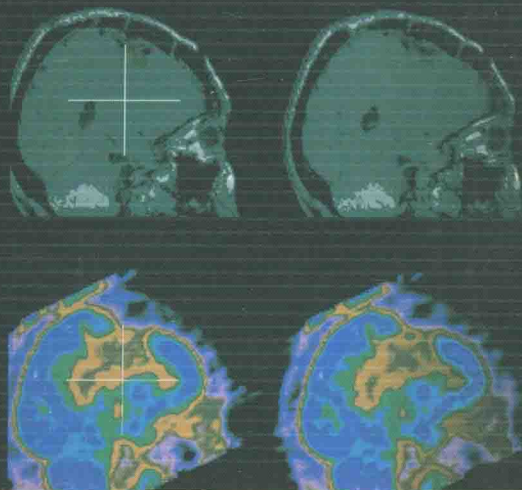




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



# 医用物理学

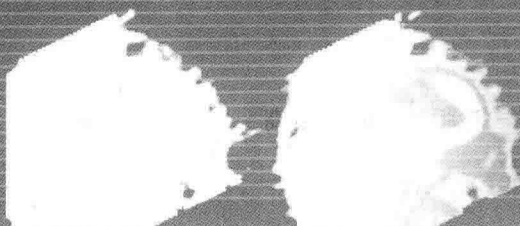
(第三版)

■ 梁路光 主编

高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划



# 医用物理学

(第三版)

■ 梁路光 主编

■ 编者 (以姓氏笔画为序)

王阿明 (徐州医学院) 付入伟 (吉林大学)

刘嘉宜 (吉林大学) 洪洋 (中国医科大学)

张宇 (吉林大学) 张里荃 (吉林大学)

张淑丽 (齐齐哈尔医学院)

唐笑年 (吉林大学) 诸挥明 (吉林大学)

梁路光 (吉林大学)

高等教育出版社·北京 YIYONG WULIXUE (DI SAN BAN)

## 内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题研究成果、普通高等教育“十一五”国家级规划教材及吉林大学“十二五”规划教材。作者立足中国医药类专业大学物理的教学现状,合理地组织教学内容,力求在一个比较完整的物理体系下,尽可能地与医学实践相结合的方式进行编写,以使医药类专业的大学生通过学习物理学初步了解最基本的科学知识、科学方法,以提高自身的科学能力、科学意识、科学品质,并使学生们看到物理学与他们的生活和将要投入的生命类专业工作之间的密切联系,激发学习热情,从而提高学习效果。

本书共计16章,可作为高等院校医药类专业48~108学时大学物理课程的教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

医用物理学/梁路光主编.--3版.--北京:高等教育出版社,2015.6

ISBN 978-7-04-042686-1

I. ①医… II. ①梁… 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(2015)第093756号

策划编辑 马天魁  
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 马天魁  
责任校对 胡美萍

封面设计 王洋  
责任印制 韩刚

版式设计 杜微言

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印 刷 河北鹏盛贤印刷有限公司  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 25.25  
字 数 530千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landracom.com>  
<http://www.landracom.cn>  
版 次 2004年1月第1版  
2015年6月第3版  
印 次 2015年6月第1次印刷  
定 价 38.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 42686-00

## ○ 前 言

20世纪末,中国的高等学校体制发生了重大变化,从“精英式教育”跨入了“大众化教育”的新时代,同时,“应试教育”模式向“素质教育”的转化也在我国大规模地推广开来。在这种教育新形势下,如何使大学生了解现代高科技、掌握科学的思维方法、培养科学素养,大学物理课有着不可缺少、无法取代的作用。

### 教材的编写背景

在本教材的编写和修改期间,编者张铁强教授和梁路光教授有幸参与了教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会制订《理工科类大学物理课程教学基本要求》和全国高等教育研究中心制订《医药类专业大学物理课程教学基本要求》的工作。努力将最新的教学要求贯穿到教材中去,使之成为完善教材的主要宗旨。

该教材是教育科学“十五”国家规划课题子课题“21世纪中国高等学校农林/医药类专业数理化基础课程的创新与实践”、高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会教学研究项目“在多校区综合性大学中实施和完善教学基本要求的研究”、吉林省教育厅教学改革项目“公共物理系列课程教学改革与教材建设的研究与实践”、“医学七年制公共基础课课程体系 and 内容的综合改革与实践”的研究成果,此成果曾荣获2009年吉林省高等教育省级教学成果二等奖。该教材受到校、省及国家三级教研项目的支持,具有浑厚的教学研究基础。

### 教材的特色

(1) 站在医学专业的角度系统地传授大学物理的基本规律。鉴于我国医药类专业学生普遍存在对物理课畏难的心理,本教材利用医学专业特点编写了大学物理学的基本内容,以便提高医学生的学习兴趣 and 效果。全书有七章(占全书的44%)以医学方面的问题的提出 and 解决向学生介绍大学物理学的基本思想、基本规律 and 基本方法,如:通过第二章“骨的力学性质”介绍物体的弹性力学规律;通过第三章“血液的流动”介绍流体力学的规律;通过第五章“超声诊断仪的物理原理”介绍波动的规律;通过第十一章“眼睛的屈光”介绍几何光学的规律;通过第十四章“激光在生物医学中的应用”介绍激光的产生及发展规律;通过第十五章“核磁共振成像原理”介绍原子物理学的基本规律;通过第十六章“X射线成像的物理基础”介绍X射线 and 相关知识。这样不仅提高了学生的学习兴趣,也借此培养医学生理论联

系实际的能力,使他们初步树立学科应用意识,明确教育目标,在为后续医学课程奠定基础的同时,加强物理思想、方法与医学有机融合的力度。全书以分析举例、习题思考、医学链接等形式体现,使之形成前后呼应、流畅和谐的有机整体。

(2) 加大近代物理学内容的比例,以适应新的教学要求。进入 21 世纪,医学与生命科学的迅速腾飞热切呼唤数理基础的交叉与融合。不论是基因组技术到蛋白质框架,还是干细胞学说脑功能研究,都比任何时候还需要物理学理论与技术的支撑,为了适应现代科学的需要,新修订的《医药类专业大学物理课程教学基本要求》中明确要求应在大学物理课里向学生讲授量子物理、狭义相对论等近代物理学知识,各个医学院校物理课也在逐步改变过去不讲量子物理、狭义相对论的习惯,医用物理学正在朝着适应现代教育形势的方向发展。因此本教材加大了近代物理学内容的比重:系统介绍了狭义相对论、量子力学基础、激光的原理、现代医学三大成像技术(X 射线成像 X-CT,超声成像 USI,核磁共振成像 MRI),并努力实现经典物理内容的现代化,建立一个完整的、面向现代社会的医药类专业大学物理课程内容的教学体系。

(3) 篇幅适度,适用于少学时授课。本书突出了实用性和可读性,坚持“教材应适应教学,而非教学适应教材”的原则,书中内容尽量做到行文简洁,重点突出,内容覆盖丰富,但字数并不算多,避免了书越出越厚,内容越写越杂,课却越讲越少的倾向;努力调整内容结构,注重物理学框架的完整,对物理学基础理论的介绍更贴近理工科教材,并注意在应用时与医学的衔接,使各章节的分配更科学合理,克服以往教学因学时数的限制,侧重医学教育的表面需求,而在物理学教学结构上常出现的课时过多或不够的状况。本书适合医药类专业的少学时大学物理课使用。

(4) 本书在 77 个知识点旁加入了图标或二维码,读者可通过手机扫描看到相应知识点的动画或视频图像,从而更形象地展示其物理现象及本质。

### 教材的辅助资源

- (1) 由高等教育出版社高等教育电子音像出版社出版的电子教案;
- (2) 由吉林大学远程教育学院组织管理、梁路光教授主讲的网络课程“医用物理学”;
- (3) 由吉林大学公共物理教学与研究中心组织管理的网络资源库:动画、演示实验视频、物理学史与物理学家、历届期末考试题与解答等;
- (4) 习题的详细解答(待出版);
- (5) 学生用活页作业。

### 鸣谢

衷心感谢为本教材的编写付出辛勤工作的:吉林大学的梁路光教授(编写第一、三、九、十一、十二、十六章),张铁强教授(编写第十四章),刘嘉宜教授(编写第

六章),张里荃博士(编写第十章),付大伟博士(编写第二、四章),唐笑年博士(编写第七、八章);中国医科大学的洪洋教授(编写第五章);徐州医学院的王阿明教授(编写第十三章);齐齐哈尔医学院的张淑丽教授(编写第十五章)。吉林大学诸挥明工程师负责全书的插图绘制。

本教材作为吉林大学“十二五”规划教材,得到了吉林大学教务处和高等教育出版社物理分社的鼎力支持,在此一并感谢!

梁路光(E-mail:lianglg@jlu.edu.cn)

2015年于吉林大学

# 目 录

第一章 刚体的定轴转动 .....	001	习题二 .....	027
§ 1.1 角量和线量 .....	002	第三章 血液的流动 .....	029
1.1.1 刚体的定轴转动 .....	002	§ 3.1 理想流体的定常流动 .....	030
1.1.2 角量 .....	002	3.1.1 基本概念 .....	030
1.1.3 角量与线量的 关系 .....	004	3.1.2 连续性方程 .....	031
§ 1.2 转动定律 转动惯量 .....	004	3.1.3 伯努利方程 .....	032
1.2.1 转动力矩 .....	004	3.1.4 方程的应用 .....	033
1.2.2 转动定律 .....	005	§ 3.2 血液的层流 .....	037
1.2.3 转动惯量 .....	007	3.2.1 基本概念 .....	037
1.2.4 转动动能 .....	010	3.2.2 连续性方程 人体 内血流速度分布 .....	040
1.2.5 力矩的功 .....	010	3.2.3 伯努利方程 心脏 做功 .....	040
§ 1.3 角动量 角动量守恒 定律 .....	011	3.2.4 泊肃叶定律 外周 阻力 .....	044
1.3.1 角动量 .....	011	3.2.5 斯托克斯黏性公式 血沉 .....	046
1.3.2 冲量矩 .....	011	习题三 .....	047
1.3.3 角动量定理 .....	011	第四章 振动与波动 .....	051
1.3.4 角动量守恒定律 .....	011	§ 4.1 简谐振动 .....	052
§ 1.4 旋进 .....	012	4.1.1 简谐振动方程 .....	052
习题一 .....	013	4.1.2 描述简谐振动的特 征量 .....	053
第二章 物体的弹性 骨的力学 性质 .....	017	4.1.3 初始条件 .....	055
§ 2.1 应力和应变 .....	018	4.1.4 简谐振动的旋转矢 量表示法 .....	055
2.1.1 应力 .....	018	4.1.5 简谐振动的能量 .....	057
2.1.2 应变 .....	019	§ 4.2 简谐振动的叠加 .....	058
§ 2.2 弹性模量 .....	020	4.2.1 同方向、同频率的两 个简谐振动的合成 .....	058
2.2.1 弹性与塑性 .....	020	4.2.2 同方向、不同频率的 两个简谐振动的合 成 拍 .....	059
2.2.2 弹性模量 .....	021		
§ 2.3 形变势能 .....	022		
§ 2.4 骨的力学性质 .....	023		
2.4.1 骨的受力 .....	024		
2.4.2 骨的力学特性 .....	026		

4.2.3 两个互相垂直的简 谐振动的合成·····	061	5.1.3 声波的多普勒 效应·····	090
§ 4.3 振动的分解 频谱 分析·····	064	§ 5.2 超声波的基本性质及数 学表述·····	093
§ 4.4 阻尼振动 受迫振动 共振·····	065	5.2.1 超声波的速度·····	094
4.4.1 阻尼振动·····	065	5.2.2 声压与声压方程·····	094
4.4.2 受迫振动·····	066	5.2.3 声特性阻抗·····	095
4.4.3 共振·····	067	§ 5.3 超声在介质中的传播 规律·····	097
4.4.4 非线性振动·····	067	5.3.1 反射与透射·····	097
§ 4.5 波动方程·····	068	5.3.2 声束通过介质 薄层·····	100
4.5.1 波的产生和传播·····	068	5.3.3 超声在介质中的衰 减特征·····	101
4.5.2 横波和纵波·····	068	5.3.4 超声在介质中的吸 收衰减规律·····	101
4.5.3 波面与波线·····	069	5.3.5 测量介质吸收超声 的参数·····	102
4.5.4 波的周期、频率和 波长·····	069	5.3.6 超声与物质的相互 作用·····	104
4.5.5 平面简谐波·····	069	§ 5.4 超声的产生及声场基本 特征·····	105
§ 4.6 波的能量 能流密度·····	074	5.4.1 超声探头·····	105
4.6.1 波的能量·····	074	5.4.2 超声束的形状·····	106
4.6.2 波的能流密度·····	075	§ 5.5 超声诊断仪的物理 原理·····	108
4.6.3 波的强度与距离的 关系·····	076	5.5.1 A 型超声·····	108
4.6.4 介质对波能量的 吸收·····	076	5.5.2 M 型超声·····	109
§ 4.7 波的干涉·····	077	5.5.3 B 型超声·····	110
4.7.1 波的叠加原理·····	077	5.5.4 D 型超声·····	111
4.7.2 波的干涉·····	077	5.5.5 彩超·····	113
4.7.3 驻波·····	079	习题五·····	114
习题四·····	081	第六章 狭义相对论·····	117
第五章 超声波 超声诊断仪 的物理原理·····	087	§ 6.1 伽利略变换和经典力学 时空观·····	118
§ 5.1 声波·····	088		
5.1.1 声波的基本性质·····	088		
5.1.2 声强级 听觉区域 响度级·····	089		



6.1.1 伽利略相对性原理 .....	118	§ 7.3 液体与固体接触处的表面现象 毛细现象 .....	138
6.1.2 伽利略变换 .....	118	7.3.1 液体与固体接触处的表面现象 .....	138
6.1.3 经典力学的时空观 .....	119	7.3.2 毛细现象 .....	139
§ 6.2 狭义相对论的基本假设 洛伦兹变换 .....	119	7.3.3 气体栓塞 .....	140
6.2.1 迈克耳孙-莫雷实验 .....	119	习题七 .....	141
6.2.2 狭义相对论的基本假设 .....	120	<b>第八章 静电学</b> .....	143
6.2.3 洛伦兹变换 .....	121	§ 8.1 电场 电场强度 .....	144
§ 6.3 狭义相对论的时空观 .....	122	8.1.1 库仑定律 .....	144
6.3.1 同时的相对性 .....	122	8.1.2 电场和电场强度 .....	144
6.3.2 时间延缓 .....	123	8.1.3 电场强度的计算 .....	145
6.3.3 长度收缩 .....	123	§ 8.2 高斯定理及其应用 .....	149
§ 6.4 狭义相对论动力学 .....	125	8.2.1 电场线 电场强度 通量 .....	149
6.4.1 相对论动量、质量、质点动力学基本方程 .....	125	8.2.2 高斯定理 .....	151
6.4.2 相对论动能 .....	126	8.2.3 高斯定理的应用 .....	153
6.4.3 质能关系式 .....	126	§ 8.3 电场力做功 电势 .....	155
6.4.4 能量和动量的关系 .....	127	8.3.1 电场力做功 .....	155
习题六 .....	128	8.3.2 电势能 电势 .....	156
<b>第七章 液体的表面性质</b> .....	131	8.3.3 等势面 电场强度与电势的关系 .....	159
§ 7.1 液体的表面张力和表面能 .....	132	§ 8.4 电偶极子 电偶层 心电 .....	161
7.1.1 表面张力 .....	132	8.4.1 电偶极子 .....	161
7.1.2 表面能 .....	133	8.4.2 电偶层 .....	162
7.1.3 液体表面层中的分子力作用 .....	134	8.4.3 心电向量和心电向量环 .....	164
§ 7.2 弯曲液面的附加压强 .....	135	8.4.4 体表心电的形成 .....	165
7.2.1 附加压强 .....	135	§ 8.5 静电场中的电介质 .....	166
7.2.2 肺泡中的表面活性物质 .....	137	8.5.1 电介质及其极化 .....	166
		8.5.2 电介质中的场强 .....	168
		§ 8.6 电容 电场的能量 .....	170
		8.6.1 电容 .....	170
		8.6.2 带电系统的能量 .....	171

8.6.3 静电场的能量	171	§ 10.3 直流电路	204
习题八	172	10.3.1 闭合电路的欧姆定律	204
<b>第九章 电流的磁场</b>	<b>177</b>	10.3.2 基尔霍夫定律	204
§ 9.1 磁感应强度 磁通量	178	§ 10.4 电容器的充放电过程	206
9.1.1 磁感应强度	178	10.4.1 充电过程	206
9.1.2 磁感应线 磁通量和 磁场中的高斯定理	179	10.4.2 放电过程	208
§ 9.2 毕奥-萨伐尔定律及其 应用	179	§ 10.5 电流对人体的作用	208
9.2.1 毕奥-萨伐尔定律	179	10.5.1 直流电对人体的 作用	209
9.2.2 毕奥-萨伐尔定律的 应用	180	10.5.2 低频交流电流对人 体的作用	210
§ 9.3 安培环路定理及其 应用	183	10.5.3 中频、高频交流电 流对人体的作用	211
9.3.1 安培环路定理	183	习题十	212
9.3.2 安培环路定理的 应用	184	<b>第十一章 眼睛的屈光</b>	<b>215</b>
§ 9.4 磁场对电流的作用	185	§ 11.1 眼睛的屈光系统	216
9.4.1 磁场对运动电荷的 作用	185	11.1.1 眼睛的生理结构	216
9.4.2 磁场对电流的 作用	188	11.1.2 示意眼	216
§ 9.5 生物磁场和磁场的生物 效应	191	11.1.3 简化眼	217
9.5.1 生物磁场	191	§ 11.2 球面的屈光	217
9.5.2 磁场的生物效应	192	11.2.1 单球面	217
习题九	192	11.2.2 共轴多球面	220
<b>第十章 恒定电流</b>	<b>197</b>	§ 11.3 透镜的屈光	223
§ 10.1 欧姆定律的微分形式	198	11.3.1 薄透镜	224
10.1.1 电流 电流密度	198	11.3.2 薄透镜的组合	226
10.1.2 欧姆定律的微分 形式	200	11.3.3 圆柱透镜	227
§ 10.2 电动势 生物膜电位	200	11.3.4 透镜的像差	228
10.2.1 电动势	200	§ 11.4 眼睛的屈光不正及其物 理矫正	229
10.2.2 细胞跨膜电位	201	11.4.1 近视眼	230
		11.4.2 远视眼	231
		11.4.3 老花眼	232
		11.4.4 散光眼	233
		习题十一	233

第十二章 波动光学 .....	237	13.2.1 光电效应实验	
§ 12.1 光的干涉 .....	238	规律 .....	272
12.1.1 光波 光的相		13.2.2 爱因斯坦光子	
干性 .....	238	假说 .....	273
12.1.2 双缝干涉 .....	239	13.2.3 光的波粒二象性 .....	274
12.1.3 光程和光程差 .....	242	13.2.4 光电效应的应用 .....	274
12.1.4 薄膜干涉 .....	243	§ 13.3 康普顿效应 .....	274
12.1.5 劈形空气隙干涉 .....	245	13.3.1 康普顿效应的实	
12.1.6 迈克耳孙干涉仪 .....	246	验规律 .....	274
§ 12.2 光的衍射 .....	247	13.3.2 康普顿效应的光子	
12.2.1 惠更斯-菲涅耳		理论解释 .....	275
原理 .....	247	§ 13.4 玻尔的氢原子理论 .....	276
12.2.2 夫琅禾费单缝		13.4.1 氢原子光谱 .....	276
衍射 .....	248	13.4.2 玻尔的氢原子	
12.2.3 夫琅禾费圆孔		理论 .....	278
衍射 .....	251	§ 13.5 微观粒子的波动性 .....	280
12.2.4 光栅的衍射 .....	254	13.5.1 德布罗意物质波	
§ 12.3 光的偏振 .....	257	假设 .....	280
12.3.1 自然光与偏振光 .....	257	13.5.2 物质波 的实验	
12.3.2 起偏与检偏 .....	258	验证 .....	281
12.3.3 马吕斯定律 .....	259	13.5.3 不确定关系 .....	283
12.3.4 旋光现象 .....	260	§ 13.6 波函数 薛定谔方程 .....	285
习题十二 .....	262	13.6.1 波函数及其统计	
第十三章 量子力学基础 .....	267	解释 .....	285
§ 13.1 热辐射 普朗克的量子		13.6.2 薛定谔方程 .....	286
假设 .....	268	13.6.3 一维无限深势阱中	
13.1.1 热辐射 .....	268	的粒子 .....	287
13.1.2 黑体辐射实验		13.6.4 一维谐振子 .....	289
规律 .....	269	13.6.5 一维势垒 .....	290
13.1.3 普朗克量子		习题十三 .....	292
假设 .....	270	第十四章 激光及其在生物医	
13.1.4 热辐射的医学		学中的应用 .....	295
应用 .....	271	§ 14.1 激光基本原理 .....	296
§ 13.2 光电效应 爱因斯坦的		14.1.1 光与物质的相互作	
光子假说 .....	272	用理论 .....	296

14.1.2	粒子数反转原理·····	298	§ 15.4	射线与物质的相互 作用·····	334
14.1.3	光学谐振腔·····	299	15.4.1	带电粒子与物质的 相互作用·····	335
14.1.4	激励装置·····	302	15.4.2	光子与物质的相互 作用·····	337
§ 14.2	激光主要参数与特性·····	302	15.4.3	中子与物质的相互 作用·····	338
14.2.1	激光主要参数·····	302	§ 15.5	射线的剂量和防护·····	338
14.2.2	激光的特点·····	304	15.5.1	射线的剂量·····	338
14.2.3	临床医学用典型激 光器·····	306	15.5.2	射线的防护·····	339
§ 14.3	激光生物效应与技术·····	308	§ 15.6	放射性核素在医学上的 应用·····	340
14.3.1	激光生物效应·····	308	15.6.1	治疗方面·····	340
14.3.2	激光生物技术·····	312	15.6.2	示踪原子·····	341
§ 14.4	激光在临床医学中的 应用·····	316	§ 15.7	核磁共振成像原理·····	342
14.4.1	激光诊断方法·····	316	15.7.1	核磁共振的基本 原理·····	342
14.4.2	激光治疗方法·····	318	15.7.2	核磁共振的宏观 描述·····	346
14.4.3	激光的其他临床 应用·····	323	15.7.3	磁共振成像·····	349
习题十四	·····	323	15.7.4	人体的磁共振 成像·····	352
<b>第十五章</b>	<b>原子核物理 核磁 共振成像原理</b> ·····	<b>325</b>	15.7.5	磁共振成像的医学 诊断依据·····	354
§ 15.1	原子核的性质·····	326	15.7.6	磁共振成像的特点 及现状·····	355
15.1.1	原子核的组成·····	326	习题十五	·····	357
15.1.2	质量亏损和结 合能·····	326	<b>第十六章</b>	<b>X射线成像的物理 基础</b> ·····	<b>359</b>
15.1.3	核力·····	328	§ 16.1	X射线的产生及其基本 性质·····	360
§ 15.2	放射性核素的衰变·····	329	16.1.1	X射线的产生·····	360
15.2.1	$\alpha$ 衰变·····	329	16.1.2	X射线的基本 性质·····	361
15.2.2	$\beta$ 衰变和电子 俘获·····	329	16.1.3	X射线的强度和 硬度·····	361
15.2.3	$\gamma$ 衰变和内转换·····	330			
§ 15.3	放射性核素的衰变 规律·····	331			
15.3.1	核衰变定律·····	331			
15.3.2	半衰期和平均 寿命·····	332			
15.3.3	放射性活度·····	334			

§ 16.2 X 射线衍射 X 射线谱 .....	362	16.4.2 X 射线电子计算机断层成像 .....	368
16.2.1 X 射线衍射 .....	362	习题十六 .....	373
16.2.2 X 射线谱 .....	363	附录 A 常用物理常量表 .....	375
§ 16.3 X 射线的吸收 .....	366	附录 B 部分数学公式 .....	377
16.3.1 线性吸收系数及质量吸收系数 .....	366	附录 C 希腊字母表 .....	381
16.3.2 半价层 .....	366	附录 D 三种坐标系中的线元、面元和体积元 .....	382
16.3.3 质量吸收系数与波长的关系 .....	367	附录 E 两个矢量的标积和矢积 .....	383
§ 16.4 X 射线成像 .....	367	参考文献 .....	384
16.4.1 常规 X 射线投影成像 .....	367		

## 第一章

# 刚体的定轴转动

---

§1.1 角量和线量

§1.2 转动定律 转动惯量

§1.3 角动量 角动量守恒定律

§1.4 旋进

习题一



刚体的平动  
和转动

在力学中,一般情况下一个物体的运动包含着平动、转动、振动等基本运动形式.在高中物理的学习期间,主要是将物体简化为质点,来研究物体平动的运动规律.本章介绍将物体简化为另一理想化模型——刚体,即在任何情况下其大小和形状都不变化的物体.其主要内容有:刚体做定轴转动时的转动定律、转动惯量、角动量、角动量守恒定律、旋进等.

## § 1.1 角量和线量

### 1.1.1 刚体的定轴转动

观察门或表针的运动,把它们作为刚体研究,我们会发现,在这类刚体的运动过程中,某一直线上的点相对固定参考系保持不动;其他各点都以该直线上的相应点为圆心,在垂直于该直线的平面内做半径大小不同的圆周运动,这条直线称为转轴,这种运动称为刚体的定轴转动.

### 1.1.2 角量

描述刚体定轴转动的基本物理量,即角量有以下三个.

#### (1) 角位移 $\Delta\theta$

如图 1-1 所示,在刚体上取一点  $P$ ,过  $P$  点作  $OP$  垂直于转轴,当刚体绕通过  $O$  点的定轴转动时,刚体中的  $P$  点以  $OP$  为半径绕转轴做圆周运动.在  $\Delta t$  时间内, $P$  点转过  $\Delta\theta$  角度到达  $P'$  点.显然,刚体上其他各点在相同的  $\Delta t$  时间内都转过同样大的角

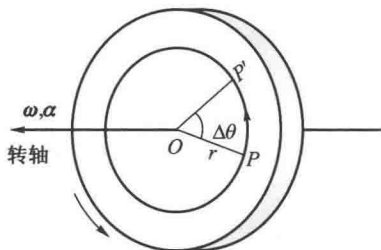


图 1-1 刚体加速转动时的  $\Delta\theta, \omega$  和  $\alpha$

度  $\Delta\theta$ ,这是刚体转动的基本特征,也是假设刚体的大小和形状不变的必然结果.因此,当  $\Delta\theta$  一定时,刚体内每一质点的位置也都随之确定;刚体转动时, $\Delta\theta$  是时间的函数.我们称  $\Delta\theta$  为角位移.角位移是描述刚体转动时位置变化的物理量.角位移的单位是 rad(弧度).若取  $t_0$  时刻刚体的初始位置为角度的零点,则  $t$  时刻刚体的角位移  $\Delta\theta$  就是角坐标  $\theta$ .

#### (2) 角速度 $\omega$

我们用单位时间内刚体转过的角度来衡量整个刚体转动的快慢,即平均角速度:

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (1-1)$$

当  $\Delta t \rightarrow 0$  时,有

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (1-2)$$

**角速度**(也称瞬时角速度)的大小  $\omega$  等于角位移函数对时间的一阶导数,是描述刚体转动快慢的物理量.角速度的单位是  $\text{rad/s}$ (弧度每秒).角速度  $\omega$  是矢量,它的方向由右手螺旋法则确定:让右手四指沿转动方向围绕转轴而弯曲,拇指所指的方向就是角速度的方向(图 1-1).

如果刚体做匀速转动,则  $\omega = \bar{\omega} = \text{常量}$ ,即在任何相等的时间间隔里,刚体的角位移都相等,此时就有下式成立:

$$\theta = \omega t \quad (1-3)$$

### (3) 角加速度 $\alpha$

如果刚体做变速转动,仿照研究质点直线运动时引入加速度的概念,我们定义平均角加速度:

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (1-4)$$

$\bar{\alpha}$  表示单位时间内角速度的增量,当  $\Delta t \rightarrow 0$  时,有

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (1-5)$$

**角加速度**(也称瞬时角加速度)的大小  $\alpha$  等于角速度函数对时间的一阶导数,也是角位移函数对时间的二阶导数,是描述刚体转动时角速度变化快慢的物理量.角加速度的单位是  $\text{rad/s}^2$ (弧度每二次方秒).角加速度  $\alpha$  是矢量,它的方向这样确定:当刚体加速转动时, $\alpha$  与  $\omega$  的方向相同;当刚体减速转动时, $\alpha$  与  $\omega$  的方向相反(图 1-1).

如果刚体做匀变速转动,则  $\alpha = \bar{\alpha} = \text{常量}$ ,即在任何相等的时间间隔内,角速度的变化都相等.若  $t=0$  时角速度为  $\omega_0$ , $t$  时刻的角速度为  $\omega$ ,则

$$\alpha = \bar{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega - \omega_0}{t - 0}$$

得

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad (1-6)$$

用积分的方法可求出任一时刻的角位移:

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (1-7)$$

将(1-6)式与(1-7)式联立,消去  $t$ ,得到

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta \quad (1-8)$$

可以看出,这三个描述刚体匀变速转动的公式与描述质点匀变速直线运动的公式形式上完全一样:

$$\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ s &= v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \end{aligned}$$



$$v^2 = v_0^2 + 2as$$

**例 1** 某刚体做定轴转动,运动规律已知:  $\theta = 50\pi t + \frac{1}{2}\pi t^2$ , 式中  $t$  以 s 为单位,  $\theta$  以 rad 为单位. 试求第 3 秒末的角速度和角加速度及第 3 秒内的角位移.

**解** 先求出角速度函数和角加速度函数:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = 50\pi + \pi t$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \pi$$

已知

$$\theta = 50\pi t + \frac{1}{2}\pi t^2$$

将  $t = 3$  s 代入上面三式中, 分别可求出第 3 秒末的各量:

$$\omega_3 = 53\pi \text{ rad/s}$$

$$\alpha_3 = \pi \text{ rad/s}^2$$

$$\theta_3 = 154.5\pi \text{ rad}$$

而第 3 秒内刚体的角位移为

$$\Delta\theta = \theta_3 - \theta_2 = 154.5\pi - 102\pi = 52.5\pi \text{ rad}$$

### 1.1.3 角量与线量的关系

刚体做定轴转动时, 刚体上各质点的角量:  $\Delta\theta$ 、 $\omega$ 、 $\alpha$  完全相同, 但各质点的线量:  $\Delta s$ 、 $v$ 、 $a_t$ 、 $a_n$  不相同. 角量与线量的关系在高中物理中就学习过:

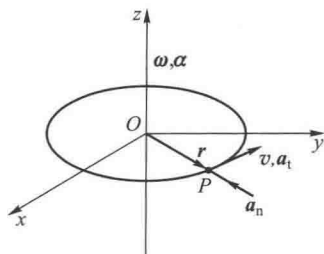


图 1-2 加速转动刚体上 P 点各物理量的方向

$$\Delta s = r\Delta\theta \quad (1-9)$$

$$v = r\omega \quad (1-10)$$

$$a_t = r\alpha \quad (1-11)$$

$$a_n = r\omega^2 \quad (1-12)$$

其中  $r$  是刚体上某质点到转轴的垂直距离. 这些物理量的方向关系见图 1-2 所示.

## § 1.2 转动定律 转动惯量

### 1.2.1 转动力矩

以开门这一日常生活中经常遇到的刚体做定轴转动的现象为例, 我们都知道, 要使静止的门转动起来必须给它施加一个作用力  $F$ , 但如果所加力的作用线垂直

角量和线量的关系