

普通高等学校省级规划教材 / 高等医药院校教材

医用物理学

第2版

■ 陈月明 主编

中国科学技术大学出版社

普通高等学
高等医学

医用物理学

第2版

(供临床、卫生、口腔、检验、影像、麻醉、护理、
药学、全科医学、预防医学、生物技术等专业使用)

主 编 陈月明

副主编 黄 海

编 者 (以姓氏笔画为序)

王 奕 江中云 李 斌

刘冬梅 陈月明 张 晶

张拥军 吴跃胜 柴林鹤

黄 海 黄龙文

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是在《医用物理学》初版的基础上,根据医学类各专业的培养目标以及各兄弟院校的教学改革经验编写而成的。

以物理学基础为内容的“医用物理学”课程着重强调基本概念、基本理论和基本方法及应用,这些均是构成医学生科学素养的重要组成部分,是一名医学工作者必须具备的知识内容。“医用物理学”课程旨在为学生系统地打好必要的物理学基础,在培养学生树立科学的世界观,增强学生分析问题和解决问题的能力,培养学生的探索精神和创新意识等方面,具有其他课程所不能替代的重要作用。

本书适用于高等医药院校临床、卫生、口腔、检验、影像、麻醉、护理、药学、全科医学、预防医学、生物技术等专业,也可供医药院校中的其他专业以及生命科学、生物学等相关专业的师生和研究人员作为参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

医用物理学/陈月明主编. —2 版. —合肥:中国科学技术大学出版社,2014. 8
普通高等学校省级规划教材
高等医药院校教材
ISBN 978-7-312-03519-7

I. 医… II. 陈… III. 医用物理学—医学院校—教材 IV. R312

中国版本图书馆(CIP)数据核字(2014)第 153209 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026
<http://www.press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥现代印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710mm×960mm 1/16
印张 18.5
字数 373 千
版次 2008 年 7 月第 1 版 2014 年 8 月第 2 版
印次 2014 年 8 月第 6 次印刷
定价 32.00 元

第2版前言

本书是安徽省高等学校“十二五”省级规划教材,是在《医用物理学》初版的基础上,根据教学实践并参照教育部最新颁布的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》重新修订的。本书基本沿袭初版的体系不变,注意保持了原有的风格和特点,包括强调物理基本概念及思想,注重培养学生分析问题、解决问题的能力,结合教学实践经验,使内容便于教和学。在此基础上,本书力图在不增加教学负担的情况下多介绍一些新知识,扩大学生的视野,提高学生的科学素养。为此,我们主要做了如下工作:

(1) 由初版的14章增加到15章。增加的一章为“热力学基础”,主要介绍热力学定律、循环过程、熵及其应用等相关内容。另外,部分章节中,在介绍有关物理学基础理论知识的同时,加强了对其在医学临床中相关应用的介绍与讨论,以拓宽学生的知识面,为学生进一步学习以及日后将要从事的临床工作打下必要的物理学基础。

(2) 适当强调了物理模型的建立、模型的适用范围、非理想情况的处理等;强调了临床医学需要的物理学知识的学习和基本的思维训练。

(3) 根据实用、够用、会用、学习实践贴近学生的基本原则,力争在编写过程中做到概念清楚、思路清晰、语句流畅易懂、表述准确,便于学生学习。

本书由陈月明任主编,黄海任副主编。参加本书编写的有安徽医科大学王奕(第6章和第8章)、江中云(第2章)、陈月明(绪论、第4章、第10章和第12章)、柴林鹤(第13章和第14章)、黄海(第7章和第11章)、黄龙文(第3章和第5章),蚌埠医学院李斌(第1章)、张拥军(第9章)、吴跃胜(第15章),皖南医学院刘冬梅(第4章)、张晶(第4章)。

本书适合高等医药院校临床、卫生、口腔、检验、影像、麻醉、护理、药学、全科医学、预防医学、生物技术等专业学生学习,也可供医药院校中的其他专业以及生命科学、生物学等相关专业的师生和研究人员作为参考书使用。本书参考学时为72~90学时。

本书在编写及修订过程中得到了安徽医科大学和各编者所在单位的关心与支持,得到了中国科学技术大学出版社的支持,在此表示真诚的感谢!

由于编者学识和教学经验有限,书中不当之处在所难免,恳请各位读者和同仁批评指正,编者不胜感谢!

陈月明

2014 年 5 月

前 言

本书是根据医学专业的培养目标、大学物理非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会编写的《非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求》、卫生部颁发的高等医学院校“医用物理学”教学大纲和各兄弟院校的教学改革经验以及总结作者历年来的教学实践和体会编写而成的。

以物理学基础为内容的“医用物理学”课程,是高等医药院校各专业学生一门重要的必修基础课。该课程所教授的基本概念、基本理论和基本方法是构成学生科学素养的重要组成部分,是一名医学工作者所必备的基础知识。“医用物理学”课程在学生系统地打好必要的物理学基础,培养学生树立科学的世界观,增强学生分析问题和解决问题的能力,培养学生的探索精神和创新意识等方面,具有其他课程不能替代的重要作用。为此,我们根据实用、够用、贴近学生的原则,确定本书的基本特点是:强调物理学方法,主要包括模型的建立、适用范围、非理想情况的处理等;强调医学中需要的物理学理论知识学习和基本的思维训练,忽略非必需的数学推导;在介绍有关物理学基础理论知识的同时,加强对其在医学临床中相关应用的介绍与讨论,拓宽学生的知识面,力争通过“医用物理学”课程的学习,使学生对物理学的基本概念、基本理论和基本方法有比较系统的认识 and 正确的理解,为后续专业课的学习和将来的工作打下坚实的基础。本书在各个教学环节中,在传授知识的同时,注重培养学生分析问题和解决问题的能力,注重培养学生的探索精神和创新意识,努力实现学生知识、能力、素质的协调发展。

本书适合高等医药院校五年制和七年制临床、卫生、口腔、检验、影像、麻醉、护理、药理、基础医学、预防医学、生物技术等专业使用,也可供医药院校中的其他专业和生命科学、生物学等相关专业的师生及研究人员作为参考书使用。本书参考教学时数为72~90学时。

本书由陈月明任主编,魏杰任副主编,第1章由李斌编写,第2章由江中云编写,第3章由黄龙文编写,第4章、第9章由魏杰编写,第5章、第7章由王奕编写,第6章、第10章由黄海编写,第8章由张拥军编写,绪论、第11章由陈月明编写,第12章、第13章由柴林鹤编写,第14章由吴跃胜编写。

本书在编写的过程中得到了安徽医科大学各级领导以及各编者所在学校领导的关心和支持,在此表示衷心感谢!对热情关心和支持本书编写的各位同仁及有关人员表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,实践经验不足,加之时间仓促,书中错误和不足之处在所难免,恳切希望各位读者批评指正。

编 者

2007 年 11 月

目 录

第 2 版前言	(I)
前言	(III)
绪论	(1)
0.1 物理学的内涵及其研究内容	(1)
0.2 物理学与医学之间的关系	(2)
0.3 物理学研究方法	(3)
第 1 章 物体的弹性	(5)
1.1 应变和应力	(5)
1.1.1 应变	(5)
1.1.2 应力	(6)
1.2 弹性模量	(8)
1.2.1 弹性与塑性	(8)
1.2.2 弹性模量	(9)
1.3 形变势能	(10)
1.4 骨的力学性质	(12)
1.4.1 骨的受力	(12)
1.4.2 骨的力学特性	(14)
习题	(16)
第 2 章 流体的运动	(17)
2.1 理想流体的流动	(17)
2.1.1 理想流体	(17)
2.1.2 稳定性流动	(17)
2.1.3 连续性方程	(18)
2.1.4 伯努利方程	(19)

2.1.5 伯努利方程的应用	(21)
2.2 黏性流体的流动	(23)
2.2.1 层流和湍流	(23)
2.2.2 牛顿黏滞定律	(24)
2.2.3 雷诺数	(25)
2.2.4 黏性流体的运动规律	(26)
2.3 血液的流动	(29)
2.3.1 血液循环的物理模型	(29)
2.3.2 循环系统中的血流速度	(30)
2.3.3 血流过程中的血压分布	(30)
习题	(31)
第3章 振动、波动和声	(33)
3.1 简谐振动	(33)
3.1.1 简谐振动的动力学特征	(33)
3.1.2 简谐振动方程	(34)
3.1.3 简谐振动的特征量	(34)
3.1.4 振幅、初相与初始条件的关系	(36)
3.1.5 简谐振动的旋转矢量图示法	(37)
3.1.6 简谐振动的能量	(38)
3.1.7 两个同方向、同频率简谐振动的合成	(38)
3.2 波的产生与传播	(39)
3.2.1 机械波的产生与传播	(39)
3.2.2 波面和波线	(40)
3.2.3 波长、波速、波的周期和频率	(40)
3.3 平面简谐波的波动方程	(41)
3.4 波的强度与波的衰减	(43)
3.4.1 波的强度	(43)
3.4.2 波的衰减	(44)
3.5 波的干涉	(45)
3.5.1 波的叠加原理	(45)
3.5.2 波的干涉	(45)
3.5.3 驻波	(46)
3.6 声波	(49)
3.6.1 声压、声阻抗与声强	(49)

3.6.2 声波的反射与透射	(50)
3.6.3 听觉域	(51)
3.6.4 声强级与响度级	(52)
3.7 超声波及其在医学上的应用	(53)
3.7.1 超声波的特性	(53)
3.7.2 超声波与物质的相互作用	(54)
3.7.3 超声波的产生与接收	(55)
3.7.4 超声波在医学上的应用	(55)
习题	(58)
第4章 分子动理论	(63)
4.1 物质的微观结构	(63)
4.2 理想气体分子动理论	(64)
4.2.1 理想气体的微观模型	(64)
4.2.2 理想气体的状态方程	(65)
4.2.3 理想气体的压强公式	(65)
4.2.4 理想气体的能量公式	(67)
4.2.5 混合气体的分压强	(68)
4.3 热平衡态的统计分布	(69)
4.3.1 麦克斯韦速率分布定律	(69)
4.3.2 玻耳兹曼能量分布规律	(71)
4.3.3 气体的溶解和高压氧治疗	(72)
4.4 液体的表面现象	(73)
4.4.1 表面张力和表面能	(73)
4.4.2 弯曲液面下的附加压强	(75)
4.4.3 毛细现象	(77)
4.4.4 气体栓塞	(79)
4.4.5 表面活性物质和表面吸附	(80)
习题	(81)
第5章 热力学基础	(84)
5.1 热力学第一定律	(84)
5.1.1 热力学系统和准静态过程	(84)
5.1.2 内能、功和热量	(85)
5.1.3 热力学第一定律	(86)

5.1.4 热力学第一定律的应用	(87)
5.2 循环过程和卡诺循环	(88)
5.2.1 循环过程	(88)
5.2.2 热机效率	(89)
5.2.3 卡诺循环	(89)
5.3 热力学第二定律	(90)
5.3.1 热力学第二定律的两种表述	(90)
5.3.2 卡诺定理	(90)
5.4 熵和熵增原理	(91)
5.4.1 熵的概念	(91)
5.4.2 熵增原理	(93)
习题	(94)
第6章 静电场	(97)
6.1 电场与电场强度	(97)
6.1.1 电荷与库仑定律	(97)
6.1.2 电场与电场强度	(98)
6.1.3 场强叠加原理	(99)
6.1.4 电场强度的计算	(99)
6.1.5 电力线	(100)
6.2 高斯定理	(101)
6.2.1 电通量	(101)
6.2.2 高斯定理	(102)
6.3 电势	(103)
6.3.1 静电场力所做的功	(103)
6.3.2 电势能	(104)
6.3.3 电势	(105)
6.3.4 电势叠加原理	(106)
6.3.5 电势的计算	(106)
6.3.6 电场强度和电势的关系	(107)
6.4 电偶极子	(108)
6.4.1 电偶极子的场强	(108)
6.4.2 电偶极子的电势	(110)
6.5 静电场中的电介质	(111)
6.5.1 电介质的电极化现象	(111)

6.5.2 极化强度矢量	(113)
6.6 心电场和心电图	(113)
6.6.1 心肌细胞的电偶极矩	(113)
6.6.2 心电向量环	(114)
6.6.3 心电图	(114)
习题	(115)
第7章 稳恒磁场	(117)
7.1 磁场与磁感应强度	(117)
7.1.1 基本磁现象与磁场	(117)
7.1.2 磁感应强度	(118)
7.1.3 磁感应线	(120)
7.1.4 磁通量与磁场的高斯定理	(120)
7.1.5 安培环路定理	(121)
7.2 磁场对电流的作用	(123)
7.2.1 磁场对载流导线的作用力	(123)
7.2.2 磁场对载流线圈的作用力矩	(125)
7.2.3 磁场对运动电荷的作用力	(126)
7.2.4 霍尔效应	(127)
7.3 生物磁效应	(129)
7.3.1 生物磁现象	(129)
7.3.2 磁场的生物效应	(131)
习题	(132)
第8章 稳恒电流	(135)
8.1 电流密度	(135)
8.1.1 电流与电流密度	(135)
8.1.2 欧姆定律的微分形式	(137)
8.1.3 金属的导电性	(138)
8.1.4 电解质的导电性	(139)
8.2 基尔霍夫定律	(140)
8.2.1 一段含源电路的欧姆定律	(140)
8.2.2 基尔霍夫定律	(142)
8.3 生物膜电位	(145)
8.3.1 能斯特方程	(145)

8.3.2 静息电位	(146)
8.3.3 动作电位	(147)
习题	(148)
第9章 波动光学	(150)
9.1 光的干涉	(150)
9.1.1 光的相干性	(150)
9.1.2 光程和光程差	(150)
9.1.3 杨氏双缝干涉实验	(152)
9.1.4 洛埃德镜实验	(154)
9.1.5 薄膜干涉	(155)
9.1.6 等厚干涉	(156)
9.2 光的衍射	(158)
9.2.1 惠更斯—菲涅耳原理	(159)
9.2.2 单缝衍射	(159)
9.2.3 圆孔衍射	(162)
9.2.4 光栅衍射	(162)
9.3 光的偏振	(163)
9.3.1 自然光和偏振光	(163)
9.3.2 马吕斯定律	(165)
9.4 物质的旋光性	(166)
习题	(167)
第10章 几何光学	(170)
10.1 球面折射	(170)
10.1.1 单球面折射	(170)
10.1.2 共轴球面系统	(173)
10.2 透镜	(174)
10.2.1 薄透镜成像公式	(174)
10.2.2 薄透镜组合	(175)
10.2.3 厚透镜	(177)
10.2.4 柱面透镜	(178)
10.2.5 透镜的像差	(179)
10.3 眼睛	(180)
10.3.1 眼睛的光学结构	(180)

10.3.2 眼睛的调节	(182)
10.3.3 眼睛的分辨本领及视力	(183)
10.3.4 眼睛的屈光不正及其矫正	(184)
10.4 几种医用光学仪器	(187)
10.4.1 放大镜	(187)
10.4.2 光学显微镜	(188)
10.4.3 纤镜	(190)
习题	(191)
第 11 章 激光及其医学应用	(193)
11.1 激光的基本原理与激光器	(193)
11.1.1 光与物质的相互作用	(193)
11.1.2 激光产生条件	(194)
11.1.3 激光器	(196)
11.2 激光的特性	(198)
11.3 激光的医学应用及安全防护	(199)
11.3.1 激光的生物作用	(200)
11.3.2 激光医学简介	(202)
11.3.3 激光的临床应用简介	(204)
11.3.4 激光的安全防护	(206)
习题	(207)
第 12 章 量子力学基础	(208)
12.1 量子力学产生的实验基础	(208)
12.1.1 黑体辐射	(208)
12.1.2 光电效应	(212)
12.1.3 康普顿效应	(214)
12.2 玻尔的氢原子结构模型	(216)
12.2.1 原子光谱及其规律	(216)
12.2.2 卢瑟福的原子模型	(217)
12.2.3 玻尔的氢原子结构模型	(218)
12.3 物质波与不确定关系	(219)
12.3.1 物质波	(219)
12.3.2 电子的衍射实验	(220)
12.3.3 物质波的统计解释	(221)
12.3.4 不确定关系	(222)

12.4 波函数	(225)
12.4.1 波函数及其物理意义	(225)
12.4.2 薛定谔方程	(227)
12.5 氢原子的能量和角动量量子化	(228)
12.5.1 氢原子的量子化条件	(228)
12.5.2 氢原子中电子的概率分布	(229)
12.6 电子自旋	(229)
12.6.1 原子的能级分裂	(229)
12.6.2 电子的自旋	(230)
12.7 多电子原子状态及元素周期律	(232)
12.7.1 多电子原子的状态	(232)
12.7.2 泡利不相容原理	(233)
12.7.3 能量最低原理和元素周期律	(233)
12.8 量子力学与医学	(234)
习题	(235)
第13章 X射线	(237)
13.1 X射线的产生及强度与硬度	(237)
13.1.1 X射线的产生	(237)
13.1.2 X射线的强度与硬度	(238)
13.2 X射线谱	(238)
13.2.1 连续X射线谱	(238)
13.2.2 标识谱	(240)
13.3 X射线衍射	(240)
13.4 X射线与物质的作用、衰减规律及应用	(241)
13.4.1 X射线与物质的相互作用	(241)
13.4.2 X射线的衰减	(241)
13.4.3 衰减系数的相关因素及应用	(242)
13.4.4 X射线的医学应用简介	(243)
习题	(243)
第14章 原子核与放射性	(244)
14.1 原子核的基本性质	(244)
14.1.1 组成	(244)
14.1.2 质量亏损与结合能	(244)
14.1.3 核的大小及核力	(246)
14.1.4 原子核的能级、自旋、磁矩及宇称	(246)

14.2 原子核的放射性及其衰变规律	(247)
14.2.1 放射性衰变	(247)
14.2.2 衰变规律	(248)
14.3 射线与物质的相互作用	(249)
14.3.1 带电粒子与物质的相互作用	(249)
14.3.2 光子与物质的相互作用	(250)
14.3.3 中子与物质的相互作用	(250)
14.4 射线的剂量、防护及医学应用	(251)
14.4.1 射线的剂量	(251)
14.4.2 辐射防护	(252)
14.4.3 放射性核素的医学应用	(252)
习题	(252)
第 15 章 核磁共振	(254)
15.1 核磁共振的基本概念	(254)
15.1.1 原子核的磁矩	(254)
15.1.2 磁矩受外磁场的作用	(256)
15.1.3 核磁共振	(257)
15.1.4 弛豫过程和弛豫时间 T_1, T_2	(260)
15.2 核磁共振谱	(261)
15.2.1 化学位移	(262)
15.2.2 自旋—自旋劈裂	(263)
15.2.3 磁共振波谱仪	(263)
15.3 磁共振成像原理	(265)
15.3.1 磁共振成像的基本方法	(265)
15.3.2 人体的磁共振成像	(268)
15.3.3 磁共振成像系统	(270)
15.4 氢核三种图像的获取及进行诊断的物理学依据	(271)
15.4.1 如何产生氢核密度 ρ 和 T_1, T_2 加权图像	(271)
15.4.2 磁共振成像临床诊断的物理学依据	(273)
习题	(274)
附录 基本物理常量	(276)
参考文献	(277)

绪 论

众所周知,客观世界是由运动着的物质组成的。虽然物质的形态各种各样,但总体上可分为两大类:一类是实物,大到天体,小到微观粒子等;另一类是场,如引力场、电场、磁场等。

物质的运动包括宇宙中所有的一切变化过程,其中有简单的机械运动,也有复杂的思维活动等;物理与化学的变化、生物的生长、思维活动等都属于物质运动的不同形式。各种不同形式的物质运动是相互交错、相互渗透的,它们既服从共同的运动规律,又有各自独特的运动特点,这样就形成了各门学科不同的内涵和研究内容。

0.1 物理学的内涵及其研究内容

物理学(Physics)是一门以实验为基础的自然科学,它注重于研究物质的基本结构、能量、空间、时间,特别是它们各自的性质与彼此之间的相互关系、运动形式及其相互转化的规律。其研究的规律具有普适性。

物理学按所研究的物质运动形态和具体对象,它涉及的范围包括:力学、声学、热学和分子物理学、电磁学、光学、原子和原子核物理学、基本粒子物理学、固体物理学以及对气体和液体的研究等部分。

17 世纪至 19 世纪的科学家如牛顿、伽利略、法拉第、麦克斯韦等奠定了力学、电磁学、热力学、光学等物理科学的理论基础,推动了科学技术的迅速发展。

20 世纪初,普朗克、爱因斯坦、玻尔等对光的本性的认识 and 基础研究,使得人们对物质结构的认识深入到了原子层次。狭义相对论的研究以及描述能量与质量转换规律的爱因斯坦方程的发现,成为研究基本粒子和原子能的基础;普朗克的量子论、爱因斯坦的光电效应研究及其光量子学说、玻尔的原子模型、海森堡的测不准原理以及哥本哈根学派的波动力学和矩阵力学研究奠定了量子力学基础,导致了半导体、大规模集成电路、计算机芯片的飞速发展;光受激辐射理论导致了 20 世纪 60 年代激光的诞生。所有这一切,大大促进了现代物理学的发展,推动了人类社会的进步。如今人类享受的核能、激光与光通信、超导与纳米技术、大规模集成电路与超级计算机和互联网等高科技正是基于物理学的发展。

无论是哪一种复杂的运动,它除了具有其各自的运动规律和特点外,都服从物