

高等医学院校教材

(供基础、预防、临床、口腔、影像、法医等专业使用)

医用物理学

PHYSICS FOR MEDICINE

第二版

主 编 谭润初
副主编 陈仲本
 李晓原

广东高等教育出版社

2011年中国医药行业 发展报告

2011年中国医药行业 发展报告

2011年中国医药行业
发展报告

医 用 物 理 学

主 编 谭润初

副主编 陈仲本 李晓原

编 写 (按姓氏笔画)

王怡振	李永龙	李平阳	李晓原
陈仲本	贺奇才	徐生辉	谭润初

广东高等教育出版社

• 广州 •

图书在版编目 (CIP) 数据

医用物理学/谭润初主编. —广州: 广东高等教育出版社,
2000. 10

供医学、卫生、儿科、口腔、法医等专业使用
ISBN 7-5361-0876-1

- I. 医
- II. 谭…
- III. 医用物理学
- IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 70886 号

广东高等教育出版社出版发行

广东省乳源县印刷厂印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 20 印张 456 千字

2000 年 10 月第 2 版 2000 年 10 月第 2 次印刷

印数: 9001 ~ 12000

定价: 30.00 元

“第二版”前言

根据历年来的“医用物理学”的教学实践和经验，以及当前教学改革的形势，如何培养 21 世纪医科人才，以有一定广度和适用性的基础理论的目标为基准，我们重新制定本门课的教学目标及教学大纲，以此作为编写教材的依据。本书编者都是多年来参与教学第一线，以他们的经验、心得编写了这本教材。本书特色是尽量避免深奥的理论和公式，特别突出了物理概念与医学的结合，在内容选择上特别注意面向医学、面向临床的需要，而且注重能力的培养，提高学生的素质，贯彻教师重点讲授、在教师指导下的自学教学方法。本书不但可作医科大学本科生的教材，亦可作为研究生、教师和医生的科研、教学参考书。该教材还可在对应章节选取，供高等医药院校的医学、卫生、儿科、法医、视光学、护理、影像……等专业使用。

编者在编写中，注意到精选内容、突出重点、叙述简洁、循序渐进，适于学生自学等方面。每章尾都附有适量的思考题和练习题。

本书的编写安排：谭润初教授编写绪论、第一、三、五章；陈仲本副教授编写第六、七章；李晓原副教授编写第二、四章；李永龙副教授编写第十二章；贺奇才副教授编写第八、九章；徐生辉讲师编写第十章；王怡振讲师编写第十一章；李平阳教师协助编写第三章。全书由谭润初教授任主编，陈仲本副教授、李晓原副教授任副主编。

限于编者水平，此次“第二版”如有不妥之处，诚恳希望使用本书的教师和学生，提出批评意见，以便总结经验，待今后修订提高。

编者
2000 年 5 月

目 录

绪论	(1)
0-1 物理学的研究对象	(1)
0-2 物理学与医学的关系	(1)
0-3 物理学的研究方法	(2)
第一章 刚体生物力学基础	(5)
1-1 刚体的定轴转动、转动定律	(5)
刚体基本运动 (5) 描述刚体运动的物理量 (6) 转动定律 (8)	
转动惯量 (9) 转动动能和力矩做功 (11)	
1-2 角动量原理和角动量守恒	(13)
1-3 人体的静力平衡	(14)
杠杆作用 (15) 头、脚、手、胸等处的杠杆作用 (16)	
习题一	(17)
第二章 变形体生物力学基础	(18)
2-1 生物弹性物质的力学特性	(18)
弹性体应力-应变关系 (18) 弯曲形变 (23) 扭转 (24)	
2-2 粘弹性物体的力学性质	(24)
粘弹性体的特点 (25) 粘弹性体力学模型 (25) 血管的力学性质 (27)	
习题二	(28)
第三章 血流动力学基础	(29)
3-1 理想液体的流动规律	(29)
理想液体稳定流动 (29) 液流连续性原理 (30) 伯努利方程 (31)	
伯努利方程的应用 (34)	
3-2 实际液体的流动规律	(37)
实际液体的牛顿粘滞定律 (37) 雷诺数 (39) 实际液体的伯努利方程 (40)	
3-3 泊萧叶公式 斯托克斯定律	(41)
泊萧叶公式 (41) 斯托克斯定律 (44)	
3-4 血液在人体体循环中的流动	(45)
体循环系统中的血流速度 (45) 体循环系统中的血压分布 (46)	
循环系统中重力的作用 (47)	
习题三	(48)
第四章 波动和声学	(50)
4-1 简谐振动	(50)
简谐振动方程 (50) 简谐振动的特征量 (52) 简谐振动方程的建立 (54)	
简谐振动的能量 (55)	

4-2 简谐振动的合成	(56)
同方向、同频率的简谐振动的合成 (56)	同方向、不同频率的简谐振动的合成 (58)
相互垂直、同频率简谐振动的合成 (59)	
4-3 阻尼振动 受迫振动 共振	(60)
阻尼振动 (60)	受迫振动 (61)
共振 (62)	人体中的振动效应 (62)
4-4 简谐波	(63)
机械波的产生和传播 (63)	简谐波的波动方程 (65)
波的能量	波的衰减 (69)
4-5 波的叠加原理 波的干涉 驻波	(71)
波的叠加原理 (71)	波的干涉 (71)
驻波 (73)	
4-6 声波	(73)
描述声波的几个物理量 (74)	响度级及响度曲线 (77)
人耳的听觉 (78)	
4-7 多普勒效应	(79)
4-8 超声波及医学应用	(82)
超声波的产生 (83)	超声波的性质和作用 (83)
超声波在医学中的应用 (85)	
习题四	(86)
第五章 分子物理学和生物热力学基础	(89)
5-1 理想气体分子运动的基本规律	(89)
理想的气体的分子模型 (89)	理想气体的宏观描述 (90)
5-2 气体分子的速度分布和能量分布	(91)
分子按速率的分布——麦克斯韦速率分布定律 (91)	平均自由程和碰撞频率 (93)
玻尔兹曼能量分布定律 (95)	理想气体的压强公式和温度公式 (96)
能量均分原理 (98)	混合理想气体的压强 (99)
5-3 大气压强对人体的作用	(100)
低气压对人体的影响 (100)	高压对人体的影响 (102)
气压和医疗 (103)	
5-4 迁移现象和跨膜运输	(105)
粘滞现象 (105)	热传导 (105)
扩散 (106)	跨膜运输 (108)
5-5 液体的表面现象	(109)
表面张力 (110)	表面能 (111)
曲面下的附加压强 (112)	
毛细现象及气体栓塞 (114)	表面活性物质与表面吸附 (117)
液面上的膜 (118)	
5-6 热力学第一定律	(119)
基本概念 (119)	准静态过程 (120)
热力学第一定律 (121)	
热力学第一定律的应用 (122)	
5-7 热力学第二定律	(129)
循环过程和热机效率 (129)	热力学第二定律 (131)
热力学第二定律的统计意义 (132)	
5-8 循环过程	(133)
卡诺循环 (133)	逆循环与致冷机 (135)
熵及熵增加原理 (135)	
习题五	(138)
第六章 医用电学基础	(142)
6-1 场强、高斯定理及电势	(142)

电荷及库仑定律 (142)	电场、电场强度 (142)	电通量 (144)	高斯定理 (145)
高斯定理的应用 (147)	电场力作功、电势 (149)	静电场强与电势的关系 (152)	
6-2	静电场中的电介质		(153)
电介质及其极化 (153)	极化强度与电极化率 (154)	介电常数 (155)	
静电场的能量 (156)			
6-3	电偶极子、心电信号及心电图形成		(157)
电偶极子 (158)	心电图 (158)		
6-4	电流密度、电动势、含源电路的欧姆定律、闭合回路		(161)
电流的形成与电流强度 (161)	电流线 (162)	电流密度 (162)	
欧姆定律的微分形式 (165)	电源电动势 (166)		
闭合电路的欧姆定律 (167)	一段含源电路的欧姆定律 (168)		
基本霍夫定律 (169)	电容器的充电和放电过程 (172)		
6-5	人体电阻和防止医疗电击		(174)
人体电阻的模型 (175)	影响人体电阻的因素 (175)		
人体各组织的电阻值 (177)	触电现象 (177)		
6-6	带电粒子输运过程中的电动势		(178)
接触电势差 (178)	温差电动势 (179)	浓差电动势 (181)	
扩散电动势 (182)	流动电动势 (183)		
6-7	电泳 电渗		(184)
电泳 (184)	电渗 (185)		
6-8	神经传导		(185)
神经传导的生物物理问题 (185)	静息电位 (186)	动作电位 (187)	
习题六			(187)
第七章	医用磁学基础		(191)
7-1	磁场的产生及描述		(191)
磁场的定义和描述 (191)	毕奥-沙伐尔定律及应用 (194)		
7-2	磁场对电流的作用		(197)
洛仑兹力 (197)	霍尔效应 (198)		
7-3	物质的磁性		(202)
磁介质及其磁化 磁导率 (202)	顺磁质、抗磁质和铁磁质 (204)		
磁场的能量 (206)			
7-4	生物磁场及其生物效应		(207)
生物磁场 (207)	磁场的生物效应 (209)	医学应用 (209)	
习题七			(209)
第八章	医用光学基础		(212)
8-1	光的干涉		(212)
光的基本描述 (212)	光的干涉性质 (213)	杨氏双缝干涉 (215)	
光程 (216)	薄膜干涉 (217)		
8-2	光的衍射		(219)
单缝衍射 (219)	圆孔衍射 (222)	衍射光栅 (223)	

8-3 光的偏振·····	(224)
自然光与偏振光 (224) 起偏器和检偏器 (225) 偏振光的获得 (226)	
旋光性 (229)	
8-4 光的辐射和吸收·····	(230)
基尔霍夫辐射定律 (231) 黑体辐射定律 (233) 普朗克的量子假设 (235)	
光的量子性 (236) 光的吸收 (239)	
8-5 几何光学·····	(242)
球面折射 (242) 薄透镜 (245) 厚透镜 (250)	
习题八·····	(253)
第九章 眼的光学系统和医用光学仪器·····	(255)
9-1 眼的光学系统·····	(255)
眼的结构 (255) 眼的光学性质 (256) 眼的分辨本领和视力 (257)	
眼的屈光不正及其矫正 (258)	
9-2 放大镜、检眼镜、纤镜·····	(261)
放大镜 (261) 检眼镜 (261) 纤镜 (262)	
9-3 光学显微镜原理·····	(263)
显微镜的结构 (263) 显微镜的放大率 (264) 显微镜的分辨本领 (266)	
显微镜的有效放大率 (267)	
9-4 显微镜简介·····	(268)
偏光显微镜 (268) 相差显微镜 (268) 暗野显微镜 (269) 紫外线显微镜 (270)	
荧光显微镜 (270) 红外线显微镜 (271) 激光共聚焦扫描显微镜 (271)	
习题九·····	(273)
第十章 X射线·····	(274)
10-1 X射线的基本性质·····	(274)
10-2 X射线的发生、强度、硬度·····	(275)
X射线发生装置 (275) X射线的强度和硬度 (276)	
10-3 X射线谱·····	(277)
连续X射线谱 (278) 标识X射线谱 (280)	
10-4 物质对X射线的吸收规律·····	(281)
X射线的吸收规律 (281) 质量吸收系数 (281)	
10-5 X射线在医学上的应用·····	(283)
诊断 (283) 治疗 (284) X射线的生物效应 (284)	
习题十·····	(285)
第十一章 核医学的物理基础·····	(286)
11-1 原子核的基本性质·····	(287)
原子核的组成 (287) 原子核的性质 (288) 核的稳定性 (289)	
11-2 核衰变的类型·····	(291)
α 衰变 (291) β 衰变 (291) γ 衰变和内转换 (291)	
11-3 核衰变的规律·····	(292)
衰变定律 (292) 半衰期 (292) 平均寿命 (293) 放射性强度 (295)	

11-4 射线与物质的作用	(295)
带电粒子和物质的相互作用 (296) 光子与物质的相互作用 (297)	
11-5 辐射剂量与辐射防护	(298)
照射剂量 (299) 吸收剂量 (299) 生物拉德当量 (300) 辐射安全防护 (301)	
11-6 放射性核素在医学上的应用	(302)
治疗 (302) 示踪原子 (302)	
习题十一.....	(303)
第十二章 现代医学成像物理学原理简介	(304)
医学成像 (304) 医学成像的重大成就 (304) 各种医学成像互补作用 (305)	

绪 论

人们为了能够更好地利用自然、改造自然，使自然为人类服务，必须认识周围世界存在物质的客观属性、研究物质运动的规律。物理学（physics）就是研究自然的基本学科之一，它既是一切科学技术的基础学科，同时对现代科学技术及医学诊断、治疗技术的发展，也起着极其重要的作用。

学习物理学，掌握物理学的基本知识、分析问题的思维方法、解决问题的能力，以适应将来工作和继续提高的需要。

0-1 物理学的研究对象

自然界，无限广阔，丰富多采。它是由各种各样的物质构成的。物质是作用于我们感觉器官而引起感觉的东西，它是不依赖于意识而存在的客观实在。物质是以实物和场的两种基本形态存在的。实物是各种物体的组成者，场是实物之间相互作用的传递者。

一切物质都在不断地运动着、变化着，绝对不动的物质是不存在的，“运动是绝对的，静止是相对的”。这就是物质存在的基本性质。物质运动的形式是多种多样的，有些运动形态比较简单，如机械运动，有些运动形态则比较复杂，如化学变化和机体的生长和死亡。尽管如此，然而它们既有服从共同普遍规律的共性，也各有自身独特的规律。对各种不同的物质运动形式的研究，形成了自然科学的各个学科。

物理学研究的是物质运动最基本最普遍的形式，包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内的运动等等。

一切物质运动形态之间都有密切的内在联系，它们既互相依存而又在本质上互相区别。物理学所研究的运动，普遍地存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中，因此，物理学所研究的规律具有极大的普遍性。例如，一切变化和过程，不论它们是否具有化学的、生物的或其它的特殊性质，都遵从物理学所确立的能量守恒和转换定律。因此，可以认为，物理学中的定律和理论是除数学以外，一切自然科学的基础，也是当代工程的重大支柱。尽管如此，但应注意到普遍的运动形态并不能包括所有的高级和复杂的运动形态的特征。因此，物理学的知识是理解生命现象的基础，但不是生命科学的全部内容。物理学和其它自然科学之间没有绝对的界限，现代物理学已经伸展到各门科学之内，并形成了一系列的边缘科学，如化学物理学、医学物理学、生物物理学、农业物理学、天体物理学等。

0-2 物理学与医学的关系

近几十年物理学和工程技术的飞跃发展，随着人类对生命现象认识的逐步深入，生

物学科（包括医学）已经从宏观形态的研究进入到微观机制的探讨。这样，就必将更深入地涉及到生命现象的微观本质，如疾病发生的微观机理、有机体内的控制和调节、新陈代谢的微观过程，以及遗传与变异等的微观基础，从而在寻找防病治病的根本途径中起到应有的作用。作为医学物理学，它是物理学这门成熟的学科的一个分支，它具有严密的理论和精确的实验技术，它是以实验为基础的定量学科，它能很好地有助于解决生命科学（包括医学）的问题，以及促进医学科学的发展和提高。

物理学在医学方面的应用已越来越广泛和深入，两者的关系越来越密切。物理学对生命科学与医学的联系可以归结为两个主要方面。

(1) 物理学是学习医学和了解生命现象不可缺少的基础。例如，要了解血液循环，就必须知道流体力学的基本规律；要了解眼的作用，不仅必须了解几何光学，而且还要了解物理光学；学习诊断学有关物理诊断方法，就必须知道声波的物理性质和传播规律。人体内的电现象是神经与肌肉组织中一种基本活动，要了解它（例如肌电、心电、脑电、眼电，神经传导现象等）必须具备有关电学的知识。在健康防护方面，考虑到物理因子对人体的作用，就必须了解各物理因子（紫外线、红外线、X射线、激光等）的性质及规律。因此，没有一定的物理学基础，是不可能通晓许多医学课题的。

(2) 医学的发展历来与物理学有密切的关系。作为医学基础的物理学若有什么新发现，常促进医学的发展，医学的发展也会反过来刺激物理学的提高。物理学所提供的方法和技术，为基础医学和临床医学的研究、医疗实践开辟了许多新的途径。例如，在伦琴发现X射线数星期后，就有医务人员用它来辅助外科手术的进行，以后发展在医学临床诊断及治疗上有其极广泛的应用。反过来，又促进人们对X射线本质和应用技术的研究。70年代出现的电子计算机X射线断层扫描术(CT)就是一个突出的例子。目前各种医学信息的收集还可通过近代发展起来的如电子显微镜、热象图、红外技术、光纤内窥镜、遥测技术、同位素、核磁共振等手段而获得。总之，大量采用物理学的方法和技术以及由此而设计的各种专用设备，已经成为现代医学研究和临床实践的一个重要保证。

近二三十年来，物理学和医学的不断发展，互相渗透、互相促进，形成了“医学物理学 (medical physics)”这门边缘科学，其主要内容包括阐明人体诸器官、系统的结构和功能，人体各组织的物理性质以及物理因子对人体的作用；物理学方法和技术在预防、诊断及治疗方面的应用。医学物理学对现代医学的发展，起着引导和推动性作用。

医学院校的医用物理学是一门重要的基础课程，本课程在于为各专业课程打下必要的物理知识基础，使学生获得基本的物理知识和物理思想，并学习初步的科学思维方法、研究方法和一定的物理实验技能，从而开阔学生的思路，激发其探索和创新精神，以提高医学人才的素质。

正确地认识这些是学好这门课程的关键之一。

0-3 物理学的研究方法

学习物理学，除了要学习物理学中所讲的各种规律外，还必须学习物理学的研究方法。

物理学的研究方法是观察、实验、假说和理论。观察和实验是研究物理学的基础。观察是就现象发生在自然界中的原来样子加以考察研究，不少现象例如天体运动，只能在自然界中发生，对于这些现象的研究必须用观察方法。对于其它物理现象，观察常常是一种初步的研究方法。历史上不少物理学家的研究工作是从观察开始的，例如伽利略对落体运动和摆动的研究等。

然而发生在自然界中的现象，往往是错综复杂相互联系相互制约的。在这种情况下，就必须用人为的方法，尽可能分离各种条件或因素，使现象在经过简化的条件下重复发生，并加以反复地研究。这就是实验。例如，气体的容积，压强和温度三个量的变化关系是比较复杂的，如果用人工控制的方法，维持其中一个量不变，就可以比较容易地把另外两个量的变化关系找出来。

有了丰富的观察、实验的资料，经过分析、概括、判断、推理等一连串的工作，将它抽象到更一般的形式，再经过实践的反复考验，被证明可以足够正确地反映某些客观规律时，就引导到定律和理论的建立。多数物理定律都说明某些现象之间的相互联系，或说明在某些条件下就会有某些现象发生的规律，并且常常用数学形式阐明和这些现象有关的某些物理量之间的数量上的关系。而物理理论则是更进一步，通过许多不同的但相互关联的现象的研究，从一些已经建立起来的定律中经过整理而得出的更为广泛概括的系统化的知识。一套体系完整的理论常常可以从少数几条比较简单的基本原理出发，经过一定的逻辑推理，就能够解释一定范围内的各种现象。

在定律和理论的建立过程中，假说常常起着很重要的作用，并且被广泛地应用着。假说是在一定观察、实验的基础上概括和抽象出来的，最初仅仅是以有限数量的事实和观察为基础。因此必须以进一步的实验材料清理这些假说，取消一些，修正另一些，直到最后建立起一个纯粹化的定律和理论。所以一个正确建立起来的假说不仅是定律和理论的基础，也是科学认识的发展过程中很重要的甚至是必不可少的一个阶段。没有物质结构的分子原子假说，分子运动理论也就不会出现。

从观察、实验到假说、理论，物理学研究还没有完结。认识从实践开始，经过实践得到了理论的认识，还须回到实践中去。理论是从许多实践中概括和抽象出现的最本质的东西，所以一个能够正确反映客观实在的理论，不仅能够解释已知现象，而且能够预言未知的现象，指导进一步的新的实践，推断出尚未发现的新的自然规律。如果理论推导的结果，得到了新的实践的验证，就更加丰富了理论的内容。例如麦克斯韦的电磁场理论，不仅能够解释各电现象和磁现象之间的关系，而且能够预言电磁波的存在及其传播速度。在这理论指导下，实验完全证实了它的预言。另一方面，如果某一理论或从它推出的结果和新的实验事实有矛盾，就必须对这理论或对它所依据的某些基本假说加以修正，甚至放弃，而在新的实验基础上另外建立能正确反映客观实在的新的理论。例如在光的直进、反射、折射等实验事实的基础上，产生了光的微粒说。但当光的微粒说所推断出来的结果，和光在不同介质中传播速度的实验测定以及光的干涉、衍射等现象发生矛盾时，微粒说就为波动说所代替。到光电效应、原子光谱等新的实验事实不能用波动说来解释时，就又出现了光的量子说。

由上所述，可知观察和实验是物理学研究方法的基础，只有在观察、实验的基础

上，才能够提出正确的假说，建立完善的理论。但理论须回到实践中去：一方面，理论需要经过实践的检验；另一方面，正确的理论对实践具有高度的和广泛的指导作用，理论通过实践而获得进一步的发展。所以物理学研究（实际上一切科学的研究都是这样）是理论和实践的统一。在理论和实践的相互影响、相互提高中，物理学（包括各自然科学）逐步地达到完善的程度。随着科学技术的不断进步，物理学已经而且将会愈来愈完整愈精确地反映出自然现象的客观规律。

第一章 刚体生物力学基础

生物力学 (Biomechanics) 是研究活体系统, 即有生命物体的机械运动规律的科学。它是一门新兴的边缘科学, 它从力学原理出发研究复杂的物体的机械运动规律。由于研究的领域和范围不同, 现代生物力学又分一般生物力学、人类工程生物力学、医学生物力学、运动生物力学、康复生物力学等学科。本章将主要介绍生物力学中关于刚体运动和人体杠杆的一些基本原理, 这些是进一步学习上述各生物力学学科的重要基础。

1-1 刚体的定轴转动、转动定律

一、刚体的基本运动

力学中, 所谓刚体 (rigid body) 是指在外力的作用下保持其大小和形状都不改变的物体。事实上, 一个物体受到力的作用时, 其大小和形状总要或多或少地改变的。但是, 如果在所研究的问题中, 物体的形变并不重要, 就可以将该物体看作是一个完全不会发生形变的理想物体, 即刚体。这样在研究物体的运动时便有助于问题的简化。

刚体的基本运动形式是平动和转动。当刚体运动时, 如果刚体内任何一条给定的直线, 在运动中始终保持它的方向不变, 则其运动称为平动 (translation), 见图 1-1 所示。平动的轨迹可能是直线也可能是曲线。但在任一时间内, 刚体中所有质点的位移都

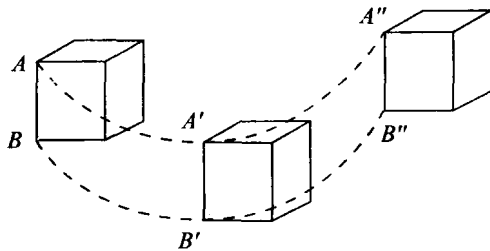


图 1-1 刚体的平动

相同; 且在任何时刻, 刚体中各质点的速度和加速度也都相同。所以, 刚体内任何一个质点的运动, 都可以代表整个刚体的运动。换言之, 在平动时可以把刚体当作一个质点来处理, 可以将质点动力学的所有规律和结果搬过来用。

若刚体的各个质点在运动中都绕同一直线作圆周运动, 则这种运动便称为转动 (rotation), 该直线称为转轴 (axis)。

在生物力学中, 为了作定量分析, 通常将人体分成头, 躯干, 大、小腿, 足、上臂、前臂、手等各个环节。人的各个环节可以自由运动, 人体的姿势可任意加以改变, 所以不是一个刚体。但由于人体的骨骼具有固定的形状, 并借助各肌肉的力量, 将身体

各部分维持一定的姿势，所以，在研究人体的平衡和运动时，通常都有条件地将人体作为刚体来处理。人体的各个环节常绕各关节作转动，故在这里主要介绍刚体的转动，特别是绕一固定不动的轴的转动，即定轴转动的情况。

刚体作定轴转动时，可以是作有支点有实体轴的转动，比如车床、汽轮的转动，手臂绕肩关节的摆动；可以是作有支点无实体轴的转动，即有支撑约束点，但在两支点间并无一实体轴的转动；还可以作无支点的空间单轴转动，如作空翻等。但是无论哪一种形式的定轴转动，刚体上所有的点都在作绕轴的圆周运动。它们的位移、速度不一样，但转角是相同的。因此，可以像描述圆周运动一样，用角位移、角速度、角加速度来描述刚体的转动。

二、描述刚体运动的物理量

1. 角位移

在图 1-2 中，刚体中任一质点原来的位置处于 P 点，它的矢径与 ox 轴的夹角为 θ 。经过时间 Δt 后，到达 P' 点，此时它的矢径与 ox 轴的夹角为 $\theta + \Delta\theta$ 。很明显， Δt 时间内刚体角位置的变化为 $\Delta\theta$ 。它被称为在这段时间内刚体的角位移 (angular displacement)，其单位以弧度 (rad) 表示。对应于一无限短时间 dt 的角位移记为 $d\theta$ 。角位移 $d\theta$ 不但有大小，而且有方向，它是一个矢量，其方向由右手螺旋法则所确定。方法是将右手大拇指与其余四只手指垂直，使四指按转动的方向回转，此时大拇指的方向便是角位移 $d\theta$ 的方向，即是说角位移的方向在转轴上。如果规定了转轴的正方向后，取向与转轴正方向一致的角位移为正值；反之，角位移便为负值。

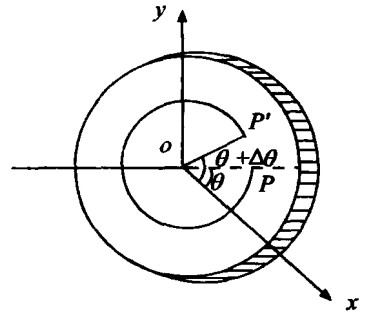


图 1-2 刚体方位的确定

2. 角速度

角速度 (angular velocity) 是描述刚体转动快慢的物理量，以 ω 表示。比值 $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 便是在 Δt 时间内的平均角速度，而当 Δt 趋于零时， $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 的极限值 $\frac{d\theta}{dt}$ ，称为刚体在时刻 t 的瞬时角速度。

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (1-1)$$

角速度的单位是弧度/秒。在工程上角速度常以每分钟的转数 n 表示。 n 与 ω 的关系是

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (1-2)$$

与角位移相类似，角速度不但有大小，而且有方向。也就是说，角速度是一个矢量，其方向的确定与确定角位移方向的方法相同，亦是由右手螺旋法则来确定。所以，角速度 ω 应与角位移 $d\theta$ 的方向相一致。

3. 角加速度

若角速度为常量，则刚体作匀速转动；若角速度不是常量，刚体作变速转动。设在时刻 $t + \Delta t$ 的瞬时角速度分别为 ω_1 和 $\omega_2 = \omega_1 + \Delta\omega$ ，故在时间间隔 Δt 内刚体角速度的变化为 $\Delta\omega$ ，则 $\Delta\omega$ 与 Δt 的比值，称为刚体绕转轴的平均角加速度，以 $\bar{\beta}$ 表示。当 Δt 趋近于零时，比值 $\Delta\omega/\Delta t$ 的极限便是刚体在某一时刻绕转轴的角加速度，即

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-3)$$

很明显， β 也是一个矢量，它的方向与 $d\omega$ 的方向相同。在作定轴转动时， ω_1 及 ω_2 应在同一轴线上，此时角速度增量 $\Delta\omega$ 可用代数值 $\Delta\omega$ 来表示，故式 1-3 可写成

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-4)$$

若 ω_1 与 ω_2 的方向相同，当刚体作加速转动时， $\Delta\omega$ 的方向亦与 ω_1 相同，即 $\Delta\omega > 0$ ， β 为正值， β 的方向也与 ω_1 的方向相同；当刚体作减速转动时， $\Delta\omega < 0$ ， β 为负值，此时 β 的方向与 ω_1 的方向相反。

角加速度的单位为弧度·秒⁻²，可写成秒⁻²或 rad·s⁻²。

描述转动的角位移、角速度和角加速度被统称为角量。由于刚体上各点间的相对位置是固定不变的，故在定轴转动中，刚体上各点在同一时间 Δt 内的角位移相同，且在同一时刻各点具有相同的角速度和角加速度。因此，用角量来描述整个刚体的转动状态就比较方便。

在定轴转动中还常常要考虑到刚体上某一点的运动情况，即要考虑其位移、速度和加速度，这些量统称为线量。由于刚体上每一质点在刚体转动时都在作圆周运动，故各线量与角量之间的关系与对质点作圆周运动的描述相同，即

$$\left. \begin{array}{l} \text{位移} \\ \text{线速度} \\ \text{线加速度} \\ \text{法向加速度} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Delta s = r\Delta\theta \\ v = r\omega \\ a_t = r\beta \\ a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{r^2\omega^2}{r} = r\omega^2 \end{array} \quad (1-5)$$

对于 β 为常量的匀变速转动，角位移、角速度、角加速度和时间之间的关系式同匀变速直线运动的公式相似，分别一一对照如表 1-1 所示。