

手稿由四位能干和宽容大度的打字员打字,主要部分由 Kathleen Ryan 担任,其余的由 Lillian Camus、Linda Lisnerski 和 Doris Maynard 承担。Helen Sternhein 在准备手稿的各个方面都给以帮助并提供建议和鼓励。

约瑟夫·W. 凯恩
莫顿·M. 斯特海姆

序：生命科学专业的学生和物理学

物理学教师们最经常听到的一个问题是：“为什么我应该学物理学？”而且问话的声调常常带有苦恼以至于气愤的情感。所以，试图对这个问题做一个回答并以此作为本书的开头看来是合适的。

学生之所以常常提出这个问题，原因之一是许多没有学过物理学的人（有些人却是学过的）不太明白物理学是什么。查阅词典对回答这个问题没有多大帮助。从词典上可以查到一个典型的简短定义，它说物理学是一个科学分支，是说明物质、能量以及它们的相互作用的学科。这实在是过于笼统和一般了，我们通常所理解的化学也可以这样来定义。比较长一点的词典条文则通常把定义扩展到物理学所包括的各个领域，如力学、热学和电学等等。但这些条文并没有给出任何线索，以说明为什么物理学包括这些领域而不包括其他领域。

给物理学下定义的一个比较好的方法是，问问物理学家关心的是什么？物理学家们试图了解的是支配这个我们赖以生存的自然界运转的基本法则和规律。由于他们的活动和兴趣是随时间而演变的，所以这个称为物理学的基本学科也是随时间变化的。近代物理学中许多最活跃的领域是前一代或前两代人所梦想不到的。另一方面，现在认为是属于化学或工程学的某些部门却曾经被当作物理学来研究。这是因为物理学家常常逐渐放弃一个基本原理已经弄清楚了领域的进一步发展和实际应用留给别人去做。

物理学所涉及的是支配着世界万物行为的基本法则，这一事实就可以使我们明白为什么有不同兴趣的人都可以发现学习物理学是有趣的和有用的。例如，一个历史学家想要了解当代社会的起源，他就会发现关于物理学发展的故事是很有意义的，是与人类的其他活动有关的。同样，一个关心空间和时间概念的哲学家如果了解物理学在二十世纪中的革命性进展，那么对他也是很有益的。不过，我们这本书从一开始就是为生命科学专业的学生写的，所以我们并不把物理学中的历史和哲学方面列为重点，而是在每一章里我们都力图把物理学和生命科学之间的联系清楚地反映出来。

物理学对生物学和医学的最显著的影响也许是在使用仪器的水平方面。物理学的知识能帮助你在理解的基础上使用每一样东西，从光学显微镜、离心机到电子显微镜以及在原子核医学中所用的精制的辐射探测系统等。物理学也以更基本的方式进入生物学。支配分子、原子和原子核行为的物理学规律也是所有的化学和生物化学的基础。生理学也提供了许多物理学过程和物理学原理的例子，如细胞内的扩散、生物体温度的调整、液体在循环系统中的运动以及神经纤维中的电信号等只是其中的几个例子。在比较解剖学中，把物理学与解剖学的特点结合起来往往有助于阐明进化的过程。从跑、跳一直到武术等各种体育活动都可以借助于物理学原理来进行研究，因而有时可以找出最佳的方式。在叙述和解释物理学的基本原理的过程中，我们要讨论所有这些原理在生命科学中的应用和许多其他方面。

这里讲几句关于怎样学习物理学的话可能是有帮助的。和其他任何一门学科相比，

物理学的逻辑性和推理性更强。在物理学的任何一个分支中,只有几个基本概念或规律是由实验测量得出来的。一旦掌握了这些基本思想,那么从概念上说各种应用的问题就很容易明白,尽管在细节上有时很复杂。因此,重要的是要把注意力集中在基本原理上而避免去记忆大量的事实和公式。

物理学的大多数基本规律都可以用数学公式的形式更精确地表示出来。在一个公式中可以包含大量的信息,所以这种表示方法是十分方便的。然而,这也意味着要认真学习或应用物理学,就要用到一些数学。对于本书中的内容,高中代数再加上一点几何知识就适用了,不过需要相当的熟练程度。对这些数学技能已经生疏了的学生可能要从附录 B 的数学复习开始。在第一章中引进了一个超出高中数学的方法——微分。不过,除了定义之外,它的应用限于补充课题中的少数几处推导。练习或习题都不需要这个数学工具。

总之,我们相信生命科学专业的学生通过学习物理学可以在两个主要方面得到好处。学生们将加深对支配我们的世界中每样东西(小到亚原子,大到宇宙尺度)的基本规律的理解,同时他们也会学到更多的、将来在他们的生命科学方面的工作有着重要意义的知识。学习一门作为基础学科的物理学并不是很容易的,但我们相信这是有益的,特别对于那些准备在有关的科学领域继续深造的学生来说更是如此。我们希望所有用这本书的人都会同意这一点。

J. W. K.

M. M. S.

目 录

第一单元 运动的普遍定律

第一章 直线运动	2
§ 1.1 测量、标准、单位和误差	2
§ 1.2 平均速度	7
§ 1.3 瞬时速度	10
§ 1.4 加速度	11
§ 1.5 物体运动的求解	12
§ 1.6 重力加速度和下落物体	16
§ 1.7 物理模型	19
小结	19
伽利略	21
补充课题	26
§ 1.8 竖直跳跃	26
第二章 二维运动	30
§ 2.1 矢量简介	31
§ 2.2 二维速度	35
§ 2.3 二维加速度	37
§ 2.4 物体运动的求解	38
§ 2.5 抛射体	38
小结	41
补充课题	44
§ 2.6 生物力学中的抛射体	44
第三章 牛顿运动定律	48
§ 3.1 力、重量和引力质量	48
§ 3.2 牛顿第一定律	49
§ 3.3 平衡	50
§ 3.4 牛顿第三定律	51
§ 3.5 牛顿第二定律	52
§ 3.6 牛顿运动定律的重要意义	53
§ 3.7 万有引力	53
§ 3.8 重量	54
§ 3.9 牛顿定律的一些例子	55

§ 3.10 摩擦	59
伊萨克·牛顿爵士	63
小结	64
第四章 静力学	71
§ 4.1 力矩	71
§ 4.2 刚体的平衡	75
§ 4.3 重心	78
§ 4.4 稳定性和平衡	80
§ 4.5 杠杆;机械利益	82
§ 4.6 肌肉	83
§ 4.7 身体中的杠杆	84
小结	85
补充课题	94
§ 4.8 动物的颌	94
§ 4.9 人体的重心	96
§ 4.10 滑轮组	98
第五章 圆周运动	103
§ 5.1 向心加速度	103
§ 5.2 圆周运动的例子	106
§ 5.3 有效重量	108
§ 5.4 电荷和电作用力	109
小结	112
补充课题	115
§ 5.5 卫星	115
§ 5.6 加速度的生理效应	116
库仑和开文迪士	119
§ 5.7 径向加速度公式的推导	120

第二单元 力学的补充课题

第六章 功、能量和功率	124
§ 6.1 功	124
§ 6.2 动能	126
§ 6.3 势能和保守力	128
§ 6.4 耗散力	130
§ 6.5 功和能短论	131
§ 6.6 利用功和能求解问题	133
§ 6.7 引力势能	135
§ 6.8 电势能	136

§ 6.9 功率	137
§ 6.10 跳跃: 生理学中的比例定律	138
小结	140
补充课题	146
§ 6.11 奔跑	146
§ 6.12 引力势能公式的推导	147
第七章 冲量和动量	150
§ 7.1 冲量和动量	150
§ 7.2 动量守恒	151
§ 7.3 公路上的安全问题	154
小结	155
补充课题	158
§ 7.4 动量和体育运动	158
§ 7.5 日本拳术中的动量	160
第八章 刚体的转动	163
§ 8.1 角变量	163
§ 8.2 转动的牛顿定律	165
§ 8.3 角运动和角动量	169
§ 8.4 转动的感知	173
小结	175
补充课题	179
§ 8.5 迴转运动	179
第九章 材料的弹性	183
§ 9.1 胁强和胁变的一般性质	183
§ 9.2 杨氏模量	185
§ 9.3 抗弯强度	186
§ 9.4 抗弯折强度和自然界中的结构设计	190
§ 9.5 切变和扭转力矩	192
小结	195
补充课题	198
§ 9.6 结构和功能	198
§ 9.7 $l_{\text{临界}} = cr^{2/3}$ 的推导	200
第十章 振动	202
§ 10.1 简谐运动及演示实验	202
§ 10.2 悬挂在弹簧上的重物	204
§ 10.3 复摆	205
§ 10.4 简谐运动的能量	208
§ 10.5 阻尼振动	209
§ 10.6 受迫振动和共振	211

小结	212
补充课题	215
§ 10.7 人体中的振动效应	215
§ 10.8 共振的定量描述	217
§ 10.9 简谐运动方程的推导	218

第三单元 热 学

第十一章 温度和气体的行为	222
§ 11.1 温标	222
§ 11.2 理想气体定律	223
§ 11.3 温度和分子的能量	226
§ 11.4 扩散	228
§ 11.5 稀溶液、渗透压	229
小结	231
补充课题	235
§ 11.6 理想气体定律的模型及推导	235
第十二章 物质的热学性质	237
§ 12.1 热膨胀	237
§ 12.2 热容量	240
§ 12.3 相变	244
§ 12.4 热传导	246
§ 12.5 对流引起的热量传递	248
§ 12.6 辐射	250
小结	254
补充课题	258
§ 12.7 热血动物的温度调节	258
第十三章 热力学	261
§ 13.1 机械功	261
§ 13.2 热力学第一定律	262
§ 13.3 热力学第二定律	264
迈耶, 焦耳和亥姆霍兹	265
§ 13.4 卡诺定理和能量转换	268
小结	271
补充课题	274
§ 13.5 人体代谢	274

第四单元 流 体

第十四章 非粘滞流体的力学	282
§ 14.1 密度和压强.....	282
§ 14.2 体积弹性模量.....	284
§ 14.3 阿基米德原理.....	285
§ 14.4 连续性方程、流线型流动.....	286
§ 14.5 伯努利方程.....	288
§ 14.6 伯努利方程的静力学推论.....	289
阿基米德.....	290
§ 14.7 流量计.....	292
小结.....	294
补充课题.....	298
§ 14.8 动物和飞机的飞行.....	298
第十五章 粘滞流体的流动	304
§ 15.1 粘滞度.....	304
§ 15.2 管中的片流、量纲分析.....	305
§ 15.3 湍流.....	308
小结.....	310
补充课题.....	311
§ 15.4 粘滞阻力.....	311
§ 15.5 “高速”阻力.....	314
§ 15.6 离心机.....	315
第十六章 液体中的内聚力	321
§ 16.1 表面张力.....	321
§ 16.2 接触角和毛细现象.....	323
§ 16.3 拉普拉斯定律.....	325
§ 16.4 肺中的表面活性剂.....	327
§ 16.5 树木中汁液的上升、负压强.....	328
小结.....	328
第十七章 哺乳动物的循环系统	332
§ 17.1 循环系统的组成部分.....	332
§ 17.2 循环系统中重力的作用.....	335
§ 17.3 用血压计测量血压.....	336
§ 17.4 流阻.....	337
§ 17.5 心脏是一个泵.....	341
小结.....	343

第五单元 电 与 磁

第十八章 电的作用力、电场强度和电势	348
§ 18.1 电的作用力	348
§ 18.2 电场、电场强度	349
§ 18.3 电荷分布所产生的电场	353
§ 18.4 电势	356
§ 18.5 等势面	358
§ 18.6 电偶极子	359
§ 18.7 示波器	361
§ 18.8 电容	362
§ 18.9 电介质的影响	363
§ 18.10 贮存在电容器中的能量	366
小结	367
第十九章 直流电	374
§ 19.1 电流强度	374
§ 19.2 电阻	376
§ 19.3 电路中的能源	377
§ 19.4 电路中的功率	381
§ 19.5 串联电阻和并联电阻	382
§ 19.6 伏特计和安培计	384
§ 19.7 包含电阻和电容的电路	386
§ 19.8 用电的安全措施	390
小结	392
补充课题	399
§ 19.9 电阻的原子理论	399
§ 19.10 电阻测量的应用	401
§ 19.11 电泳	402
§ 19.12 RC 电路中电荷和电流强度公式的推导	403
第二十章 神经传导	405
§ 20.1 神经细胞的构造	406
§ 20.2 轴突的电阻和电容	406
§ 20.3 离子浓度和静息电势	408
§ 20.4 对弱刺激的反应	411
§ 20.5 动作电势	413
§ 20.6 脑电仪和心电仪	417
小结	418
第二十一章 磁学	423

§ 21.1	磁场	423
§ 21.2	磁场对运动电荷的作用力	426
§ 21.3	电磁流量计	428
§ 21.4	磁场对载流导线的作用力	429
§ 21.5	磁偶极子	430
§ 21.6	电动机;电流计	433
§ 21.7	电流产生的磁场	434
§ 21.8	两条平行载流导线之间的作用力	437
	小结	438
	补充课题	442
§ 21.9	荷质比的测量	442
§ 21.10	质谱仪	443
§ 21.11	回旋加速器	445
第二十二章	感应电流和感应场	449
§ 22.1	法拉第定律	449
§ 22.2	涡流	452
§ 22.3	发电机	453
§ 22.4	变压器	454
	迈克尔·法拉第	456
§ 22.5	感应场和电磁波	457
§ 22.6	磁性材料	458
§ 22.7	电感	459
§ 22.8	贮存在电感器中的能量	461
	小结	461
	补充课题	465
§ 22.9	RL 电路	465
§ 22.10	交流电流和交流电压的有效值或方均根值	467
§ 22.11	电抗	468
§ 22.12	阻抗	472
§ 22.13	交流电路中的功率	475
§ 22.14	阻抗匹配	475
§ 22.15	发电机电动势的推导	477

第六单元 波 动

第二十三章	波动的描述	482
§ 23.1	波的描述	482
§ 23.2	波的速度	485
§ 23.3	波的干涉和驻波	485

§ 23.4	边界效应	488
§ 23.5	共振驻波	489
§ 23.6	复合波和拍	492
§ 23.7	波的能量和动量	493
§ 23.8	横波的偏振	494
	小结	495
	补充课题	499
§ 23.9	多普勒效应	499
第二十四章	声音	505
§ 24.1	声音的本质和声速	505
§ 24.2	声驻波	507
§ 24.3	声波的强度	509
§ 24.4	声源	510
§ 24.5	声探测器	515
§ 24.6	听觉反应	517
	小结	519
	补充课题	523
§ 24.7	超声	523
第二十五章	光的波动性	531
§ 25.1	折射率	531
§ 25.2	惠更斯原理	533
§ 25.3	光的反射	534
§ 25.4	光的折射	536
§ 25.5	全内反射	537
§ 25.6	杨氏双缝干涉实验	540
§ 25.7	相干性	543
§ 25.8	衍射光栅	543
	托马斯·杨	547
§ 25.9	衍射	548
§ 25.10	光的偏振	552
§ 25.11	X射线衍射和生物分子的结构	554
	小结	559
	补充课题	563
§ 25.12	全息术	563
§ 25.13	薄膜中的干涉效应	567
第二十六章	反射镜、透镜和光学仪器	572
§ 26.1	反射镜	572
§ 26.2	透镜	573
§ 26.3	成象	576

§ 26.4	象差	580
§ 26.5	简单放大镜	580
§ 26.6	明视场光学显微镜	581
§ 26.7	人眼	583
§ 26.8	视觉分辨力、灵敏度和色觉	585
	小结	588
	补充课题	591
§ 26.9	照相机	591
§ 26.10	显微镜的分辨力和反衬度	593
§ 26.11	偏光、干涉和相衬显微镜	594
§ 26.12	眼睛的光学缺陷	597

第七单元 近代物理

第二十七章	狭义相对论	604
§ 27.1	狭义相对论的基本原理	605
§ 27.2	运动时钟和时间膨胀	605
	阿耳伯特·爱因斯坦	608
§ 27.3	长度收缩	609
§ 27.4	动量和能量	610
	小结	613
	补充课题	615
§ 27.5	同时事件问题	615
§ 27.6	速度的叠加	619
第二十八章	光的粒子性: 光子	622
§ 28.1	黑体辐射	622
§ 28.2	光电效应	623
§ 28.3	光子	625
§ 28.4	光子和视觉	627
	小结	629
第二十九章	物质的波动性	632
§ 29.1	经典物理的失败	632
§ 29.2	德布罗意波假说	635
§ 29.3	玻尔原子	639
§ 29.4	测不准原理	644
	小结	646
	尼尔斯·玻尔	650