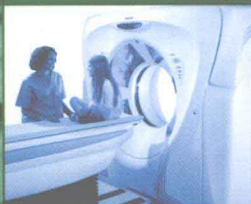
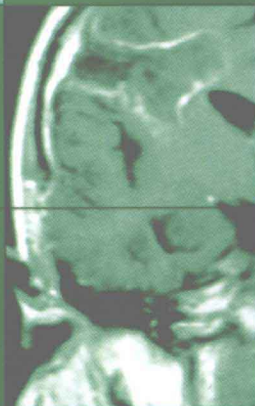
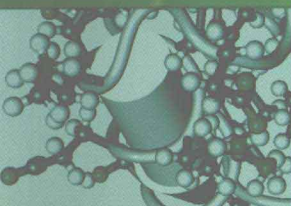




普通高等教育“十一五”规划教材

# 医学物理学

易小林 主编



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)



中华人民共和国教育部 2011 年规划教材

# 医学物理学

第 2 版 王瑞



科学出版社  
SCIENCE PRESS

普通高等教育“十一五”规划教材

# 医学物理学

主 编 易小林

副主编 孟燕军 谢双运 田 会

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书结合教学大纲要求和医学院校特点,科学系统地讲述物理学的基本理论、分析方法及医学应用.全书分11章,每章先讲述物理学理论及分析方法,后介绍相关医学应用.内容包括流体的运动、振动和波动、分子动理论、静电场、直流电、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.

本书可作为高等医学院校基础物理教材,供基础、临床、预防、口腔医学类专业用.

### 图书在版编目(CIP)数据

---

医学物理学/易小林主编. —北京:科学出版社,2008  
普通高等教育“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-03-022876-5

I. 医… II. 易… 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133692号

---

责任编辑:贾 杨 唐保军 / 责任校对:鲁 素  
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

**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>

**装 订 印 刷 厂 印 刷**

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008年12月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年12月第一次印刷 印张:17 1/2

印数:1—5 500 字数:323 000

**定价:27.00元**

(如有印装质量问题,我社负责调换)



科学出版社 高等教育出版中心

## 教学支持说明

科学出版社高等教育出版中心为了对教师的教学提供支持，特对教师免费提供本教材的电子课件，以方便教师教学。

获取电子课件的教师需要填写如下情况的调查表，以确保本电子课件仅为任课教师获得，并保证只能用于教学，不得复制传播用于商业用途。否则，科学出版社保留诉诸法律的权利。

地址：北京市东黄城根北街16号，100717

科学出版社 高等教育出版中心数理出版分社 昌盛（收）

联系方式：010-64015178 010-64033787(传真)mph@mail.sciencep.com

登陆科学出版社网站：[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)“教材天地”栏目可下载本表。

请将本证明签字盖章后，传真或者邮寄到本社，我们确认销售记录后立即赠送。

如果您对本书有任何意见和建议，也欢迎您告诉我们。意见一旦被采纳，我们将赠送书目，教师可以免费赠书一本。

### 证 明

兹证明 \_\_\_\_\_ 大学 \_\_\_\_\_ 学院 / \_\_\_\_\_ 系  
第 \_\_\_\_\_ 学年  上  下学期开设的课程，采用科学出版社出版的  
\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_（书名/作者）作为上课教材。  
任课老师为 \_\_\_\_\_ 共 \_\_\_\_\_ 人，学生 \_\_\_\_\_ 个  
班共 \_\_\_\_\_ 人。

任课教师需要与本教材配套的电子教案。

电 话： \_\_\_\_\_

传 真： \_\_\_\_\_

E-mail： \_\_\_\_\_

地 址： \_\_\_\_\_

邮 编： \_\_\_\_\_

学院/系主任： \_\_\_\_\_（签字）

（学院/系办公室章）

\_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

## 《医学物理学》编委会名单

主 编 易小林

副主编 孟燕军 谢双运 田 会

编 者 (以姓氏笔画为序)

田 会 刘 磊 杨海波 吴艳茹

张敬晶 易小林 孟燕军 谢双运

秘 书 杨海波

## 前 言

《医学物理学》一书是根据高等院校医学物理学教学大纲,结合河北医科大学教学和临床实践经验,考虑到我国医学物理学教学的现状和前景,参阅国内外有关资料编写而成的.本书供高等院校五年制和七年制临床、影像、口腔、麻醉、检验、预防医学、药学药剂、法医、护理等专业使用,也可供其他相关医学专业、生命科学相关专业和研究工作者参考.

全书共 11 章,每一章都配有一定数量的习题,部分习题附有答案,可以方便学生自学和课后练习.

本书在编写过程中,得到了河北医科大学校领导和教务处以及基础医学院领导的关心和支持,得到科学出版社的领导和责任编辑的支持,同时有关专家、教师和医务工作者对本书提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心感谢.

由于时间仓促和编者的水平有限,不妥之处在所难免,敬请广大师生和医学工作者对本教材的缺点和不足给予批评指正,以便再版时修改、提高.

编 者

2008. 6

# 目 录

前言

绪论	1
第 1 章 流体的运动	4
1.1 理想流体的运动	4
1.1.1 理想流体	4
1.1.2 稳定流动	4
1.1.3 连续性方程	5
1.2 伯努利方程	7
1.2.1 伯努利方程	7
1.2.2 伯努利方程的应用	9
1.3 黏性流体的流动	12
1.3.1 层流和湍流	12
1.3.2 牛顿黏滞定律	13
1.3.3 雷诺数	14
1.4 黏性流体的运动规律	15
1.4.1 黏性流体的伯努利方程	15
1.4.2 泊肃叶定律	15
1.4.3 斯托克斯定律	18
1.5 血流动力学与流变学基础	18
1.5.1 心脏的功与功率	19
1.5.2 血液在循环系统中的流动	20
1.5.3 血液的黏度及其影响因素	22
习题 1	23
第 2 章 振动和波动	26
2.1 简谐振动	26
2.1.1 简谐振动方程	26
2.1.2 简谐振动的特征量	27
2.1.3 简谐振动的矢量图示法	28
2.1.4 简谐振动的能量	29



2.2	阻尼振动、受迫振动和共振 .....	31
2.2.1	阻尼振动 .....	31
2.2.2	受迫振动 .....	32
2.2.3	共振 .....	33
2.3	简谐振动的合成 .....	34
2.3.1	两个同方向、同频率简谐振动的合成 .....	34
2.3.2	同方向、不同频率的简谐振动的合成 .....	35
2.3.3	频谱分析原理 .....	36
2.3.4	相互垂直的同频率的简谐振动的合成 .....	38
2.4	波动的基本规律 .....	39
2.4.1	机械波的产生 .....	39
2.4.2	波面和波线 .....	40
2.4.3	波长、波的周期和频率、波速 .....	41
2.4.4	简谐波的波动方程 .....	41
2.5	波的能量 .....	42
2.5.1	波的能量和强度 .....	42
2.5.2	波的衰减 .....	44
2.6	波的干涉 .....	44
2.6.1	惠更斯原理 .....	44
2.6.2	波的叠加原理 .....	45
2.6.3	波的干涉 .....	45
2.6.4	驻波 .....	47
2.7	声波 .....	50
2.7.1	声压和声强 .....	50
2.7.2	听觉域 .....	52
2.7.3	声强级和响度级 .....	53
2.8	多普勒效应 .....	54
2.8.1	声源和观察者相对于介质静止( $v_S=0, v_O=0$ ) .....	54
2.8.2	声源静止, 观察者以速度 $v_O$ 向着声源运动( $v_S=0, v_O \neq 0$ ) .....	54
2.8.3	观察者静止, 声源以速度 $v_S$ 向着观察者运动( $v_S \neq 0, v_O=0$ ) .....	55
2.8.4	当声源和观察者分别以速度 $v_S$ 和 $v_O$ 同时运动( $v_S \neq 0, v_O \neq 0$ ) .....	55
2.9	超声波及其医学应用 .....	56
2.9.1	超声波的特性 .....	56
2.9.2	超声波的产生 .....	57

---

2.9.3 超声波成像的基本原理 .....	58
习题 2 .....	63
<b>第 3 章 分子动理论</b> .....	<b>66</b>
3.1 分子之间的相互作用力 .....	66
3.2 理想气体分子动理论 .....	67
3.2.1 理想气体状态方程 .....	67
3.2.2 理想气体的微观模型 .....	68
3.2.3 理想气体的压强 .....	69
3.2.4 理想气体的能量公式 .....	70
3.2.5 理想气体定律的推导 .....	72
3.3 气体分子速率分布律和能量分布 .....	73
3.3.1 玻尔兹曼能量分布定律 .....	73
3.3.2 麦克斯韦速率分布定律 .....	74
3.3.3 气体分子的三种速率 .....	75
3.3.4 平均碰撞频率和平均自由程 .....	77
3.4 液体的表面现象 .....	79
3.4.1 表面张力和表面能 .....	79
3.4.2 曲面下的附加压强 .....	81
3.4.3 毛细现象 .....	83
3.4.4 气体栓塞 .....	84
3.4.5 表面活性物质和表面吸附 .....	85
习题 3 .....	86
<b>第 4 章 静电场</b> .....	<b>88</b>
4.1 电场和电场强度 .....	88
4.1.1 电荷 库仑定律 .....	88
4.1.2 电场和电场强度 .....	89
4.2 静电场的高斯定理 .....	92
4.2.1 电场线 电通量 .....	92
4.2.2 高斯定理 .....	93
4.2.3 高斯定理的应用 .....	95
4.3 静电场力的功 电势 .....	97
4.3.1 静电力做功 .....	97
4.3.2 电势能 电势 电势差 .....	98
4.3.3 电势叠加原理 .....	100

4.3.4 等势面 场强与电势的关系 .....	100
4.4 静电场中的电介质 .....	102
4.4.1 电介质的极化 .....	102
4.4.2 电介质对电场的影响 .....	102
4.4.3 电介质中的高斯定理 .....	102
4.4.4 静电场的能量 .....	104
4.5 电偶极子 心电图 .....	106
4.5.1 电偶极子 .....	106
4.5.2 电偶层 .....	107
4.5.3 心电图 .....	108
习题 4 .....	110
<b>第 5 章 直流电</b> .....	112
5.1 电流密度 .....	112
5.1.1 电流和电流密度 .....	112
5.1.2 金属和电解液的导电性 .....	113
5.1.3 欧姆定律的微分形式 .....	114
5.2 一段含源电路的欧姆定律 .....	116
5.3 基尔霍夫定律 .....	118
5.3.1 节点和回路 .....	118
5.3.2 基尔霍夫第一定律 .....	118
5.3.3 基尔霍夫第二定律 .....	119
5.4 电容器的充电和放电过程 .....	120
5.4.1 RC 电路的充电过程 .....	121
5.4.2 RC 电路的放电过程 .....	122
5.5 生物膜电位及其医学应用 .....	124
5.5.1 静息电位 .....	124
5.5.2 动作电位 .....	127
5.5.3 神经纤维的电缆方程 .....	128
5.5.4 电泳 .....	131
5.5.5 电渗 .....	132
习题 5 .....	132
<b>第 6 章 波动光学</b> .....	135
6.1 光的干涉 .....	135
6.1.1 杨氏实验 .....	135

---

6.1.2	光程 光程差 .....	137
6.1.3	洛埃镜实验 .....	138
6.1.4	薄膜干涉 .....	139
6.1.5	等厚干涉 .....	141
6.1.6	迈克耳孙干涉仪 .....	142
6.2	光的衍射 .....	143
6.2.1	单缝衍射 .....	144
6.2.2	圆孔衍射 .....	146
6.2.3	光栅衍射 .....	147
6.3	光的偏振 .....	148
6.3.1	自然光和偏振光 .....	148
6.3.2	马吕斯定律 .....	149
6.3.3	布儒斯特定律 .....	150
6.3.4	光的双折射 .....	151
6.3.5	二色性 .....	152
6.3.6	物质的旋光 .....	152
	习题 6 .....	154
<b>第 7 章</b>	<b>几何光学</b> .....	<b>156</b>
7.1	球面折射 .....	156
7.1.1	单球面折射 .....	156
7.1.2	共轴球面系统 .....	158
7.2	透镜 .....	159
7.2.1	薄透镜 .....	160
7.2.2	薄透镜组合 .....	161
7.2.3	厚透镜 .....	162
7.2.4	柱面透镜 .....	163
7.2.5	透镜的像差 .....	164
7.3	眼睛 .....	165
7.3.1	眼睛的光学结构 .....	165
7.3.2	人眼的调节 .....	167
7.3.3	眼睛的分辨本领——视力 .....	167
7.3.4	眼的屈光不正及矫正 .....	168
7.4	放大镜和光学显微镜 .....	170
7.4.1	放大镜 .....	170

7.4.2	显微镜	171
7.4.3	显微镜的分辨本领	173
7.5	其他几种医用光学仪器	174
7.5.1	检眼镜	174
7.5.2	纤镜	175
7.5.3	相差显微镜	176
习题 7		177
<b>第 8 章</b>	<b>量子力学基础</b>	179
8.1	黑体辐射	179
8.1.1	黑体辐射	179
8.1.2	普朗克能量量子化假设	181
8.2	光电效应	182
8.2.1	光电效应	183
8.2.2	爱因斯坦光子假设	183
8.3	康普顿效应	185
8.3.1	康普顿效应	185
8.3.2	康普顿效应的解释	186
8.4	氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	187
8.4.1	氢原子光谱	187
8.4.2	玻尔理论	188
8.5	物质的波动性质	191
8.5.1	德布罗意假设	191
8.5.2	电子衍射	192
8.5.3	不确定原理	193
8.6	薛定谔方程	194
8.6.1	波函数、概率密度	195
8.6.2	薛定谔方程	196
8.6.3	一维无限深势阱	198
8.6.4	一维方势垒、隧道效应	200
8.6.5	线性谐振子	200
8.7	氢原子的量子理论	202
8.7.1	电子云	203
8.7.2	氢原子的量子数及能量本征值	204
8.7.3	塞曼效应 角动量的空间量子化	204

8.7.4 反常塞曼效应 电子自旋 .....	206
8.8 多电子原子的壳层结构 .....	207
8.8.1 电子自旋 自旋磁量子数 .....	207
8.8.2 多电子原子中的电子分布 .....	208
习题 8 .....	210
<b>第 9 章 X 射线</b> .....	<b>212</b>
9.1 X 射线的产生 .....	212
9.1.1 X 射线的产生装置 .....	212
9.1.2 X 射线的强度和硬度 .....	214
9.2 X 射线谱 .....	215
9.2.1 连续 X 射线谱 .....	216
9.2.2 标识 X 射线谱 .....	217
9.3 X 射线的基本性质 .....	218
9.3.1 X 射线的一般性质 .....	218
9.3.2 X 射线的衍射 .....	219
9.4 物质对 X 射线的衰减规律 .....	220
9.4.1 单色 X 射线的衰减规律 .....	221
9.4.2 衰减系数与波长、原子序数的关系 .....	222
9.5 X 射线的医学应用 .....	223
9.5.1 诊断 .....	223
9.5.2 治疗 .....	227
习题 9 .....	228
<b>第 10 章 原子核和放射性</b> .....	<b>229</b>
10.1 原子核的基本性质 .....	229
10.1.1 原子核的组成 .....	229
10.1.2 原子核的性质 .....	230
10.1.3 原子核的自旋和磁矩 .....	231
10.1.4 原子核的结合能及质量亏损 .....	232
10.2 原子核的衰变类型 .....	233
10.2.1 $\alpha$ 衰变 .....	234
10.2.2 $\beta$ 衰变 .....	234
10.2.3 $\gamma$ 衰变和内转换 .....	236
10.3 原子核的衰变规律 .....	236
10.3.1 衰变定律 .....	236

10.3.2	半衰期·····	237
10.3.3	放射性活度·····	238
10.3.4	放射性平衡·····	239
10.4	核物理在医学中的应用·····	239
10.4.1	诊断·····	240
10.4.2	治疗·····	244
	习题 10·····	246
<b>第 11 章</b>	<b>激光</b> ·····	<b>248</b>
11.1	激光产生的基本原理·····	248
11.1.1	粒子吸收与辐射的三种过程·····	248
11.1.2	产生激光的两个条件·····	249
11.2	激光器·····	251
11.2.1	激光器的构成·····	251
11.2.2	实例说明激光产生原理·····	252
11.2.3	激光器的分类·····	253
11.2.4	几种常用医用激光器·····	254
11.3	激光的特性·····	255
11.3.1	方向性好·····	255
11.3.2	单色性好·····	256
11.3.3	亮度高·····	256
11.3.4	相干性好·····	256
11.3.5	偏振性好·····	257
11.4	激光的医学应用·····	258
11.4.1	激光与生物组织的作用机制·····	258
11.4.2	激光的医学应用·····	260
11.4.3	激光的危害和防护·····	262
	习题 11·····	262
	<b>参考文献</b> ·····	<b>263</b>
	<b>附录</b> ·····	<b>264</b>

# 绪 论

## 一、物理学和医学的研究对象

世界是物质的世界,日月星辰、山川树木、原子分子都是物质.物质和物质运动的规律就是自然科学的研究对象,对不同物质运动规律的研究形成了自然科学不同的学科.物理学是研究物质运动规律共性的科学.物理学所研究的运动形式普遍存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中,因此,物理学知识是研究其他自然科学不可或缺的基础.物理学的研究对象可以表述为:物理学所研究的是物质运动最基本、最普遍的形式,它包括物质的机械运动、电磁运动、原子分子的热运动,以及原子分子内部的运动等.物质运动最基本、最普遍的形式有多种,从而形成了物理学不同的分支学科.例如,对机械运动规律的研究就形成物理学中的力学;对电磁运动规律的研究就形成了物理学中的电磁学;对原子、分子热运动的研究就形成了物理学中的热学.

医学是以人体为主要研究对象的生命科学,主要是研究人类机体内部结构、生理和病理的性质、特点、变化和生命过程等,以实现疾病的诊断和治疗、延长生命和提高生存质量.随着现代物理学和医学的发展,人类对生命现象的认识也逐步地由宏观形态深入到微观机制的研究,并在日益精确的物理学基础上逐步建立起新的医学理论.生命现象属于物质的更高级的运动形式,任何生命现象的背后都隐含着诸多物理学规律.现代物理学和医学相互渗透、相互结合,形成了医学物理学这一交叉边缘性学科.

## 二、物理学和医学的关系

物理学起源于人类的生产活动和科学实践,是人们认识和研究物质世界的基础学科,它的形成和发展是和其他学科相辅相成、互相推动的,物理学的理论和定律带有极大的普遍性.第一,物理学是医学的基础.例如,物理学中的声波,它是一种机械波,作用于人的听觉器官后,就会引起声音的感觉.物理学对声波的进一步研究发现了超声波和次声波,并推动医学和技术领域相继发明了利用超声波探测人体内部各种信息的超声波医疗诊断仪,在此基础上创立和发展了超声诊断学学科.第二,物理学是医学的重要工具.在基础医学的研究和医学预防、诊断、治疗、药物制备和检验等领域,物理学的方法和技术为医学的发展提供了强有力的工具.例如,正是三百多年前光学显微镜的问世以及在医疗领域中的应用,为现代医学的临



床诊断和科学研究提供了有力的工具,它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和流行病创造了条件.我国在2003年对SARS病毒的研究,就是依靠高科技的电子显微镜找出了冠状病毒的结构,为防治和消灭SARS病毒打下了基础.第三,物理学和医学互为进步和发展动力.物理学的重要发明、发现和新理论的建立,大都被医学领域采纳运用,甚至推动医学领域产生了划时代的进步,大量采用物理学的设备和方法,已成为现代医学的一个特征;同时由于医学领域对疾病的诊断和治疗不断提出更多更高的要求,极大地推动了物理学和相关技术的发展.1923年德国物理学家伦琴发现X射线后,很快就应用于临床医学,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射线透视摄影后便可观察到各器官的形态、运动功能等,为早发现、早诊断疾病提供了崭新的有效工具.为了满足诊断和治疗的需要,医学领域对影像质量的分辨率、直观性和快速性不断提出更高的要求,从而推动X射线机的技术进步及其他影像设备的发明和创新,使人们对病变的诊断进入了影像时代.也使人们在新的认识基础上,建立了解剖学、生理学、病理学的新概念.随着科学的进步发展,物理学和医学领域的相互推动和发展正日益广泛和深入.

### 三、物理学和医学的研究方法

物理学与医学的研究方法基本是一致的,主要方法有三点:第一是观察.物理学的观察就是在自然条件下观察所要研究的对象,而医学观察就是对人体在一定的条件下进行研究的自然过程,这是获取医学资料信息的主要来源.例如,血液流变学对血液的黏度、流动性、聚集等流变特性进行研究,利用仪器对血样的观察检验,可以得到血液的流变学指标.运用物理学中的流体运动学和流体动力学,可以计算出血液的还原黏度、血浆黏度、红细胞比容、红细胞变形性及聚集性指标等.人类的血液病、心血管疾病、肿瘤等多种疾病都伴随着这些指标的变化.所以血液流变指标的观察,对有关疾病的诊断、病情的观察和治疗效果的判断都是重要的依据.观察这些指标的变化,可对潜在的疾病及时做出预测,有利于早预防、早诊断、早治疗.第二是实验.实验就是在人为的条件下,重现客观现象,从而研究现象中各种因果关系,在观察和实验所取得大量资料基础上,经过分析、概括、判断和推理,把事物的本质和内在联系抽象到更一般的形式,建立实验定律,物理学和医学都需要这样的实验.第三是建立理论.对客观现象经过反复验证,被证明能正确反映客观规律时就可以形成一定的理论.例如,物理学中,当润湿液体在细管中流动时,如管中有气泡,液体的流动就会受阻,气泡多时可发生气体栓塞现象.而在临床医学中,输液及静脉注射时应注意防止气泡出现,护士们都会认真地把输液管中的气泡排尽后才给病人输液,这样就能防止因输液时气泡进入血管引起气体栓塞,危及病人的生命.