



普通高等教育“十三五”规划教材

# 医用物理学

吉 强 王晨光 主编



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

# 医用物理学

主 编 吉 强 王晨光

副主编 莫 华 石继飞

刘东华 闫 冰



科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书内容严格按照教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会第三次工作会议上通过的《医药类专业的物理课程教学基本要求》相应的知识点编写。全书结构与基本要求相对应,分为核心篇、扩展篇和现代医药科学与技术的物理基础专题篇三大部分。在保证医药类专业物理课程本身的系统性基础上,凸显新编教材的新颖性、实用性和适用性。全书共16章,基本覆盖了医学各专业所需要的物理学基本理论知识,并配有相应的例题、习题与思考题。

全书图文均采用双色排版印刷,各章节采用了二维码链接新技术,使纸质空间和数字空间相互交叉融为一体,将知识拓展、视频展示、实验过程、动画演示等过程变得更加直观方便,充分展示了新技术和新方法。

本书适合普通高等学校医药类专业学生学习,也可供相关人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

医用物理学/吉强,王晨光主编. —北京:科学出版社,2016.8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-03-048078-1

I. ①医… II. ①吉… ②王… III. ①医用物理学-高等学校-教材  
IV. ①R312

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第152830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>

文林印务有限公司印刷

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:24 1/4

字数:428 000

定价:54.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《医用物理学》编委会

主 编： 吉 强（天津医科大学）  
王晨光（哈尔滨医科大学）

副主编： 莫 华（广西医科大学）  
石继飞（包头医学院）  
刘东华（新乡医学院）  
闫 冰（河北大学）

编 委：（按姓名拼音排序）

邓 玲（第三军医大学）  
贺奇才（中山大学）  
侯淑莲（华北理工大学）  
孟燕军（河北医科大学）  
仇 惠（牡丹江医学院）  
童家明（青岛大学）  
王卫国（武警后勤学院）  
韦相忠（广西中医药大学）  
许建梅（海南医学院）  
杨文沛（右江民族医学院）  
张 燕（广西医科大学）  
赵 昕（泰山医学院）

# 前言

早在 1982 年卫生部颁布了医药院校五年制《医用物理学教学大纲》(试用稿)。此后,多年没有再颁布新的医用物理学的教学大纲或教学基本要求,致使医药类专业物理课程教学逐渐走向无章可循格局,各院校医用物理学课程的学时数、教学内容及要求有很大差别,各自为政,处于无序状态。2014 年 10 月在广西中医药大学召开的教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会第三次工作会议上通过了《医药类专业的物理课程教学基本要求》。从此,医学院校医用物理学教什么、学什么、学多少回归到了有章可循、有法可依的局面。由于教指委讨论通过《医药类专业的物理课程教学基本要求》并上报教育部时间不长,到目前为止我国还没有一本从内容到体系完全对应《医药类专业的物理课程教学基本要求》的医用物理学教材。

本书以全国高等学校医学本科阶段教育培养目标为依据,以 2014 年 10 月在广西中医药大学召开的教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会第三次工作会议上通过的《医药类专业的物理课程教学基本要求》知识点为参考细则,由全国 11 省市 17 所院校长期从事医用物理学教学的骨干教师(包括现任教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会委员吉强、王晨光、邓玲、韦相忠,现任医药工作委员会委员莫华、刘东华、童家明、贺奇才等)结合多年的教学实践体会,历经一年多时间精心打造共同编写完成。全书结构与基本要求相对应,分为核心篇、扩展篇和现代医药科学与技术的物理基础专题篇三大部分。各院校任课教师可以根据本校的实际情况灵活选取、调整授课类型和内容。

现行的医用物理学纸质教材与数字化教材彼此脱节,没有一个很好的链接,而且必须配置专门的设备才可以阅读数字化教材,限制了其适用性。本书在纸质教材中针对重要知识点引入相关数字化素材内容,建立方便的二维码链接形式,让学生使用手机即可方便迅速地、有的放矢地阅读数字化素材,尽可能地减小了使用数字化教材带来的负面影响。

本书由吉强编写绪论,王晨光编写第 1 章,刘东华编写第 2 章,贺奇才编写第 3 章,许建梅编写第 4 章,邓玲编写第 5 章,赵昕编写第 6 章,张燕编写第 7 章,王卫国编写第 8 章,童家明编写第 9 章,孟燕军编写第 10 章,仇惠编写第 11 章,闫冰编写第 12 章,莫华编写第 13 章,杨文沛编写第 14 章,石继飞编写第 15 章,侯淑莲、韦相忠编写第 16 章。同时吉强负责全书的统稿,王晨光负责全书插图的绘制,刘东华负责二维码数字化资源整理和制作,天津医科大学储信炜负责文稿的规范化调整,王卫国担任全书的秘书工作。

本书适合高等医学院校五年制和 5+3 八年制临床、预防、口腔、麻醉、影像、药学、检

验、全科医生等专业使用，也可供医药院校其他专业的师生和研究工作者使用。本书的编写工作得到了各位编者单位领导的关心和支持，同时科学出版社的昌盛分社长和罗吉编辑为组织教材的编写与出版做了大量工作，在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平和能力有限，书中难免还会有不妥之处，恳请使用本书的师生提出宝贵意见和建议，以便我们及时纠正。

吉 强

2016年4月

# 目录

前言	
绪论	1

## 核心篇

(A类内容)

第1章 刚体	7
1.1 力学基本定律	8
1.1.1 位移 速度 加速度	8
1.1.2 动量 动量守恒定律	10
1.1.3 功和能 能量守恒定律	12
1.2 刚体转动的运动学	16
1.2.1 角位移 角速度 角加速度	16
1.2.2 角量与线量的关系	17
1.3 刚体转动的动力学	17
1.3.1 转动动能 转动惯量	17
1.3.2 刚体定轴转动定律	20
1.3.3 刚体转动的角动量守恒定律	22
1.3.4 刚体的进动	25
习题	27
第2章 液体	29
2.1 理想流体	30
2.1.1 理想流体	30
2.1.2 定常流动	30

2.1.3	连续性方程	31
2.1.4	伯努利方程	32
2.1.5	伯努利方程的应用	33
2.2	黏性流体	38
2.2.1	层流	38
2.2.2	牛顿黏滞定律	38
2.2.3	湍流 雷诺数	39
2.2.4	黏性流体的伯努利方程 心脏做功	41
2.2.5	斯托克斯定律	43
2.2.6	泊肃叶定律	44
2.3	液体的表面现象	47
2.3.1	表面张力和表面能	47
2.3.2	弯曲液面的附加压强	50
2.3.3	毛细现象和气体栓塞	52
2.3.4	表面活性物质与表面吸附	55
	习题	57
第 3 章 气体		60
3.1	理想气体的压强、温度和内能	61
3.1.1	物质微观结构	61
3.1.2	理想气体模型	62
3.1.3	理想气体的状态方程	62
3.1.4	理想气体的压强	63
3.1.5	理想气体的温度	65
3.1.6	理想气体的内能	65
3.1.7	道尔顿分压定律	66
3.2	气体分子的麦克斯韦速率分布律	67
3.2.1	速率分布函数	68
3.2.2	麦克斯韦速率分布律	68
3.2.3	气体分子的三种统计速率	69
3.2.4	玻尔兹曼能量分布律	70
	习题	72
第 4 章 振动		73
4.1	简谐振动	74
4.1.1	简谐振动的动力学方程	74
4.1.2	简谐振动的特征量	76
4.1.3	简谐振动的旋转矢量表示法	79



4.1.4	简谐振动的能量 .....	79
4.2	简谐振动的合成 .....	82
4.2.1	同方向同频率的简谐振动的合成 .....	82
4.2.2	同方向不同频率的简谐振动的合成 .....	83
4.2.3	互相垂直的简谐振动的合成 .....	85
4.2.4	频谱分析 .....	86
习题	.....	86
<b>第 5 章</b>	<b>波动 .....</b>	<b>88</b>
5.1	机械波 .....	89
5.1.1	机械波的产生和传播 .....	89
5.1.2	机械波的几何描述 .....	89
5.1.3	描述波的基本特征物理量 .....	90
5.2	平面简谐波 .....	90
5.2.1	平面简谐波的波函数 .....	90
5.2.2	波函数的物理意义 .....	92
5.3	波的能量与强度 .....	93
5.3.1	波的能量 .....	94
5.3.2	波的能量密度 .....	94
5.3.3	波的强度 .....	95
5.3.4	波在传播过程中的衰减 .....	96
5.4	波的衍射和干涉 .....	96
5.4.1	惠更斯原理 波的衍射 .....	96
5.4.2	波的叠加原理 .....	97
5.4.3	波的干涉 .....	98
5.4.4	驻波 .....	99
5.5	声波 .....	100
5.5.1	声波的分类 .....	100
5.5.2	声速 声压 声阻 .....	101
5.5.3	声强和声强级 .....	102
5.5.4	响度和响度级 .....	104
5.6	多普勒效应 .....	105
5.7	超声波及医学应用 .....	108
5.7.1	超声波的特性 .....	108
5.7.2	超声波的作用 .....	109
5.7.3	超声波的产生与接收 .....	110
5.7.4	超声波在医学上的应用 .....	111
习题	.....	114

第 6 章 波动光学	116
6.1 光的干涉	117
6.1.1 相干光	117
6.1.2 杨氏双缝干涉实验	118
6.1.3 光程差	120
6.1.4 劳埃德镜实验	122
6.1.5 薄膜干涉	123
6.2 光的衍射	128
6.2.1 单缝衍射	129
6.2.2 圆孔衍射	133
6.2.3 光栅衍射	134
6.3 光的偏振	136
6.3.1 偏振光和自然光	137
6.3.2 起偏和检偏 马吕斯定律	138
6.3.3 布儒斯特定律	140
6.3.4 旋光现象	142
习题	143
第 7 章 静电场	145
7.1 库仑定律	146
7.1.1 电荷及其性质	146
7.1.2 库仑定理	146
7.1.3 电场强度叠加原理及其应用	148
7.2 静电场的高斯定理	155
7.2.1 电通量	155
7.2.2 静电场的高斯定理	157
7.3 静电场的环路定理	162
7.3.1 电势 电势叠加原理	162
7.3.2 电场强度和电势的关系	167
7.3.3 静电场的环路定理	170
习题	171
第 8 章 磁场	174
8.1 磁感应强度	175
8.1.1 磁现象	175
8.1.2 磁场及磁感应强度	176
8.1.3 磁感应线 磁通量及磁场的高斯定理	176

8.2	毕奥-萨伐尔定律	177
8.2.1	毕奥-萨伐尔定律	177
8.2.2	毕奥-萨伐尔定律的应用	178
8.3	安培环路定理及其应用	182
8.3.1	安培环路定理	182
8.3.2	安培环路定理的应用	183
8.4	磁场力	185
8.4.1	洛伦兹力	185
8.4.2	安培力	188
8.4.3	磁场对载流线圈的作用	190
8.4.4	磁力的功	191
8.5	磁场中的磁介质	192
8.5.1	磁介质的磁化	192
8.5.2	磁介质中的安培环路定理	194
8.6	电磁感应	196
8.6.1	法拉第电磁感应定律	196
8.6.2	动生电动势与感生电动势	197
8.6.3	电场和磁场的能量	199
	习题	200
第 9 章 直流电		202
9.1	欧姆定律的微分形式	203
9.1.1	恒定电流 电流密度	203
9.1.2	欧姆定律的微分形式	204
9.1.3	电功和电功率	206
9.1.4	电动势	207
9.2	直流电路	209
9.2.1	一段含源电路的欧姆定律	209
9.2.2	基尔霍夫方程组	211
9.3	电容	214
9.3.1	$RC$ 电路的充电过程	215
9.3.2	$RC$ 电路的放电过程	217
9.3.3	心脏除颤	218
	习题	220
第 10 章 量子力学基础		223
10.1	热辐射和普朗克能量量子化假设	224
10.1.1	热辐射	224

10.1.2	黑体辐射实验	225
10.1.3	普朗克能量量子化假设	227
10.2	光的波粒二象性	228
10.2.1	光电效应	228
10.2.2	康普顿效应	232
10.3	物质波及其波动性	236
10.3.1	德布罗意物质波	236
10.3.2	不确定关系	239
10.3.3	波函数及其统计解释	240
	习题	243

## 扩展篇

(B类内容)

第 11 章	热力学	247
11.1	热力学第零定律	248
11.1.1	平衡态 状态参量 热力学第零定律	248
11.1.2	理想气体的状态方程	249
11.1.3	准静态过程 热量、功和内能	250
11.2	热力学第一定律	251
11.2.1	热力学第一定律	251
11.2.2	典型的热力学过程	252
11.3	热力学第二定律	255
11.3.1	热力学第二定律	255
11.3.2	熵和熵增加原理	258
11.3.3	玻尔兹曼熵关系式	260
	习题	262
第 12 章	几何光学	266
12.1	球面折射	267
12.1.1	单球面折射成像	267
12.1.2	共轴球面系统	270
12.2	透镜	270
12.2.1	透镜基础知识	271
12.2.2	薄透镜成像公式	272
12.2.3	薄透镜组合	273
12.2.4	柱面透镜	274

12.2.5 透镜像差 .....	275
12.3 几何光学的应用 .....	276
12.3.1 眼睛与视力矫正 .....	276
12.3.2 放大镜 .....	280
12.3.3 光学显微镜 .....	281
12.3.4 荧光显微镜和电子显微镜 .....	284
12.3.5 纤镜 .....	285
习题 .....	286
<b>第 13 章 激光 .....</b>	<b>288</b>
13.1 激光的基本原理 .....	289
13.1.1 粒子数按能级分布和辐射跃迁 .....	289
13.1.2 加强受激辐射的两个条件 .....	291
13.1.3 激光器的基本结构 .....	293
13.2 激光的特点及其医学应用 .....	296
13.2.1 激光的特性 .....	296
13.2.2 激光的生物效应 .....	297
13.2.3 激光的医学应用 .....	298
13.3 激光全息照相 .....	300
13.3.1 全息照相的过程和特点 .....	300
13.3.2 全息照相的原理 .....	302
13.3.3 激光全息术的应用 .....	304
习题 .....	305
<b>第 14 章 X 射线 .....</b>	<b>306</b>
14.1 X 射线的产生及其基本性质 .....	307
14.1.1 X 射线的产生 .....	307
14.1.2 X 射线的基本性质 .....	309
14.1.3 X 射线的强度和硬度 .....	310
14.1.4 X 射线谱 .....	311
14.2 X 射线与物质的作用及其应用 .....	314
14.2.1 X 射线的衍射 .....	314
14.2.2 X 射线的吸收 .....	315
14.2.3 X 射线的衰减 .....	317
14.2.4 X 射线的医学应用 .....	320
习题 .....	326

第 15 章 核物理 .....	327
15.1 原子核的基本性质 .....	328
15.1.1 原子核的电荷、质量、大小 .....	328
15.1.2 原子核的自旋、磁矩 .....	329
15.1.3 原子核质量亏损、结合能 .....	330
15.2 原子核的放射性衰变、辐射剂量与防护 .....	332
15.2.1 原子核的放射性衰变 .....	332
15.2.2 核辐射剂量与防护 .....	337
15.3 放射性核素的医学应用 .....	340
15.3.1 放射诊断 .....	340
15.3.2 放射治疗 .....	343
习题 .....	344

## 现代医药科学与技术的物理基础 专题篇

(自选内容)

第 16 章 核磁共振成像 .....	347
16.1 核磁共振信号的产生 .....	348
16.1.1 核磁共振的微观描述 .....	348
16.1.2 核磁共振的宏观描述 .....	350
16.1.3 弛豫过程及其特征量 .....	352
16.1.4 弛豫时间作为成像参数的生理基础和物理依据 .....	353
16.2 磁共振成像参数与基础脉冲序列 .....	354
16.2.1 成像参数与加权 .....	354
16.2.2 自由感应衰减信号与成像参数加权 .....	355
16.2.3 自旋回波序列 (SE) 与成像参数加权 .....	355
16.2.4 反转恢复自旋回波序列的转折点和基本应用 .....	358
16.3 磁共振成像的图像重建 .....	360
16.3.1 体素空间坐标的确立 .....	360
16.3.2 成像所需时间 .....	362
思考题 .....	362
参考文献 .....	363
索引 .....	365

# 绪 论

---

**医**学 (medical) 是处理人体健康定义中人的生理处于良好状态相关问题的一种科学, 以治疗、预防生理疾病和提高人体生理机体健康为目的。狭义的医学只是疾病的治疗和机体有效功能的极限恢复, 广义的医学还包括中国养生学和由此衍生的西方的营养学。

物理学 (physics) 是研究最普遍、最基本的物质运动形态的科学, 是探索物质运动规律、物质结构及其相互作用的科学。在自然界和人类生活中最常见的机械运动、分子热运动、电磁变化、原子和原子核的运动变化等都属物理学的研究范畴。

医用物理学是物理学的重要分支, 是物理学与医学相结合的交叉范畴, 是将物理学的原理和方法应用于人类疾病预防、诊断、治疗和保健, 通过科学或技术的手段处理人体的各种疾病。

所以, 了解物理学在医学中的应用以及医用物理学课程内涵是非常重要的。

## 一、物理学在医学中的应用

物理现象和物理定律存在于一切自然现象和规律之中。生命现象是物质世界中的高级运动形态，尽管生命活动非常复杂，但它仍遵循物理学的规律。例如，人体代谢服从能量守恒和转换定律；生物电的电性质一定符合电磁学的规律等。因而物理学是自然科学和工程技术的基础，也是医学的基础。物理学与医学之间存在着悠久的、内在的、不可分割的联系。

物理学的奠基人伽利略是把物理学用于医学的一位先驱者，他根据摆的等时性制作了脉搏计；发明了温度计，使人们对发烧的概念有了准确的认识。

1797年，法国医生泊肃叶为研究心脏力和血液循环的关系，得出著名的泊肃叶公式，至今仍是解释血液流动的基本理论。

意大利医生伽伐尼首次在蛙肌上发现了生物电，这给后来的人体电生理启迪了思路。1889年，沃勒提出心脏电偶极子模型，1903年，荷兰生理学家爱因托芬提出了标准导联三角学说，1934年，美国学者威尔逊提出中心电端的概念，这些工作为心电图（ECG）记录提供了坚实的理论基础。

光学显微镜的问世，为生物学和医学提供了有力工具，使医生观察到微小的细胞，发现了很多疾病的致病因子，从而控制住许多危害人类健康的传染病和流行病。1933年，德国人鲁斯卡发明了电子显微镜，用它可以观察物质极为细微的形态结构。这一技术设备已成为当代生物学、医学、高分子化学、微电子学等科研领域的有力工具。没有这项发明，医生要观察到病毒体是不可能的。

1895年，伦琴发现X射线，三个月后便被用于协助实施外科手术。随着20世纪计算机技术的发展，出现了X射线计算机体层成像（X-CT）、数字减影血管造影（DSA）、数字X射线摄影、X射线刀等技术，使X射线在医学诊断与治疗方面有了新的突破，现已成为医学诊断和治疗的重要手段之一。

在X-CT的基础上，人们研制成功磁共振成像（MRI）、单光子发射型计算机体层成像（SPECT）、正电子发射型计算机体层成像（PET），这些医疗器械的使用大大提高了医学诊断水平。

综上所述，物理学与医学的关系归结为两个主要方面：①物理学知识是了解生命现象所不可缺少的基础；②物理学所提供的方法和技术，为医学研究和医疗实践开辟了许多新的途径。物理学和医学在发展过程中，相互促进，相互渗透。物理学的理论和方法是学习和研究





各医学分支学科的基础,它为现代医学提供了准确可靠的检测手段和先进的治疗方法,大大促进了医学的发展.物理学在医学方面的应用越来越广泛和深入,两者的关系也越来越密切.因此,开设医用物理学课程,既是为医学专业后续课程打基础,更是将来从事现代化医疗卫生和医学科学研究工作的需要.

## 二、医用物理学课程

学好医用物理学必须清晰了解该课程的内涵,应明确以下几个问题,做到有的放矢,事半功倍.

### 1. 医用物理学课程的地位、作用和任务

以物理学基础为主干的医用物理学课程,是高等学校医药类各专业学生一门重要的通识性必修基础课.在该课程上所学习的物理基本概念、基本理论和基本方法是构成医学生科学素养的重要组成部分,是一个医药科学工作者所必备的.医用物理学具有其他课程不可替代的重要作用,肩负着为物理学理论、方法和技术在医学诊断、医学治疗和疾病预防等方面的应用提供基础理论依据的重要使命.

### 2. 医用物理学课程的特点

#### 1) 医用物理学是注重能力培养的课程.

在医用物理学课程学习中,应注重以下几个方面的能力培养:

(1) 独立获取知识的能力——通过学习医用物理学,逐步掌握科学的学习方法,阅读并理解相当于医用物理学水平的物理类教材、参考书和科技文献,不断地扩展知识面,增强独立思考的能力,更新知识结构.

(2) 科学观察和思维的能力——学习运用物理学的基本理论和基本观点,通过观察、分析、演绎、归纳、科学抽象、类比联想等方法提高自己发现问题和提出问题的能力,逐步地深入理解所涉及的问题.

(3) 分析问题和解决问题的能力——学会根据物理问题的特征、性质以及实际情况,抓住主要矛盾,进行合理的简化.学习如何建立相应的物理模型,并用物理语言和基本数学方法进行描述,运用所学的物理理论和研究方法进行分析、研究.

#### 2) 医用物理学是注重素质培养的课程.

在医用物理学课程学习中,应注重以下几个方面的素质培养:

(1) 求实精神——通过医用物理学课程学习,培养追求真理的勇气、严谨求实的科学态度和刻苦钻研的作风.

