

21世纪医学院校数理化系列规划教材

医用物理学

Medical physics

主 编 ◎ 赵仁宏 刘贵勤 安郁宽

山东人民出版社

21世纪医用数理化系列规划教材

医用物理学

主 编 赵仁宏 刘贵勤 安郁宽

山东人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

医用物理学/赵仁宏,刘贵勤,安郁宽主编. —济南:
山东人民出版社,2010.5
ISBN 978-7-209-05304-4

I. ①医… II. ①赵…②刘…③安… III. ①医用物理学—医学院校—教材 IV. ①R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 063629 号

责任编辑:周云龙

封面设计:彭 路

医用物理学

赵仁宏 刘贵勤 安郁宽 主编

山东出版集团

山东人民出版社出版发行

社 址:济南市经九路胜利大街 39 号 邮 编:250001

网 址:<http://www.sd-book.com.cn>

发行部:(0531)82098027 82098028

新华书店经销

青岛星球印刷有限公司印装

规 格 16 开(184mm×260mm)

印 张 19.5

字 数 320 千字 插页 2

版 次 2010 年 5 月第 1 版

印 次 2010 年 5 月第 1 次

ISBN 978-7-209-05304-4

定 价 32.00 元

如有质量问题,请与印刷厂调换。电话:(0532)88194567

“21 世纪医学院校数理化系列规划教材” 编委会

总主编 王守训 王培承 司传平 胡西厚

总编委 (以姓氏笔画为序)

王守训 王学东 王培承 司传平

邵建新 赵仁宏 胡西厚 阎 芳

编委会成员名单

主 编 赵仁宏 刘贵勤 安郁宽

副主编 (以姓氏笔画为序)

刘发明 李光仲 吕 磊 邱兆运 赵清滨
康永香

编 者 (以姓氏笔画为序)

刘发明 李光仲 任忠夫 刘其涛 刘俊杰
李淑玮 李鸿梅 闫 鹏 吕 磊 邱召运
范应元 范怀玉 赵仁宏 赵清滨 姜广东
秦 丹 康永香 魏海增

前言

本书是根据卫生部颁发的高等医药院校医用物理学教学大纲和全国高等医药院校医学物理教学改革会议精神,充分吸收了国内外有关教材的优点和精华,结合高等院校改革和发展的新形势,依据各层次学生的知识需求,总结了多年来的教学实践和改革经验,由潍坊医学院、济宁医学院、滨州医学院等兄弟院校的一线教师共同编写而成的。

本书在教材内容的选取上,加强了理论与实践的结合,新知识 with 基础知识的结合,必修知识和科学素养的协调,知识性和参考资料的协同,突出了物理学与医学的结合,增加了教材的知识性、实用性、趣味性和资料性,现代物理学的许多新发现和具有争议的热点问题也出现在教材中。物理科学家的故事,对学生的成长和思维模式的培养意义非凡。

全书共分 11 章,基本覆盖了医学专业所需要的物理学的基本理论及其在医学中的主要应用,结合各院校的特点及各层次学生的知识需求,增补了科学家简介、物理学最新发现的医学应用。该教材内容充实精炼,知识层面更加丰富,物理和医学领域内的新概念、新理论、新方法得到了很好的充实,能够使学生了解到近代物理和医学发展状况,科学家的趣闻、趣事,物理学重大发现的过程,启发学生的思维方法,丰富医学生的思维模式。该教材同时具备了教科书、科普读物、科研资料、新技术手册等功能,是一本特点鲜明、内容精炼、知识面广博、易学易懂的教材。

本书适合作为高等医药院校四年制和五年制基础、临床、预防、口腔、影像、麻醉、护理、药学、生物技术、医院管理等医学类专业的物理学教材,也可作为与生命科学有关的其他专业的研究生、教师的科研和教学参考书。

本书的编写得到了潍坊医学院的领导以及编者所在大学领导的关心和支持,得到山东人民出版社的领导 and 责任编辑的支持,在此表示衷心的感谢!对热情支持本书编写的国内外专家、教授表示诚挚的谢意,对引用其文献的专家、教授深表敬意。

由于编者水平所限,书中不足之处在所难免,我们诚恳地希望使用本书的教师和同学给予帮助和指正。

编 者

2010 年 3 月

绪 论

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。我们周围所有的客观实在都是物质,一切物质(包括实物和场)都在永恒不息地运动着,宇宙中一切自然现象都是物质运动的表现,这里所指的运动是广义的,它包括机械运动、变化、生长、相互作用等过程。物质运动的形式是极其多样的,各种形式的物质运动之间,相互依存而又本质上相互区别。它们既服从普遍规律,又有自己独特的规律,自然科学就是根据其研究对象的不同而分类的。

一、物理学是自然科学的先锋

在所有自然科学中,只有物理学所研究的物质运动形式具有最基本最普遍的性质。具体地说,物理学所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、场和实物的相互作用等。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,物理学所研究的规律,具有最基本、最普遍的意义,使得物理学知识成为研究其他自然科学的基础。在自然科学尚未分类的古代,物理学几乎就是全部自然科学。随着科学的发展,出现了许多自然科学分支,并陆续独立成为一门学科。由于近代科学的迅速发展和相互渗透,出现了许多和物理学直接有关的“边缘学科”,如化学物理学、物理化学、生物物理学、天体物理学、生物物理化学、生物医学工程学等。医用物理学是物理学的重要分支学科,它是现代物理学与医学相结合所形成的交叉学科。物理学上的每一次重大发现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的变革。由于物理学所研究的规律具有很大的普遍性,它与哲学的关系也十分密切,物理学中许多重大发现,例如,相对论、物质的波粒二象性、基本粒子的相互转化、场和实物间相互作用等,为哲学提供了有力的证据,提高了人类认知物质世界的能力。

二、物理学是推动医学发展的主要力量

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运动形式。随着现代物理学的迅速发展,人类对生命现象的认识的逐步深入,生命科学和医学已从宏观形态的研究进入微观机制的研究,从细胞水平的研究上升到分子水平的研究,并日益将其理论建立在精确的物理学基础之上。任何生命过程都是和物理过程密切联系的。揭示生命现象的本质,诸如能量的交换、信息的传递、体内控制和调节、疾病发生机制、物理因素对机体的作用等,都必须应用物理学规律。大量事实表明,物理学在生物医学领域中

的应用日益广泛和深入。医用物理学的迅速发展,正在不断对阐明生命现象的本质作出新的贡献。

另一方面,物理学所提供的技术和方法已日益广泛应用于生命科学、医学研究及临床医疗实践之中,并且不断更新。例如,光学显微镜、X线透视和照片、核磁共振成像技术、放射性核素等在医学上的应用是人们早已熟知的。现代电子显微镜与光学显微镜相比,分辨率提高近千倍,成为研究细胞内部超微结构的重要工具。计算机X射线断层摄影术(X-CT)与通常X线诊断相比,其灵敏度提高了百倍。磁共振成像(MRI)技术既能显示解剖学图像,又能显示反映功能和代谢过程与生化信息的图像,为医学提供了一种崭新的诊断技术,是物理学对医学发展的重大贡献。各种光纤内镜的介入疗法,取代了刚性导管内窥镜,提高了疾病的诊断率和治疗效果,减轻了病人的痛苦。物理治疗除常见的热疗、电疗、光疗、放疗、超声治疗等方法外,还应用了低温冷冻、微波、激光等手段和技术。电子计算机不仅应用于研究人体生理和病理过程中的各种控制调节,而且用于辅助诊断、自动监护和医院管理。在研究生物大分子本身的结构、构象、能量状态及其变化,以及这些状态和变化与功能之间的关系方面,除应用物理学中的量子力学方法外,还普遍应用了物理学中的各种光谱和波谱技术等,如电子自旋共振谱、磁共振谱、激光拉曼谱、圆二色术、旋光色散、红外光谱、荧光偏振、X射线衍射、光散射以及激光全息等物理技术。

三、物理学和生命科学的关系

物理学在理论上和技术上的新成就不断为生命科学和医学的发展提供理论基础和技术方法。反过来,生命科学和医学的发展,又不断地向物理学提供新的研究课题,二者互相促进、相辅相成。总之,物理学与生命科学的关系可归结为两个方面:① 物理学知识是揭示生命现象不可缺少的基础;② 物理学所提供的技术和方法为生命科学的研究、临床实践开辟了许多新的途径。

高等医学院校开设医用物理学是一门重要的必修课,它的主要任务是给医学生提供系统的物理学知识,使他们在中学物理学的基础上,进一步掌握物理学的基本概念、基本规律、研究方法,扩大物理学知识的领域,为学习现代医学准备必要的物理基础。物理学作为严格的定量的自然科学的前沿学科,一直在科学技术发展中发挥极其重要的作用。物理学的发展对人类生产力的提高起到了极大的推动作用,过去是如此,现在是如此,将来也是如此!

物理学的研究方法是开发智力和提高能力的途径。物理学思想能启迪学生创新思维,是培养创造型人才的火种。物理学的知识结构体系是科学技术的母体,具有很强的科学原动力和再生能力。知识的迁移就是智慧,知识的再生就是创造。物理学中的研究方法系统、新颖,创新思想层出不穷。对大学生来说,通过对物理学的学习,能很好地培养和发展自己的认知素养和创新能力。

目 录

前 言	(1)
绪 论	(1)
第一章 生物力学	(1)
第一节 应变和应力	(1)
一、应 变	(1)
二、应 力	(3)
第二节 弹性模量	(4)
一、弹性和塑性	(4)
二、弹性模量	(5)
第三节 骨与肌肉的力学特性	(7)
一、骨骼的力学性质	(7)
二、肌肉的力学特性	(11)
第四节 生物材料的黏弹性	(12)
一、生物材料的结构特点	(12)
二、生物材料的黏弹性	(13)
三、黏弹性材料的力学模型	(14)
第二章 流体力学	(23)
第一节 理想流体的运动规律	(23)
一、理想流体的基本概念	(23)
二、连续性方程	(24)
三、伯努利方程	(25)
四、伯努利方程的应用	(27)
第二节 黏性流体的运动规律	(31)
一、黏性流体的基本概念	(31)
二、黏性流体的伯努利方程	(33)
三、泊肃叶定律	(34)
四、斯托克司定律	(36)
第三节 血液在循环系统中的流动	(37)
一、血液循环的物理模型	(37)

二、循环系统中血流速度分布	(38)
三、循环系统中血压分布及测量	(38)
四、心脏做功	(40)
第三章 气体动理论	(46)
第一节 物质的微观结构	(46)
一、物质的微观结构	(46)
二、分子现象的统计规律性	(48)
第二节 理想气体分子动理论	(50)
一、理想气体微观模型假设	(50)
二、理想气体的物态方程	(50)
三、理想气体的压强	(52)
四、理想气体的能量公式	(54)
第三节 气体分子速率的统计分布	(55)
一、速率分布函数	(55)
二、麦克斯韦速率分布律	(57)
第四节 液体的表面现象	(59)
一、表面张力和表面能	(59)
二、弯曲液面产生的附加压强	(62)
三、毛细现象和气体栓塞	(63)
第四章 超声医学的物理基础	(71)
第一节 声 波	(71)
一、声波的速度	(71)
二、声压和声阻抗	(72)
三、声强和声强反射系数	(73)
四、多普勒效应	(74)
第二节 声学在医学中的应用	(75)
一、人耳的听觉区域	(75)
二、声强级和响度级	(76)
三、体外冲击波的碎石	(77)
第三节 超声波	(78)
一、超声波的特性	(78)
二、超声波对物质的作用 超声刀	(78)
三、超声波的产生与接收	(80)
第四节 常用超声诊断仪的物理原理	(81)
一、A 型超声诊断仪	(81)

二、B 型超声切面显像仪	(82)
三、M 型超声心动图仪	(83)
四、彩色多普勒血流显像仪	(83)
第五章 静电场	(87)
第一节 电场强度和高斯定理	(87)
一、库仑定律	(87)
二、电场 电场强度	(87)
三、电场强度的计算	(88)
四、电场线和电通量	(90)
五、高斯定理及其应用	(91)
第二节 电 势	(95)
一、静电场力做功	(95)
二、电势能 电势	(97)
三、场强与电势的关系	(100)
第三节 电偶极子 电偶层	(102)
一、电偶极子的电场	(102)
二、电偶层电场的电势	(103)
第四节 静电场中的电介质	(105)
一、电介质的极化	(105)
二、电介质中的静电场	(106)
三、电容器 静电场的能量	(107)
第五节 细胞膜电位	(110)
一、能斯特方程	(110)
二、细胞静息电位	(111)
第六章 稳恒磁场	(115)
第一节 磁场 磁感应强度	(115)
一、磁感应强度	(115)
二、磁通量 磁场中的高斯定理	(116)
第二节 电流的磁场	(117)
一、毕奥-萨伐尔定律	(117)
二、毕奥-萨伐尔定律的应用	(118)
第三节 安培环路定理	(123)
一、真空中的安培环路定理	(123)
二、安培环路定理的应用	(124)
第四节 磁场对电流的作用	(126)

一、磁场对运动电荷的作用	(126)
二、磁场对载流导线的作用	(128)
三、载流线圈所受磁力矩	(129)
四、霍尔效应	(130)
五、质谱仪和回旋加速器	(132)
六、电磁泵和电磁船	(134)
七、磁流体发电	(135)
八、生物医学电磁传感器	(136)
第五节 磁介质	(136)
一、介质中的磁场	(136)
二、顺磁质、抗磁质、铁磁质	(137)
三、超导体及其磁学特性	(138)
第六节 磁场的生物效应	(139)
一、生物磁现象	(139)
二、磁场的生物效应	(140)
第七章 光的波动性	(144)
第一节 光的干涉	(144)
一、相干光源	(144)
二、杨氏双缝实验	(145)
三、光程	(148)
四、薄膜干涉	(149)
第二节 光的衍射	(151)
一、单缝衍射	(152)
二、圆孔衍射	(154)
三、衍射光栅	(156)
第三节 光的偏振	(158)
一、自然光和偏振光	(158)
二、起偏和检偏	(159)
三、马吕斯定律	(161)
四、旋光现象	(162)
第四节 光的吸收	(164)
一、朗伯-比尔定律	(164)
二、比色分析法原理	(166)
第八章 几何光学	(174)
第一节 球面折射	(174)

一、单球面折射	(174)
二、共轴球面系统	(178)
第二节 透 镜	(179)
一、薄透镜成像	(180)
二、薄透镜组合	(182)
三、厚透镜	(183)
四、柱面透镜	(185)
五、透镜的像差	(186)
第三节 眼的光学系统	(187)
一、眼的结构和光学性质	(187)
二、眼的分辨本领和视力	(189)
三、非正视眼的矫正	(190)
第四节 几种光学仪器	(193)
一、放大镜	(193)
二、光学显微镜	(194)
第九章 光的辐射	(201)
第一节 黑体辐射	(202)
一、黑体辐射	(202)
二、普朗克的量子假说	(204)
第二节 光 子	(205)
一、光电效应的实验规律	(205)
二、爱因斯坦光子假设	(207)
三、康普顿效应	(209)
第三节 实物粒子的波动性	(212)
一、德布罗意物质波假设	(212)
二、物质波的实验验证	(213)
三、不确定关系	(214)
第四节 薛定谔方程 量子力学的原子结构概念	(216)
一、波函数及其统计解释	(216)
二、薛定谔方程	(217)
三、量子力学的原子结构概念	(217)
第五节 激 光	(219)
一、激光的产生机制	(219)
二、激光的特性	(224)
三、激光的生物作用	(226)

四、激光的医学应用	(229)
第十章 X 射线	(237)
第一节 X 射线的产生	(237)
一、X 射线的产生装置	(237)
二、X 射线的强度和硬度	(239)
第二节 X 射线谱	(240)
一、连续 X 射线谱	(240)
二、标识 X 射线谱	(241)
第三节 X 射线的基本性质	(243)
一、X 射线的一般性质及其特性	(243)
二、X 射线的衍射	(244)
第四节 物质对 X 射线的衰减规律	(245)
一、X 射线的衰减规律	(246)
二、衰减系数与密度、原子序数及波长的关系	(246)
第五节 X 射线在医学诊断及治疗方面的应用	(247)
一、治疗方面	(247)
二、诊断方面	(248)
三、X 射线计算机断层成像	(250)
四、X-CT 与 MRI 的比较	(256)
第十一章 原子核和放射性	(260)
第一节 原子核的基本性质	(260)
一、原子核的组成、质量和大小	(260)
二、原子核的自旋	(261)
三、原子核的核力、结合能及质量亏损	(262)
第二节 原子核的衰变类型	(263)
一、 α 衰变	(264)
二、 β 衰变	(264)
三、 γ 衰变和内转换	(265)
第三节 原子核的衰变规律	(266)
一、衰变规律	(266)
二、半衰期	(267)
三、放射性活度	(268)
四、放射性平衡	(269)
第四节 射线与物质的相互作用	(270)
一、带电粒子与物质的相互作用	(270)

二、光子与物质的相互作用·····	(271)
三、中子与物质的相互作用·····	(272)
第五节 辐射剂量与防护及射线测量原理 ·····	(273)
一、辐射剂量及其单位·····	(273)
二、辐射防护·····	(274)
三、射线测量原理·····	(275)
第六节 放射性核素在医学上的应用 ·····	(276)
一、示踪的原理·····	(276)
二、放射诊断·····	(276)
三、放射治疗·····	(280)
附 录 ·····	(288)
附录一 矢量的标积和矢积 ·····	(288)
附录二 国际单位制(SI) ·····	(290)
附录三 一些单位的换算关系 ·····	(292)
附录四 基本物理常量 ·····	(293)
附录五 希腊字母表 ·····	(294)
习题参考答案 ·····	(295)
参考文献 ·····	(297)

第一章 生物力学

学习要点:

1. 掌握描述物体弹性的基本概念:形变、应变、应力模量。
2. 理解应力与应变的关系。
3. 了解骨骼和肌肉的力学特性。
4. 了解生物材料的黏弹性。

自然界中,任何物体在力的作用下都会发生或多或少的形变,在许多实际问题中,形变起着关键的作用。有些物理现象,从本质上就是由形变引起的,如声音在弹性媒质中的传播就和媒质内发生的形变密切相关。研究物体在力的作用下形变的规律,不仅在工程技术方面,而且在生物医学方面,都是重要的。本章介绍一些有关物体弹性的基本概念及有关生物弹性物质的基本知识。

第一节 应变和应力

一、应变

对于一定物体,外界物体对它的作用力称为外力,物体内部各部分之间的相互作用力称为内力。物体受外力作用而形变,其内部会出现因形变而产生的内力。

物体在外力作用下发生的形状和大小的改变,称为形变。有的形变是暂时的,有的形变是永久的。在一定形变限度内,去掉外力后物体能够完全恢复原状的,这种形变称为弹性形变。外力超过某一限度后,去掉外力物体不能完全恢复原状的,这种形变称为范性形变。较为常见的形变是长度、体积和形状的改变。为了从数量上表示各种形变程度,引入**应变**(strain)这一概念,它表示物体受外力作用时,其长度、形状或体积发生的相对变化。

1. 张应变(tensile strain)

最简单的形变就是物体受到外力牵拉(或压缩)时的变化。实验表明,物体受到外力牵拉(或压缩)时发生的长度改变量是和物体原来长度成正比的。我们用物体受到外力作用时,发生的长度变化和物体原来长度的比值来表示变化程度,称为**张应变**,又称为**拉伸应变**,用 ϵ 表示,即

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1.1)$$

2. 体应变(volume strain)

物体各部分在各个方向上受到同等压强时体积发生变化而形状不变,则体积变化 ΔV 与原体积 V_0 之比称为体应变,以 θ 表示,即

$$\theta = \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1.2)$$

3. 切应变(shearing strain)

当物体受到力偶作用使物体两个平行截面间发生相对平行移动时,这种形变叫做剪切形变,是物体另一种基本形变。这个力偶是指一对大小相等,方向相反而作用线相互平行的力,这个力叫剪切力。物体受剪切力作用,发生只有形状变化没有体积变化的弹性形变叫切应变。如图 1.1 所示,长方形物体底面固定,其上、下底面受到剪切力 F 作用,产生剪切。设两底面相对偏移位移为 Δx ,垂直距离为 d ,则剪切的程度用比值 $\frac{\Delta x}{d}$ 来衡量,这一比值称为切应变,以 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{d} = \tan \varphi \quad (1.3a)$$

在实际情况下,一般 φ 角很小,上式可写成

$$\gamma \approx \varphi \quad (1.3b)$$

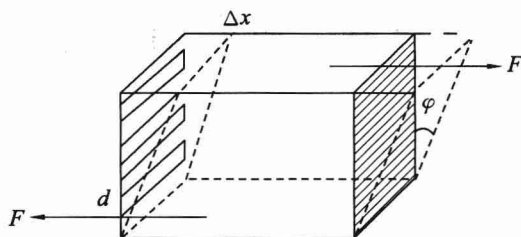


图 1.1 切应变

这 3 种应变都是无量纲的,没有单位。它们只是相对地表示形变程度,而与物体原来的长度、体积或形状都没有关系。

当物体被纵向拉伸时,将产生横向收缩。实验表明,横向的相对收缩与纵向的相对伸长成正比。

设物体横截面为矩形,其边长分别为 a_0 、 b_0 ,拉伸后变为 a 、 b ,线应变为 $\Delta l/l_0$,若设材料性质与受力方向无关(这种材料我们称为各向同性材料),则

$$\mu = \frac{a_0 - a}{a_0} \bigg/ \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{b_0 - b}{b_0} \bigg/ \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1.4)$$

μ 称为泊松比。不可压缩材料 $\mu = 1/2$,其他材料 $\mu < 1/2$ 。

4. 应变率(strain rate)

应变率是应变随时间的变化率,即单位时间内增加或减少的应变,它描述的是形变