医学基础系列教材

YIXUE JICHU XILIE JIAOCAI

医学物理学

YIXUE WULIXUE

主编　李宜贵　张益珍

四川大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

医 学 基 础 系 列 教 材

（供基础、临床、预防、口腔、法医、检验、护理等医学类专业用）

医 学 物 理 学

主　编　李宜贵　张益珍
副主编　李宾中　曾林泽

四川大学出版社

前　　言

医学物理学是生命科学的基础学科，又是物理学理论、技术、方法与医学知识相结合的一门学科。现代物理技术和方法不断为生命科学的研究和医疗实践提供有力的手段，使医学科学的发展逐渐上升到一个新水平。

医学物理学是以医学研究和应用需要的物理学理论、技术和方法为重点，深入讨论物理学新技术、新知识的发展及医学应用的前景，使医学学生在有限的学习时间内，获得大量的科学知识、技术和方法，为提高分析问题、解决问题的能力打下扎实的基础。

本教材是由四川大学出版社组织出版的“医学基础系列教材”中的一本。该教材是在编者多年从事医学物理学教学及教学改革的基础上，吸取国内外有关教材的优点编写而成。本教材在取材上紧密结合医学，重点加强物理基本理论和基础知识，避免了部分繁琐内容，深入浅出地介绍了与医学相关的物理学新技术，并增加了阅读材料，为医学学生提供了大量的现代科技信息，有助于医学学生的智力开发和综合文化素质的提高。

本教材适用于高等医学院校五年制和七年制的基础医学、临床医学、口腔医学、预防医学、法医学、卫生检验、医学检验、护理学、妇幼保健学等专业，也可供医学院校的其他专业及生命科学有关专业的师生作为参考用书。

本书由李宜贵（四川大学）、张益珍（四川大学）主编，李宾中（川北医学院）、曾林泽（川北医学院）任副主编。参加本书编写的还有薛晋惠（川北医学院）、幸浩洋（四川大学）等老师。

在编写过程中，由于编者的知识和能力有限，加之时间仓促，教材中的缺点和错误在所难免，恳切希望读者给予批评指正。

编　者

[illegible]年 [illegible]月

目　录

绪论……（员）
第一章　刚体的转动……（猿）
　第一节　定轴转动的运动学……（猿）
　一、角位移　角速度　角加速度……（猿）
　二、角量和线量……（源）
　第二节　转动动能　转动惯量……（缘）
　　一、转动动能……（缘）
　　二、转动惯量……（缘）
　第三节 转动定律 ……（苑）
　　一、力矩……（苑）
　　二、转动定律……（愿）
　　三、动能定理……（愿）
　第四节　角动量　角动量守恒定律……（冤）
　　一、角动量……（冤）
　　二、空间旋转对称性和角动量守恒定律……（冤）
　　三、冲量矩和角动量定理……（冤）
　第五节　旋进……（冤）
　习题一……（冤）
　阅读材料
　　相对论简介……（冤）
　　混　沌……（冤）

第二章　物体的弹性……（圆）
　第一节　应变和应力……（圆）
　　一、应变……（圆）
　　二、应力……（圆）
　第二节　弹性模量……（圆）
　　一、弹性和塑性……（圆）
　　二、弹性模量……（圆）
　第三节　弹性势能……（猿）
　第四节　弹性腔的力学问题……（猿）
　　一、球形弹性腔的力学问题……（猿）

二、管形弹性腔的力学问题……（猴）
习题二……（猴）
阅读材料
骨与肌肉的力学特性……（猿）

第三章　流体的流动……（源）
第一节　理想流体的流动……（源）
一、理想流体……（源）
二、稳定流动……（源）
三、连续性方程……（源）
第二节　伯努利方程……（源）
一、伯努利方程……（源）
二、伯努利方程的应用……（源）
第三节　粘性流体的流动……（缘）
一、层流和湍流……（缘）
二、牛顿粘滞定律……（缘）
三、雷诺数……（缘）
第四节　粘性流体的流动规律……（缘）
一、粘性流体的伯努利方程……（缘）
二、泊肃叶定律……（缘）
三、斯托克司定律……（缘）
习题三……（缘）
阅读材料
血液在循环系统中的流动……（缘）
生物材料的粘弹性……（远）

第四章　振动、波动和声波……（远）
第一节　简谐振动……（远）
一、简谐振动方程……（远）
二、简谐振动的特征量……（远）
三、简谐振动的矢量图示法……（远）
四、简谐振动的能量……（远）
第二节　阻尼振动、受迫振动和共振……（远）
一、阻尼振动……（远）
二、受迫振动和共振……（苑）
第三节　简谐振动的合成……（苑）
一、两个同方向、同频率的简谐振动的合成……（苑）
二、两个同方向、不同频率的简谐振动的合成……（苑）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

三、频谱分析……（苑猿）
四、两个同频率、互相垂直的简谐振动的合成……（苑源）
第四节　简谐波……（苑远）
一、机械波的产生……（苑远）
二、波面和波线……（苑苑）
第五节　简谐波的波动方程……（苑愿）
第六节　波的能量……（苑怨）
一、波的能量……（苑怨）
二、波的强度……（愿园）
三、波的衰减……（愿员）
第七节　惠更斯原理……（愿猿）
一、惠更斯原理……（愿猿）
二、解释波的衍射……（愿猿）
第八节　波的干涉……（愿源）
一、波的叠加原理……（愿源）
二、波的干涉……（愿源）
三、驻波及半波损失……（愿远）
第九节　声　波……（愿愿）
一、声压、声阻和声强……（愿怨）
二、声波的反射和透射……（怨员）
三、声强级和响度级……（怨员）
第十节　多普勒效应……（怨猿）
一、波源和观察者在其连线上运动……（怨猿）
二、波源和观察者的运动不在连线上……（怨源）
三、多普勒效应的应用……（怨缘）
第十一节　超声波……（怨远）
一、超声波的特性……（怨远）
二、超声波在介质中的作用……（怨远）
习题四　……（怨苑）
阅读材料
超声技术及其医学应用……（无园）

第五章　分子动理论……（无园）
第一节　物质的微观结构……（无园）
第二节　理想气体分子动理论……（无园）
一、理想气体状态方程……（无园）
二、理想气体的微观模型……（无园）
三、理想气体压强公式……（无园）

四、理想气体的能量公式和能均分原理……（页码）
五、理想气体定律的推导……（页码）
第三节 气体分子速率和能量的统计分布……（页码）
一、速率分布函数……（页码）
二、麦克斯韦速率分布定律……（页码）
三、气体分子的三种速率……（页码）
四、玻尔兹罗能量分布定律……（页码）
第四节 气体内的输运过程……（页码）
一、分子的平均自由程和碰撞频率……（页码）
二、输运过程……（页码）
第五节 液体表面现象……（页码）
一、表面张力和表面能……（页码）
二、曲面下的附加压强……（页码）
三、毛细现象和气体栓塞……（页码）
四、表面活性物与表面吸附……（页码）
习题五……（页码）
阅读材料
生物膜的输运……（页码）
液晶和生物液晶态……（页码）

第六章 热力学基础……（页码）
第一节 热力学的一些基本概念……（页码）
一、热力学系统……（页码）
二、准静态过程……（页码）
第二节 热力学第一定律……（页码）
一、功 热量 内能……（页码）
二、热力学第一定律……（页码）
第三节 热力学第一定律的应用……（页码）
一、等容过程……（页码）
二、等压过程……（页码）
三、等温过程……（页码）
四、绝热过程……（页码）
第四节 循环过程 卡诺循环……（页码）
一、循环过程和热机的效率……（页码）
二、卡诺循环……（页码）
第五节 热力学第二定律……（页码）
一、热力学第二定律……（页码）
二、可逆过程和不可逆过程……（页码）

三、热力学第二定律的统计意义和适用范围……（页码）
四、熵 熵增加原理和能量退降 ……（页码）
习题六……（页码）
阅读材料
生物热力学……（页码）

第七章　静电场……（页码）
第一节　电场和电场强度……（页码）
一、电荷和库仑定律……（页码）
二、电场强度……（页码）
第二节　高斯定律……（页码）
一、电场线和电通量……（页码）
二、高斯定理……（页码）
三、高斯定理的应用……（页码）
第三节　电势和电势梯度……（页码）
一、静电场力作功……（页码）
二、电势……（页码）
三、电势梯度……（页码）
第四节　电偶极子与电偶层……（页码）
一、电偶极子……（页码）
二、电偶层……（页码）
第五节　静电场中的电介质……（页码）
一、电介质的极化……（页码）
二、电介质中的电场……（页码）
第六节　静电场的能量 ……（页码）
一、电容器……（页码）
二、静电场的能量……（页码）
习题七……（页码）
阅读材料
生物电现象……（页码）

第八章　直流电……（页码）
第一节　电流密度……（页码）
一、电流和电流密度……（页码）
二、欧姆定律的微分形式……（页码）
三、电解质的导电性……（页码）
四、含源电路的欧姆定律……（页码）
第二节　基尔霍夫定律……（页码）

一、基尔霍夫第一定律……（页码）
二、基尔霍夫第二定律……（页码）
第三节　电容器的充电和放电……（页码）
一、RC电路的充电过程……（页码）
二、RC电路的放电过程……（页码）
习题八……（页码）
阅读材料
电泳……（页码）
电渗……（页码）

第九章　磁　场……（页码）
第一节　磁场 磁感应强度……（页码）
一、磁场……（页码）
二、磁感应强度……（页码）
第二节　磁场对运动电荷和电流的作用……（页码）
一、洛仑兹力……（页码）
二、霍尔效应……（页码）
三、磁场对载流导线的作用 磁矩……（页码）
第三节　电流的磁场……（页码）
一、毕奥-萨伐尔定律……（页码）
二、毕奥-萨伐尔定律的应用……（页码）
三、安培环路定律……（页码）
第四节　磁介质……（页码）
一、磁介质中的磁场 磁导率……（页码）
二、顺磁质、抗磁质和铁磁质……（页码）
第五节　电磁感应定律……（页码）
一、磁通量……（页码）
二、电磁感应定律……（页码）
三、动生电动势……（页码）
四、感生电动势 涡旋电场……（页码）
五、自感现象……（页码）
第六节　电磁振荡和电磁波……（页码）
一、位移电流……（页码）
二、麦克斯韦方程组……（页码）
三、电磁振荡……（页码）
习题九……（页码）
阅读材料
生物电阻抗……（页码）

生物医学电磁传感器 ……（页码）

第十章　波动光学……（页码）
第一节　光的干涉……（页码）
一、光的相干性……（页码）
二、光程和光程差……（页码）
三、杨氏实验……（页码）
四、洛埃镜实验……（页码）
五、薄膜干涉……（页码）
第二节 光的衍射 ……（页码）
一、单缝衍射……（页码）
二、圆孔衍射……（页码）
三、光栅衍射……（页码）
第三节　光的偏振……（页码）
一、自然光和偏振光 ……（页码）
二、马吕斯定律 ……（页码）
三、布儒斯特定律……（页码）
四、光的双折射……（页码）
五、二向色性和偏振片……（页码）
六、物质的旋光性……（页码）
习题十……（页码）
阅读材料
偏振光技术的应用……（页码）
液晶的光学特性……（页码）

第十一章　几 何 光 学……（页码）
第一节　球 面 折 射 ……（页码）
一、单球面折射 ……（页码）
二、共轴球面系统 ……（页码）
第二节　透 镜 ……（页码）
一、薄透镜成像公式 ……（页码）
二、薄透镜组合 ……（页码）
三、厚透镜 ……（页码）
四、柱面透镜 ……（页码）
五、透镜的像差 ……（页码）
第三节　眼 睛 ……（页码）
一、眼的光学结构 ……（页码）
二、眼的调节 ……（页码）

三、眼的分辨本领 ……（
四、眼的屈光不正及其矫正 ……（
第四节 医用光学仪器……（
一、放大镜 ……（
二、光学显微镜 ……（
习题十一……（
阅读材料
纤镜……（
特殊显微镜……（

第十二章 量子力学基础……（
第一节 热辐射……（
一、基尔霍夫辐射定律 ……（
二、黑体辐射……（
三、普朗克量子假设 ……（
四、人与热辐射环境……（
第二节 光的量子性……（
一、光电效应 ……（
二、爱因斯坦光子假设……（
三、光子的质量和动量 ……（
四、康普顿效应……（
第三节 微观粒子的波动性……（
一、德布罗意物质波假设 ……（
二、电子显微镜……（
三、德布罗意物质波的统计解释 ……（
四、不确定关系……（
第四节 薛定谔方程……（
一、波函数 ……（
二、薛定谔方程的建立……（
三、一维势阱……（
第五节 氢原子理论……（
一、氢原子光谱的规律 ……（
二、玻尔理论……（
三、氢原子的量子力学描述……（
第六节 原子壳层结构……（
一、多电子原子的近似处理 ……（
二、原子的壳层结构……（
第七节 原子光谱和分子光谱……（

需要全本请访问 www.ertongbook.com

一、原子光谱 ……（猿袁
二、分子光谱……（猿袁
三、光谱分析原理……（猿源
习题十二……（猿缘
阅读材料
扫描隧穿显微镜……（猿远
量子生物学概述……（猿苑

第十三章　载射 线 ……（猿圆
第一节　载射线的产生……（猿圆
一、载射线产生装置……（猿圆
二、有效焦点和实际焦点……（猿源
三、载射线的强度与硬度……（猿缘
第二节　载射线的性质和 载射线衍射 ……（猿远
一、载射线的性质……（猿远
二、载射线的衍射……（猿远
第三节　载射线谱……（猿怨
一、连续 载射线谱 ……（猿怨
二、标识 载射线谱 ……（猿园
第四节　物质对 载射线的吸收规律 ……（猿圆
一、单色 载射线的吸收规律 ……（猿圆
二、连续 载射线的吸收规律 ……（猿猿
习题十三……（猿源
阅读材料
载射线的医学应用……（猿缘

第十四章　原子核和放射性……（猿愿
第一节　原子核的基本性质……（猿愿
一、原子核的组成……（猿愿
二、原子核的质量和大小……（猿怨
三、原子核的角动量和磁矩……（猿园
四、原子核的质量亏损及结合能……（猿员
五、原子核的稳定性……（猿圆
第二节 原子核的衰变 ……（猿猿
一、α 衰变 ……（猿猿
二、β 衰变 ……（猿源
三、γ 衰变和内转换……（猿远
第三节 放射性核素的衰变规律 ……（猿愿

一、衰变规律……（
二、半衰期和平均寿命……（
三、放射性活度……（
四、放射平衡……（
第四节 射线与物质的相互作用 ……（
一、带电粒子与物质的相互作用……（
二、光子与物质的相互作用……（
三、中子与物质的相互作用……（
第五节 辐射剂量 ……（
一、载射线和 γ 射线的照射量……（
二、吸收剂量……（
三、剂量当量……（
习题十四……（
阅读材料
射线的测量原理和放射性核素在医学上的应用……（
基本粒子简介……（

第十五章 生物磁现象……（
第一节 磁场的生物效应 ……（
一、磁场对生物的物理作用……（
二、磁场引起的化学或生化反应……（
三、磁场的物理因子对生物作用的影响……（
四、磁场对人体的作用及磁疗……（
第二节 生物磁场 ……（
一、心磁场和心磁图……（
二、脑磁图……（

第十六章 激光及其医学应用……（
第一节 激光的基本原理 ……（
一、原子的能级与粒子数按能级的分布规律……（
二、光与原子的相互作用……（
三、产生激光的基本思想……（
第二节 激光器……（
一、激光器的构成……（
二、激光器举例……（
三、医用激光器……（
第三节 激光的特性……（
一、方向性好……（

二、亮度高、强度大……（
三、单色性好……（
四、相干性好……（
五、偏振性好……（
第四节 激光的医学应用……（
一、激光的生物作用……（
二、激光在基础医学研究中的应用……（
三、激光的临床应用……（
四、激光的安全防护……（
习题十六……（

第十七章 磁共振成像……（
第一节 核磁共振的基本概念……（
一、原子核的自旋和磁矩……（
二、原子核在磁场中的运动……（
三、原子核在磁场中的能量和塞曼效应……（
四、原子核的宏观磁化……（
第二节 核磁共振现象……（
一、核磁共振现象的发生……（
二、弛豫过程和弛豫时间……（
三、自由感应衰减信号……（
四、磁共振参数的医学诊断意义……（
第三节 磁共振成像的原理……（
一、磁共振信号成像参数的检测和加权成像……（
二、磁共振成像的基本方法……（
三、图像重建……（
四、核磁共振成像装置的基本结构……（
第四节 [illegible]的应用与发展……（
一、[illegible]的优点……（
二、[illegible]的发展和前景……（
习题十七……（

参考文献……（

绪　论

一、物理学的研究对象

自然界存在的一切客观实体都是物质。从基本粒子、原子、分子到宇宙天体，从核力场、电磁场到引力场，从生物分子、基因、蛋白质、细胞到生物机体等所有物质，都处于不停地运动和变化之中。一切自然现象就是这些物质运动的表现。运动是物质存在的形式，也是物质的固有属性。

物质的运动形式多种多样，各种运动形式之间相互联系，又有本质的区别，既服从普遍的规律，又有它自身的规律。自然科学的分类是根据研究对象的不同而加以区分的。

在自然科学中，物理学所研究的是物质运动所具有的最基本和最普遍的性质。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。这些运动普遍存在于其他高级而复杂的物质运动之中。因此，物理学所研究的规律具有最基本、最普遍的意义，从而使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。

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、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、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。

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。随着物理学的迅速发展和现代科学技术的日新月异，人类对生命现象的认识逐渐深入，生物学和医学已从宏观形态的研究进入微观领域的研究，从细胞、亚细胞水平的研究上升到分子水平的研究，并逐渐将其建立在精确的物理学基础之上。任何生命过程都和物理过程密切联系，进而揭示生命现象的本质。例如，能量交换、信息传递、生理过程的控制与调控、疾病的发生机理、物理因素对生物体的作用等，都可以应用物理学的知识和理论加以解释或说明。物理学在生物学和医学领域

中的应用日益广泛和深入，对阐明生命现象的本质作出了新的贡献。

物理学的新技术和新方法广泛应用于生物学和医学的基础研究和临床医疗实践。人们熟知的光学显微镜、X射线透视和照片、放射性同位素、光纤内窥镜等已广泛应用于医学领域；电子显微镜成为研究细胞超微结构的重要工具；计算机X射线断层摄像术（CT）大大提高了图像的清晰度；核磁共振成像（MRI）技术显著提高了成像的灵敏度和照片的清晰度，除了显示解剖学图像外，还能显示代谢过程和生化信息的图像；激光扫描共焦显微镜能拍摄到细胞内部瞬间变化的实时而真实的彩色图像，可达每秒30幅画面，为细胞生物学、分子生物学、生物化学、免疫学、遗传学、医学和神经生物学等研究领域提供了崭新的途径。超声波成像术应用于临床诊断，能方便、快捷、有效、无损伤地获得器官或组织的动态彩色图像以及相应的照片。总之，物理学在理论和技术上的新成就为生物学和医学的发展提供了理论基础、技术和方法。与此同时，生物学和医学的不断向前发展，又给物理学提出了新的研究课题和亟待解决的问题。二者相互促进、相互渗透、共同前进，不断向生命现象的本质靠近。

综上所述，物理学与生命科学的关系主要表现在以下两个方面。

（1）物理学的知识和理论是揭示生命现象的本质不可缺少的基础。

（2）物理学的新理论、新技术、新方法为生物学和医学的基础研究和临床应用开辟了许多新的方法和途径。

物理学是高等医学院校的一门基础课，其主要任务是向医学学生传授系统的物理学知识和理论，使医学学生进一步掌握物理学的基本概念、基本规律、基本方法和基本技能，为学习医学奠定必要的物理学基础。因此，正确认识物理学与医学的关系，是学好物理学的关键。

三、物理学的科学思维和研究方法

对物理学的研究方法和科学思维的了解，不仅有助于学生对物理学和其他学科的学习和能力的培养，而且可以启发学生积极思维，激发学生的探索和创新意识，培养学生的创新精神和科学态度。自然科学的基本任务是认识物质的属性、研究物质运动的规律，其研究方法是“实践—理论—实践”的认识论。物理学的研究方法包括现象观察、实验演绎、提出推论或假设、综合分析、归纳总结、建立基本理论（定理、定律、原理）等各个方面。观察和实验所获得的大量原始资料是建立理论的基础和依据，而理论又要受到实践的检验，并得到进一步的验证，使之具有真理性和普遍意义。理论在一定范围内描述了物理现象，并且能在某种程度上预言未知现象的存在和发展趋势。随着人们对物质世界认识的逐渐深入，新的实践事实与理论之间出现了矛盾，使理论得到修正和发展，甚至否定原有理论，而建立更能反映客观实际的新理论。物理学知识的高度科学性、逻辑性、系统性和准确性常常以数学形式描述，使物理学处于现代科学知识的领先地位。在现代自然科学体系中，物理学形成的科学风格、提供的科学准则，就是人们特别重视物理学的研究方法和科学思维的原因。

第一章　刚体的转动

在外力作用下，物体的形状和大小都会改变，这就是物体的形变。如果在外力作用下，不发生形变的物体称为刚体。刚体是一种理想模型。当物体在外力作用下的形变很小时，可把物体近似地看做刚体。

刚体运动的基本形式有两种：平动和转动。刚体平动时，刚体内各个质点在同一时刻有完全相同的速度和加速度。刚体转动时，刚体内各质点都绕同一轴作圆周运动。刚体的一般运动可看做是平动和转动的合运动。如果转轴的空间位置不随时间改变，就叫定轴转动。关于刚体平动的知识，在中学已有扎实的基础，这里不再讨论。本章介绍有关刚体转动的基本概念和主要定律，这对于了解人体在运动中的力学规律以及掌握一些医疗器械的使用原理都是十分重要的。

第一节　定轴转动的运动学

一、角位移　角速度　角加速度

刚体作定轴转动时，刚体上各点的速度、加速度以及在同一时间内的位移都不同。然而，各点在同一时间内转动的角度却相同。所以常采用角量（角位移、角速度、角加速度）来描述刚体的转动状态。

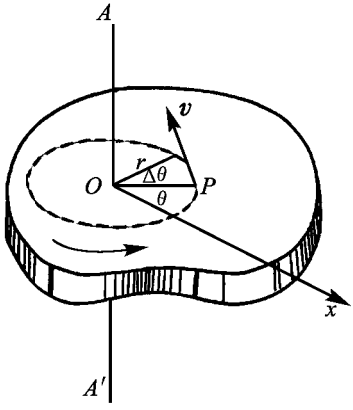

图 员员 刚体的定轴转动

如图 员员所示，孕点为刚体中的一点，过 孕点作垂直于 粤轴的平面（转动平面）交于 韵点，则 孕点在转动平面上绕 韵点作圆周运动。在此平面内，作垂直于转轴 粤的一条垂直直线 韵曾 圆的半径 韵孕与 韵曾的夹角 θ 是决定刚体位置的角坐标。在任意时间 贼内，角坐标的增量 $\Delta\theta$ 越 $\theta_{圆}$ 原 $\theta_{员}$，称为角位移（[illegible]）。角位移的正负代表刚体转动的方向。在图 员员中，角位移 $\Delta\theta$ 跃园 表示刚体逆时针转动，角位移 $\Delta\theta$ 约园 表示刚体顺时针转动。

角坐标和角位移的单位为弧度（贼）。角位移 θ 与时间 贼的增量之比称为刚体的平均角速度，用 $\bar{\omega}$ 表示，即

需要全本请访问 www.ertongbook.com