



普通高等教育“十三五”规划教材

医学物理学

王光昶 贺 兵 主编



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

医学物理学

王光昶 贺 兵 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共十六章,包括力学基础、物体的弹性与形变、流体的运动、机械振动和机械波及声波、分子动理论、热力学基础、静电场、直流电、磁场与电磁感应、波动光学、几何光学、量子力学基础、X射线、原子核和放射性、激光及其医学应用以及磁共振成像。全书依据现代医学对物理学的基本要求,并结合多年的教学实践经验编写而成。在编写内容上以案例为指导,紧密结合医学,以突出物理学在医学上的应用为特点,充分考虑到教材的实用性、科学性、先进性和前沿性;重点阐述物理学的基本思想、概念、原理和方法,加强基础理论和基本知识在医学上的应用;让学生在学的过程中真正体会到学有所用,更有利于学生自主学习。为增加本书的可读性,还在每章末安排了阅读材料,介绍物理、医学、生命科学等诺贝尔奖获得者的成长经历及重大理论发现的经过,或与正文内容相关的新概念、新方法及新技术的应用等,有助于学生树立正确的科学发展观,培养创新思维,提高综合素质及分析问题、解决实际问题的能力。

本书可作为临床、预防、药学、护理、口腔、检验、美容、麻醉、影像、生物技术、药物制剂、食品、输血、康复等各专业本科生教材,也可供自学者使用。

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学 / 王光昶, 贺兵主编. —北京: 科学出版社, 2016.8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-03-048356-0

I. ①医… II. ①王… ②贺… III. ①医学物理学-高等学校-教材
IV. ①R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 152831 号

责任编辑: 昌盛 罗吉/责任校对: 彭涛

责任印制: 白洋/封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

大厂书文印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 8 月第一次印刷 印张: 28

字数: 664 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《医学物理学》编写委员会

主 编 王光昶 贺 兵

副主编 周继芳 姜云海 王昌军 罗亚梅

编 委 (按姓名笔画排序)

王光昶(成都医学院)

王昌军(锦州医科大学)

朱 渊(西南医科大学)

刘玉红(成都医学院)

许 标(西南医科大学)

陈 涛(成都医学院)

张 婷(成都医学院)

张建炜(成都医学院)

罗亚梅(西南医科大学)

周继芳(成都医学院)

郑尚彬(西南医科大学)

姜云海(西南医科大学)

贺 兵(西南医科大学)

唐碧华(西南医科大学)

梁 栋(成都医学院)

前 言

医学物理学是一门重要的基础课,医学院校医学本科专业开设医学物理学课程,一方面在于较系统地医学专业学生打好必要的物理基础;另一方面使学生初步掌握科学的思维方法和研究问题方法,培养学生唯物的世界观和科学的发展观,激发他们的探索创新精神,提高科学素质;最后进一步使学生深刻认识到现代医学的发展实际上走的是一条与物理学紧密相结合的道路,深刻领悟“学有所用”的道理。

从现代科学技术的发展及培养面向 21 世纪医学科学人才的总体要求出发,本着对传统的本科医学物理学课程进行大胆改革的精神,本书的编写力求基础性、学术性、思想性和可读性的统一,体现“精、实、宽、新、用、活”等特色,使其既具有适合于专业特点的“实用性”和“科学性”,又具有能反映时代精神的“前沿性”和“先进性”,同时还基本保留传统教材的“基础性”、“系统性”和“完整性”。本书是在参考国内外有关教材,并结合我们的教学实践经验编写而成。在教材内容上紧密结合医学,以案例为引导,以突出物理学在医学上的应用为特点,重点阐述物理学的基本思想、概念、原理和方法,加强基础理论和基本知识在医学上的应用,让学生在学的过程中真正体会到学有所用,更有利于学生自主学习。在内容结构上,本书开头简单介绍本书内容与医学的关系,或以医学应用需求为背景载体简单介绍物理学在医学上的应用情况。为了增强教材的生动性与趣味性,在每章中都适当安排了生动贴切的案例。此外在每章末还安排了阅读材料,可供学生自由时间阅读,有利于拓宽学生的知识面,开拓学生的创新思维,提高学生的科学素质。

本书内容丰富但又具有较大的弹性,能够满足不同专业不同教学课时的教学需求。本书适合普通高等医药院校临床、预防、药学、护理、口腔、检验、美容、麻醉、影像、生物技术、药物制剂、食品、输血、康复等专业使用,也可作为医药院校其他专业、生命科学有关专业的师生和研究工作者的参考用书。本书有配套的指导用书《医学物理学学习指导》,便于教学和学生自学。

在编写过程中,由于编者的知识、能力和水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 3 月

目 录

前言	
绪论	1
一、物理学的研究对象	1
二、物理学与医学的关系	1
三、物理学的研究方法及其科学思维	2
四、物理学与科学发展和技术进步及人才培养	2
第一章 力学基础	4
第一节 物理量及其描述	4
一、物理量	4
二、单位制与量纲	4
第二节 运动的描述	5
一、位置矢量和位移	6
二、速度	7
三、加速度	8
第三节 运动的基本定律	10
一、牛顿运动定律	10
二、冲量 动量定理	11
三、功和能	13
第四节 刚体的定轴转动	16
一、定轴转动的运动学	16
二、转动动能 转动惯量	17
三、力矩 转动定律	20
四、角动量 角动量守恒定律	21
五、旋进	22
第五节 转动惯量在医学领域中的应用	23
思考题与习题一	24
阅读材料	25
第二章 物体的弹性与形变	28
第一节 应力和应变	28
一、应力	28
二、应变	29
第二节 材料的弹性	29
一、弹性和塑性	29
二、弹性模量	31
三、弯曲	32
四、扭转	33

第三节 物体的形变和弹性势能	34
第四节 弹性腔的力学问题	34
一、球形弹性腔的力学问题	35
二、管形弹性腔的力学问题	35
第五节 骨与肌肉的生物力学特性	36
一、骨骼的力学性质	36
二、肌肉的力学特性	40
思考题与习题二	41
阅读材料	42
第三章 流体的运动	44
第一节 理想流体的流动	44
一、理想流体	44
二、稳定流动	44
三、连续性方程	45
第二节 伯努利方程	46
一、伯努利方程	46
二、伯努利方程的应用	48
第三节 黏性流体的流动	52
一、层流和湍流	52
二、牛顿黏滞定律	53
三、雷诺数	55
第四节 黏性流体的流动规律	55
一、黏性流体的伯努利方程	55
二、泊肃叶定律	56
三、斯托克斯定律	58
第五节 血流动力学基础	58
一、人体血液循环系统中的血流特点	58
二、血液流变学检测仪器及其医学应用	62
思考题与习题三	65
阅读材料	66
第四章 机械振动和机械波 声波	68
第一节 简谐振动	68
一、简谐振动方程	68
二、简谐振动的特征量	69
三、简谐振动的矢量图示法	70
四、简谐振动的能量	71
第二节 阻尼振动 受迫振动和共振	73
一、阻尼振动	73
二、受迫振动和共振	75

第三节 简谐振动的合成与分解	76
一、两个同方向、同频率简谐振动的合成	77
二、同方向、不同频率的简谐振动的合成	78
三、频谱分析	80
四、两个同频率、互相垂直的简谐振动的合成	81
第四节 机械波	83
一、机械波的产生	83
二、波面和波线	84
三、简谐波的波动方程	84
四、波的能量	87
五、波的强度	88
六、波的衰减	88
第五节 波的干涉	90
一、惠更斯原理 波的衍射	90
二、波的叠加原理	91
三、波的干涉	91
四、驻波及半波损失	93
第六节 声波	96
一、声压、声阻和声强	96
二、声波的反射和透射	98
三、声强级和响度级	99
四、多普勒效应	101
第七节 超声波	104
一、超声波的特性	104
二、超声波在介质中的作用	105
第八节 超声技术及其医学应用	106
一、超声波的产生与探测	106
二、医学超声仪的分辨力	107
三、超声扫描仪及其医学应用	108
思考题与习题四	112
阅读材料	114
第五章 分子动理论	116
第一节 物质的微观结构	116
第二节 理想气体分子动理论	117
一、理想气体状态方程	117
二、理想气体微观模型	118
三、理想气体的压强公式	119
四、理想气体的能量公式和能量均分原理	121
五、理想气体定律的推导	123
第三节 生物膜的输运	125

一、生物膜的通透性·····	125
二、气体的透膜扩散·····	125
三、带电粒子的扩散·····	126
四、溶液中的渗透·····	126
第四节 液体的表面现象·····	127
一、表面张力和表面能·····	127
二、曲面下的附加压强·····	130
三、毛细现象和气体栓塞·····	133
四、表面活性物质与表面吸附·····	135
第五节 毛细现象和气体栓塞的医学应用·····	137
思考题与习题五·····	137
阅读材料·····	138
第六章 热力学基础·····	140
第一节 热力学第一定律·····	140
一、热力学的基本概念·····	140
二、热力学第一定律·····	143
第二节 热力学第一定律的应用·····	144
一、等体过程·····	144
二、等压过程·····	144
三、等温过程·····	145
四、绝热过程·····	146
第三节 循环过程 卡诺循环·····	148
一、循环过程和热机效率·····	148
二、卡诺循环及其效率·····	150
第四节 热力学第二定律·····	152
一、热力学第二定律·····	152
二、可逆过程和不可逆过程·····	153
三、热力学第二定律的统计意义和适用范围·····	153
第五节 熵与熵增加原理·····	155
一、克劳修斯等式·····	155
二、熵的概念·····	156
三、熵增加原理与能量退降·····	157
第六节 生物热力学·····	160
一、人体代谢过程中的能量转换·····	160
二、生物系统热力学·····	162
第七节 热效应的医学应用·····	162
一、制热效应的医学应用·····	162
二、制冷效应的医学应用·····	163
思考题与习题六·····	164
阅读材料·····	165

第七章 静电场	168
第一节 电场和电场强度	168
一、电荷和库仑定律	168
二、电场强度	169
第二节 高斯定理	172
一、电场线和电通量	172
二、高斯定理	174
三、高斯定理的应用	176
第三节 电势和电势梯度	178
一、静电场力做功	178
二、电势	180
三、电势梯度	183
第四节 电偶极子与电偶层	185
一、电偶极子	185
二、电偶层	187
第五节 电场的生物学效应	188
一、静电场对种子萌发的生物学效应	189
二、静电场对植物愈伤组织诱导和增殖的影响	190
三、静电场对植物光合器官和功能的影响	190
第六节 生物电现象及其医学应用	191
一、细胞膜电势及神经传导的电学原理	191
二、心电图的形成	198
思考题与习题七	200
阅读材料	202
第八章 直流电	203
第一节 电流和电流密度	203
一、电流 电流密度	203
二、欧姆定律的微分形式	205
三、电解质的导电性	207
四、含源电路的欧姆定律	208
第二节 基尔霍夫定律	210
一、基尔霍夫第一定律	211
二、基尔霍夫第二定律	211
三、基尔霍夫定律的应用	212
第三节 电容器的充放电过程	213
一、RC 电路的充电过程	214
二、RC 电路的放电过程	215
第四节 生物膜电势	216
一、能斯特方程和静息电势	216

二、动作电势和神经传导·····	218
第五节 电流对人体的作用·····	221
一、人体的导电性·····	221
二、电流对人体的作用·····	222
三、电疗·····	224
思考题与习题八·····	225
阅读材料·····	226
第九章 磁场与电磁感应·····	228
第一节 磁场 磁感应强度·····	228
一、磁场·····	228
二、磁感应强度·····	228
第二节 磁场对运动电荷和电流的作用·····	229
一、洛伦兹力·····	229
二、霍尔效应·····	230
三、磁场对载流导线的作用 磁矩·····	232
第三节 电流的磁场·····	234
一、毕奥-萨伐尔定律·····	234
二、毕奥-萨伐尔定律的应用·····	235
三、安培环路定理·····	238
第四节 电磁感应·····	240
一、磁通量·····	240
二、电磁感应定律·····	241
三、动生电动势·····	242
四、感生电动势 涡旋电场·····	242
五、自感现象·····	243
第五节 电磁振荡和电磁波·····	244
一、电磁振荡·····	244
二、电磁波·····	246
第六节 磁场的生物效应及磁效应的医学应用·····	248
一、生物磁现象及医学应用·····	248
二、磁场的生物效应及磁效应的医学应用·····	249
三、磁效应的医学应用·····	250
思考题与习题九·····	251
阅读材料·····	252
第十章 波动光学·····	255
第一节 光的干涉·····	255
一、光的相干性·····	255
二、光程和光程差·····	256
三、杨氏双缝干涉·····	257

四、劳埃德镜实验	259
五、薄膜干涉	260
第二节 光的衍射	266
一、单缝衍射	266
二、圆孔衍射	269
三、光栅衍射	269
第三节 光的偏振	271
一、自然光和偏振光	271
二、马吕斯定律	274
三、布儒斯特定律	275
四、光的双折射	276
第四节 旋光现象	277
第五节 波动光学的应用	278
一、偏振光技术的应用	278
二、液晶的光学特性	278
思考题与习题十	279
阅读材料	280
第十一章 几何光学	282
第一节 球面折射	282
一、单球面折射	282
二、共轴球面系统	285
第二节 透镜	286
一、薄透镜	286
二、薄透镜组合	288
三、厚透镜	289
四、柱面透镜	291
五、透镜的像差	291
第三节 眼睛的光学系统	293
一、眼睛的光学结构	293
二、眼睛的光学系统	294
三、眼睛的调节	295
四、眼睛的分辨本领及视力	295
五、眼睛的屈光不正及其矫正	297
第四节 几种医用光学仪器的原理及应用	300
一、放大镜	300
二、光学显微镜	301
三、检眼镜与纤镜	305
四、几种特殊的显微镜	307
思考题与习题十一	312
阅读材料	312

第十二章 量子力学基础	314
第一节 热辐射	314
一、基尔霍夫辐射定律	314
二、黑体辐射	316
三、普朗克能量量子假设	318
四、人与热辐射环境	319
第二节 光的量子性	319
一、光电效应	319
二、爱因斯坦光电效应方程	321
三、光的波粒二象性	322
四、康普顿效应	322
第三节 氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	323
一、氢原子光谱的规律	323
二、玻尔的氢原子理论	324
第四节 物质的波动性质	326
一、德布罗意波	326
二、电子显微镜	328
三、不确定关系	328
第五节 原子壳层结构	329
一、多电子原子的近似处理	329
二、原子的电子壳层结构	330
第六节 原子光谱与分子光谱	331
一、原子光谱	331
二、分子光谱	332
三、光谱分析在医学上的应用	334
第七节 扫描隧道显微镜	335
第八节 量子生物学概述	337
一、量子生物学的研究方法	337
二、量子生物学研究内容	338
三、量子生物学的发展	338
思考题与习题十二	338
阅读材料	339
第十三章 X射线	341
第一节 X射线的产生	341
一、X射线的产生装置	341
二、实际焦点和有效焦点	342
三、X射线的强度和硬度	343
第二节 X射线的性质和X射线衍射	343
一、X射线的性质	343

二、X射线的衍射	344
第三节 X射线谱	345
一、连续X射线谱	346
二、标识X射线谱	347
第四节 物质对X射线的吸收规律	348
一、单色X射线的吸收规律	348
二、连续X射线的吸收规律	350
第五节 X射线的医学应用	350
一、治疗方面的应用	350
二、药物分析方面的应用	350
三、诊断方面的应用	351
思考题与习题十三	353
阅读材料	354
第十四章 原子核和放射性	356
第一节 原子核的基本性质	356
一、原子核的组成	356
二、原子核的质量和大小	357
三、原子核的自旋和磁矩	357
四、原子核的质量亏损及结合能	358
五、原子核的稳定性	359
六、原子核的宇称	360
第二节 原子核的衰变	361
一、 α 衰变	361
二、 β 衰变	362
三、 γ 衰变和内转换	364
第三节 放射性核素的衰变规律	364
一、衰变规律	364
二、半衰期和平均寿命	365
三、放射性活度	367
四、放射平衡	368
第四节 射线与物质的相互作用	371
一、射线与物质作用的方式	371
二、重带电粒子与物质的相互作用	372
三、 β 射线与物质的相互作用	373
四、光子与物质的相互作用	374
五、中子与物质的相互作用	375
第五节 辐射剂量与防护及测量原理	376
一、射线的辐射剂量	376
二、辐射的防护	378
三、射线的测量原理	379

第六节 放射性核素在医学上的应用	380
一、示踪原理	380
二、放射诊断	381
三、放射治疗	382
思考题与习题十四	384
阅读材料	384
第十五章 激光及其医学应用	386
第一节 激光产生的基本原理	386
一、粒子的能级	386
二、粒子能级之间的跃迁	387
三、粒子数反转	387
四、光学谐振腔	388
五、激光器与激光	389
第二节 激光的特性	391
一、方向性好	391
二、亮度高	392
三、单色性好	392
四、相干性好	392
五、偏振性好	393
第三节 激光的医学应用	393
一、激光的生物作用	393
二、激光在基础医学研究中的应用	395
三、激光的临床应用	396
四、医用激光器	398
五、激光的安全防护	400
思考题与习题十五	401
阅读材料	401
第十六章 磁共振成像	403
第一节 核磁共振的基本概念	403
一、原子核的自旋和磁矩	403
二、原子核在磁场中的运动	405
三、原子核在磁场中的能量和塞曼效应	406
四、原子核的宏观磁化	406
第二节 核磁共振现象	408
一、核磁共振现象的发生	408
二、弛豫过程和弛豫时间	409
三、自由感应衰减信号	410
四、核磁共振参数的医学诊断意义	411

第三节 磁共振成像原理	412
一、磁共振信号成像参数的检测和加权成像	413
二、磁共振成像的基本方法	415
三、磁共振成像系统	417
第四节 MRI 的医学应用与发展	419
一、MRI 的医学应用	419
二、MRI 技术的主要优缺点	421
三、MRI 的发展和前景	422
思考题与习题十六	422
阅读材料	423
参考文献	427

绪 论

一、物理学的研究对象

物理学是以认识物质的基本属性,研究物质运动规律为研究目的的学科,是自然科学的基础.它的研究对象十分广泛,包括宇观、宏观、微观世界.

物理学是研究物质结构、物质相互作用和运动规律的一门自然科学,是自然科学中最重要、的基础学科之一.它对科学技术的发展起到至关重要的作用.

在所有自然科学中,物理学所研究的物质运动形式,具有最基本、最普遍的性质.具体说,物理学研究的运动包括:机械运动、分子热运动、电磁运动、原子内部运动、场与物质的相互作用等.这些运动形式普遍存在于其他高级而复杂的物质运动形式之中.因此,物理学所研究的规律具有最基本、最普遍的意义,从而物理学的知识和理论成为研究其他自然科学不可缺少的基础.正是由于物理学所研究的物质运动形态和运动规律在各自适用的范围内有其普遍的适用性、统一性和简单性,随着现代科学技术的迅速发展和各门学科之间的相互渗透,形成了许多与物理学直接有关的新兴边缘学科(或前沿学科),如物理化学、天体物理学、生物物理学、生物物理化学、量子化学、生物物理遗传学、医学影像物理学、激光医学、血液流变学、量子生物学、生物医学工程学等.物理学的每一次重大发现和发明都极大地推动了其他自然科学的发展,促使科学技术和生产技术发生根本性的变革.

医学物理学是现代物理学与医学相结合所形成的交叉学科,它的基础知识、基本原理和方法,已成为研究医学所不可缺少的基础.现代医学的发展,实际上走的是一条与物理学紧密结合的道路.因此,物理学必将不断地推动医学向前迅猛发展.

二、物理学与医学的关系

医学是以人体为研究对象的生命科学.生命现象属于物质的高级而复杂的运动形式,并且有其自身的运动规律,在生命活动中包含着大量的物理现象和物理过程.在医学的发展进程中无时无刻不在运用着物理学的理论、方法和技术.物理学每一新进展无不对医学施以巨大影响,促使医学产生突破性的进步.显微镜的发明和使用,电子显微镜的出现,以及 X 射线衍射技术、波谱技术、电泳、色谱等使人类对生命现象的认识逐渐深化,生命科学已经从宏观形态的研究进入到微观机制的探讨,从细胞水平提高到分子水平,从定性分析提高到定量分析.物理学的发展已经历了三次大的突破,而每次突破都促进了医学的发展,生命科学研究和医疗实践中都越来越广泛地采用物理学的技术和方法.随着物理学经历第一次大突破,科学家发明了温度计、压强计、显微镜等仪器,之后这些仪器就在医学中得到广泛应用并弥补了医学检测手段的不足.到物理学发展经历的第二次大突破时,期间对医学发展促进较大的有两件事,一是 X 射线的发现并很快地在医学上应用;二是 1889 年沃勒(Waller)提出的心脏电偶极子模型,为心电图的记录提供了理论基础.物理学经历的第三次大突破以来,量子力学微观理论的成果,又直接促进了核磁共振、激光等新技术的发展,这些成果已成为医生诊断和治疗的得力帮手.20 世纪 70 年代以后,由于电子计算机技术的飞速发展和日臻成熟,这一技术在医学领域内得以大显身手,除了