

安徽省高等学校

“十一五”省级规划教材

医用物理学

— MEDICAL PHYSICS —

• 陈月明/主编

中国科学技术大学出版社

安徽省高等学校“十一五”省级规划教材
高等医学院校教材

医用物理学

(供临床、卫生、口腔、检验、影像、麻醉、护理、药理、基础医学、
预防医学、生物技术等专业用)

主 编 陈月明

副主编 魏 杰

编 者 (以姓氏笔画为序)

王 奕 江中云 李 斌 陈月明

张拥军 吴跃胜 柴林鹤 黄 海

黄龙文 魏 杰

中国科学技术大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

医用物理学/陈月明主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2008.7
ISBN 978-7-312-01600-4

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(2008)第 003679 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	合肥学苑印务有限公司
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	20.00
字 数	410 千
版 次	2008 年 7 月第 1 版
印 次	2008 年 7 月第 1 次印刷
定 价	28.00 元

前 言

本书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自己历年来的教学实践和体会编写而成。

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。医用物理课程在为学生系统地打好必要的物理基础,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、贴近学生的特点,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,忽略了非必需的数学推导;在介绍有关物理学基础理论知识同时,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,力争通过对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。本书参考教学时数为72~90学时。

本书由陈月明、魏杰任主编,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

前言	(I)
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 物理学的研究方法	(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 粘性流体的流动	(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	(26)
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	(35)
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)
3.2 两个同方向、同频率简谐振动的合成	(38)
3.3 波的产生与传播	(40)
3.3.1 机械波的产生与传播	(40)
3.3.2 波面和波线	(41)
3.3.3 波长、波速、波的周期和频率	(41)
3.4 平面简谐波的波动方程	(42)
3.5 波的强度与波的衰减	(44)
3.5.1 波的强度	(44)
3.5.2 波的衰减	(44)

3.6 波的干涉	(45)
3.6.1 波的叠加原理	(45)
3.6.2 波的干涉	(45)
3.6.3 驻波	(47)
3.7 声波	(49)
3.7.1 声压、声阻抗与声强	(49)
3.7.2 声波的反射与透射	(50)
3.7.3 听觉域	(51)
3.7.4 声强级与响度级	(52)
3.8 超声波	(54)
3.8.1 超声波的特性	(54)
3.8.2 超声波与物质的相互作用	(54)
3.8.3 超声波的产生与接收	(55)
3.9 超声波在医学上的应用	(55)
习题	(59)
第 4 章 分子运动理论	(63)
4.1 物质的微观结构	(63)
4.2 理想气体分子运动理论	(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	(70)
4.3.1 麦克斯韦速率分布定律	(70)
4.3.2 玻耳兹曼能量分布规律	(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	(78)
4.4.4 气体栓塞	(80)
4.4.5 表面活性物质和表面吸附	(81)

习题	(82)
第 5 章 静电场	(84)
5.1 电场 电场强度	(84)
5.1.1 电荷与库仑定律	(84)
5.1.2 电场与电场强度	(85)
5.1.3 场强叠加原理	(86)
5.1.4 电场强度的计算	(86)
5.1.5 电力线	(87)
5.2 高斯定理	(88)
5.2.1 电通量	(88)
5.2.2 高斯定理	(89)
5.2.3 高斯定理的应用	(90)
5.3 电势	(92)
5.3.1 静电场力所做的功与路径无关	(93)
5.3.2 电势能	(94)
5.3.3 电势	(95)
5.3.4 电势叠加原理	(95)
5.3.5 电势的计算	(96)
5.3.6 电场强度和电势的关系	(96)
5.4 电偶极子	(98)
5.4.1 电偶极子的场强	(98)
5.4.2 电偶极子的电势	(100)
5.5 静电场中的电介质	(101)
5.5.1 电介质的电极化现象	(101)
5.5.2 极化强度矢量	(102)
5.5.3 带电系统的能量	(103)
5.5.4 电场的能量	(104)
5.6 心电场和心电图	(105)
5.6.1 心肌细胞的电偶极矩	(105)
5.6.2 心电向量环	(105)
5.6.3 心电图	(106)
习题	(107)

第 6 章 稳恒磁场	(109)
6.1 磁场 磁感强度	(109)
6.1.1 基本磁现象 磁场	(109)
6.1.2 磁感应强度	(110)
6.2 毕奥—萨伐尔定律	(111)
6.2.1 毕奥—萨伐尔定律	(112)
6.2.2 毕奥—萨伐尔定律的应用	(113)
6.3 磁场的高斯定理	(117)
6.3.1 磁感应线	(117)
6.3.2 磁通量 磁场的高斯定理	(117)
6.4 安培环路定理	(120)
6.4.1 安培环路定理	(120)
6.4.2 安培环路定理的应用	(122)
6.5 磁场对电流的作用	(126)
6.5.1 磁场对载流导线的作用力	(126)
6.5.2 磁场对载流线圈的作用力矩	(128)
6.5.3 磁场对运动电荷的作用力	(129)
6.5.4 霍尔效应	(130)
6.5.5 介质中的磁场	(132)
6.6 生物磁效应	(136)
6.6.1 生物磁现象	(136)
6.6.2 磁场的生物效应	(138)
习题	(139)
第 7 章 稳恒电流	(144)
7.1 电流密度	(144)
7.1.1 电流与电流密度	(144)
7.1.2 欧姆定律的微分形式	(146)
7.1.3 金属的导电性	(147)
7.1.4 电解质的导电性	(149)
7.2 含源电路的欧姆定律 基尔霍夫定律	(150)
7.2.1 一段含源电路的欧姆定律	(150)

7.2.2 基尔霍夫定律	(151)
7.2.3 基尔霍夫定律推导定理	(155)
7.3 生物膜电位	(158)
7.3.1 能斯特方程	(158)
7.3.2 静息电位	(159)
7.3.3 动作电位	(160)
习题	(161)
 第8章 波动光学	(163)
8.1 光的干涉	(163)
8.1.1 光的相干性	(163)
8.1.2 光程 光程差	(164)
8.1.3 杨氏双缝实验	(165)
8.1.4 洛埃德镜实验	(167)
8.1.5 薄膜干涉	(168)
8.1.6 等厚干涉	(170)
8.2 光的衍射	(172)
8.2.1 惠更斯-菲涅耳原理	(172)
8.2.2 单缝衍射	(173)
8.2.3 圆孔衍射	(175)
8.2.4 光栅衍射	(176)
8.3 光的偏振	(177)
8.3.1 自然光和偏振光	(177)
8.3.2 马吕斯定律	(178)
8.3.3 布儒斯特定律	(180)
8.3.4 光的双折射	(181)
8.3.5 物质的旋光性	(182)
习题	(183)
 第9章 几何光学	(185)
9.1 球面折射	(185)
9.1.1 单球面折射	(185)

9.1.2 共轴球面系统	(188)
9.2 透镜	(189)
9.2.1 薄透镜成像公式	(189)
9.2.2 薄透镜组合	(190)
9.2.3 厚透镜	(192)
9.2.4 柱面透镜	(193)
9.2.5 透镜的像差	(194)
9.3 眼睛	(196)
9.3.1 眼的光学结构	(196)
9.3.2 眼的调节	(198)
9.3.3 眼的分辨本领及视力	(198)
9.3.4 眼的屈光不正及其矫正	(199)
9.4 几种医用光学仪器	(202)
9.4.1 放大镜	(202)
9.4.2 光学显微镜	(203)
9.4.3 纤镜	(206)
*9.4.4 特殊显微镜	(207)
习题	(214)
 第 10 章 激光及其医学应用	(216)
10.1 激光的基本原理与激光器	(216)
10.1.1 光与物质的相互作用	(216)
10.1.2 激光产生条件	(218)
10.1.3 激光器	(219)
10.2 激光的特性	(222)
10.2.1 方向性好	(222)
10.2.2 亮度高、强度大	(222)
10.2.3 单色性好	(222)
10.2.4 相干性高	(223)
10.3 激光的医学应用及安全防护	(223)
10.3.1 激光的生物作用	(223)
10.3.2 激光医学简介	(226)
10.3.3 激光的临床应用简介	(227)

10.3.4 激光的安全防护	(229)
习题	(230)
第 11 章 量子力学基础	(232)
11.1 量子力学产生的实验基础	(232)
11.1.1 黑体辐射	(232)
11.1.2 光电效应	(236)
11.1.3 康普顿效应	(239)
11.2 玻尔的氢原子模型	(241)
11.2.1 原子光谱及其规律	(241)
11.2.2 卢瑟福的原子模型	(242)
11.2.3 玻尔的氢原子模型	(242)
11.3 物质波	(244)
11.3.1 物质波	(244)
11.3.2 电子衍射实验	(245)
11.3.3 物质波的统计解释	(246)
11.4 不确定关系	(247)
11.4.1 位置与动量的不确定关系	(247)
11.4.2 能量与时间的不确定关系	(248)
11.5 薛定谔方程	(250)
11.5.1 波函数及其物理意义	(250)
11.5.2 薛定谔方程	(251)
11.5.3 一维无限深方势阱	(253)
11.5.4 一维方势垒和隧穿效应	(255)
11.6 氢原子的能量和角动量量子化	(256)
11.6.1 氢原子的量子化条件	(257)
11.6.2 氢原子中电子的概率分布	(257)
11.7 电子自旋	(258)
11.7.1 原子的能级分裂	(258)
11.7.2 电子的自旋	(259)
11.8 多电子原子状态及元素周期律	(260)
11.8.1 多电子原子的状态	(260)
11.8.2 泡利不相容原理	(261)

11.8.3 能量最低原理和元素周期律	(262)
11.9 量子力学与医学	(263)
习题	(264)
第 12 章 X 射线	(266)
12.1 X 射线的产生及强度与硬度	(266)
12.1.1 X 射线的产生	(266)
12.1.2 X 射线的强度与硬度	(267)
12.2 X 射线谱	(267)
12.2.1 连续 X 射线谱	(267)
12.2.2 标识谱	(269)
12.3 X 射线衍射	(269)
12.4 X 射线与物质的作用、衰减规律及应用	(270)
12.4.1 X 射线与物质的相互作用	(270)
12.4.2 X 射线的衰减	(270)
12.4.3 衰减系数的相关因素及应用	(271)
12.4.4 X 射线的医学应用简介	(272)
习题	(272)
第 13 章 原子核与放射性	(273)
13.1 原子核的基本性质	(273)
13.1.1 组成	(273)
13.1.2 质量亏损与结合能	(273)
13.1.3 核的大小及核力	(275)
13.1.4 原子核的能级、自旋、磁矩及宇称	(275)
13.2 原子核的放射性及其衰变规律	(276)
13.2.1 放射性衰变	(276)
13.2.2 衰变规律	(277)
13.3 射线与物质的相互作用	(278)
13.3.1 带电粒子与物质的相互作用	(278)
13.3.2 光子与物质的相互作用	(279)
13.3.3 中子与物质的相互作用	(279)

13.4 射线的剂量、防护及医学应用	(280)
13.4.1 射线的剂量	(280)
13.4.2 辐射防护	(281)
13.4.3 放射性核素的医学应用	(281)
习题	(281)
 第 14 章 核磁共振	(283)
14.1 核磁共振的基本概念	(283)
14.1.1 原子核的磁矩	(283)
14.1.2 磁矩受外磁场的作用	(285)
14.1.3 核磁共振	(286)
14.1.4 弛豫过程和弛豫时间 T_1 、 T_2	(288)
14.2 核磁共振谱	(290)
14.2.1 化学位移	(290)
14.2.2 自旋—自旋劈裂	(292)
14.2.3 磁共振波谱仪	(292)
14.3 磁共振成像原理	(294)
14.3.1 磁共振成像的基本方法	(294)
14.3.2 人体的磁共振成像	(297)
14.3.3 磁共振成像系统	(298)
14.4 氢核三种图像的获取及进行诊断的物理学依据	(300)
14.4.1 如何产生氢核密度 ρ 和 T_1 、 T_2 加权图像	(300)
14.4.2 磁共振成像临床诊断的物理学依据	(302)
习题	(303)
 基本物理常量	(304)
参考文献	(305)

绪 论

环顾四周,从衣食住行到工作、学习和娱乐,从生存到发展无一不闪耀着物理学的的光芒。

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,如,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。这两类物质之间有着密切的联系,并且在一定的条件下,可以相互转化。

物质的运动包括宇宙中所有的变化过程,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,这些就形成了各门学科有着不同的内涵和研究内容。

0.1 物理学的内涵及其研究内容

物理学是研究物质的基本结构、相互作用和物质最基本、最普遍的运动形式及其相互转化的规律的科学,其研究的规律具有普适性。

物理学按照其现象和运动形式可分为力学、热学、电磁学、光学、原子和原子核物理等类别,物理学研究它们的特殊矛盾和本质,它们之间的联系,以及找出这些运动形式的各自的共同规律和普遍的特点。

17 世纪至 19 世纪的科学家们奠定了力学、电磁学、热力学、光学等物理学科的理论基础,推动了科学技术的迅速发展。

20 世纪初,科学家们对光的本性的认识和基础研究,使得人们对物质结构的认识深入到了原子层次。狭义相对论的提出以及对描述能量与质量转换规律的研究,成为研究基本粒子和原子能的基础;量子论、光电效应研究和光量子学说、原子模型、测不准关系以及对波动力学、矩阵力学的研究奠定了量子力学的基础,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源自物理学的发展。

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,都服从物理学中的基本规律。如宏观运动服从牛顿运动定律;微观运动服从相对论和量子力学的原理;一切运动过程都服从能量转换和守恒定律。因此,物理学的规律具有普遍性,它是学习其他自然科学所必备的基础。

0.2 物理学与医学之间的关系

物理学的理论和定律带有极大的普遍性,是其他自然科学和一切应用技术的基础。人类生命现象及其过程,同样不可避免地要涉及物理学中所讨论的规律和理论,医学属于研究生命现象的科学。生命活动是一种高级的复杂的物质运动形式,是以物理和化学的过程为基础的,因此,物理学与医学关系非常密切。物理学的基本知识是学习医学不可缺少的基础。

根据物理学与医学研究的对象、特点、内容和方法可知:物理学是医学研究的基础、工具和发展动力。

物理学是医学研究的基础。物理学起源于人类的生产活动和科学实践。物理学的形成和发展是与医学相辅相成的,例如,物理学中的声波,它是一种机械波,能作用于人的听觉器官引起声音的感觉,在此基础上有了超声波和次声波,相继在医学上就出现了各种类型的超声波诊断仪,以其探测人体内部的各种信息。超声诊断就是建立在物理学的声波基础上发展起来的。再如,血液在心血管系统中的运动是服从物理学中的流体动力学基本定律的,要了解骨骼和肌肉的作用,就必须具备力学知识等。

物理学是医学研究的工具之一。在基础医学研究和医学预防、诊断、治疗、药物制备以及检验等方面的发展中,物理学的方法和技术是医学研究和发展的工具。如,显微镜在医疗中的使用,使医学工作者可以观察到人体肉眼看不到的细胞,为发现致病因子控制危害人类健康的传染病的流行创造了条件。再如,电针、激光、热像仪、针灸、推拿手法仪等为医学研究增添了新内容和为医学发展提供有效的工具,放射性同位素的广泛应用及核磁共振法研究有机体内的游离基的浓度等均为癌症的早期诊断和治疗开辟了新途径。

物理学是医学研究发展的动力。物理学的每一个新的发现或技术发展到某新阶段都会给生命科学和医学提供更新更好的仪器和方法。物理学家伦琴发现 X 射线后,其他科学家很快就应用于临床医学,这大大地丰富了诊断内容和手段,医生看不到,摸不着的内脏器官,经 X 射线透视、摄片和特殊造影后便可观察,从而可知其是否正常,为早期发现疾病和诊断提供了有效手段和工具,使人们在新的认识基础上,重新建立了解剖学,生理学,病理学的新概念,X 射线诊断疾病技术的不断发展,推动了数字化放射摄影技术的发展以及与之配套的设备等新技术、新设施,并在此