

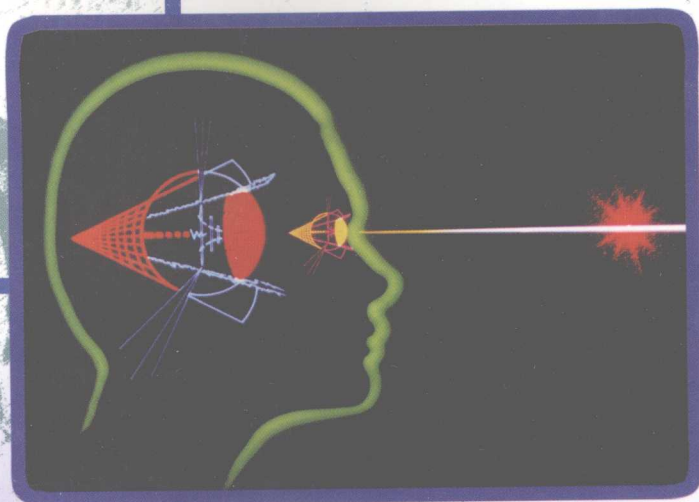
21

世纪高等医药院校教材

医学物理学

(第二版)

主编 甘平



科学出版社

www.sciencep.com

21世纪高等医药院校教材

内容简介

医学物理学

(第二版)

甘平 主编

ISBN 7-03-01925-4

定价：28.00元

(北京) 科学出版社

科学出版社

北京

内 容 简 介

本教材是在第一版的基础上,根据目前医学物理学教育的现状,并参照教育部颁发的医学物理学教学基本要求,总结多年教学改革的经验,吸取国内外有关教材的优点而组织编写的。教材既重视物理学知识的系统性,又避免与中学物理不必要的重复,修订版突出医学物理学的基本特点,注重物理原理在医学临床治疗和诊断技术中的应用,着重培养学生分析问题和解决问题的能力以及科学的创新思维方式。

本书主要用于五年制和七年制临床医学、儿科、预防医学、口腔、影像医学、麻醉、卫生、卫管、卫生检验、妇幼保健、药学等专业教学,也可供医药院校其他专业,生命科学有关专业的师生和研究工作者作为参考书。

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学/甘平主编.—2版.—北京:科学出版社,2005.8
(21世纪高等医药院校教材)

ISBN 7-03-016085-1

I. 医… II. 甘… 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(2005)第 088634 号

责任编辑:李国红 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:刘士平 / 封面设计:宋广通 卢秋红

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

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>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001年8月第一版 开本:850×1168 1/16

2005年8月第二版 印张:29

2005年8月第三次印刷 字数:630 000

印数:6 001—10 000

定价:43.80元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

第二版前言

本教材第二版的修订工作主要是针对我国目前医学物理学教育的现状,根据2003年教育部“新世纪高等教育教学改革工程”重点项目——宽口径医学本科教育人才培养模式的研究与实践(1291B13211)中的《临床医学专业本科教学基本要求(试用)》进行的,而且书名由第一版的《医用物理学》改为《医学物理学》。

医学物理学是医科学生学习医学基础课和专业课的必备基础,现代物理学的研究方法和高新技术在现代医学和生命科学中得到越来越广泛的应用。医学物理学作为医学院校的必修课程,将为学生学习医学基础课和医学专业课打下坚实的基础。学生通过医学物理学的学习,不仅需要掌握必要的物理学基本知识,而且还能培养分析问题和解决问题的能力,培养科学的创新思维方法,使学生具备高级医学人才所必需的理科素质。

近年来,物理学新技术在医学中的应用发展十分迅速,如医学影像技术已成为现代医学诊断和科学研究不可缺少的手段。认清物理学的特点,转变教学思想,合理组织教学内容,改革教学方法是人才素质培养的关键,也是医科大学物理教学改革的关键。修订后的第二版教材针对医学科学的需要,适当地联系医学实际,尽可能避免与中学物理学内容的重复。在充分发扬第一版教材成功经验的基础上,修订后的教材更符合当前医学物理学的教学需要。

本书在修订中突出医科大学物理学的基本特点,注重物理原理在医学临床治疗和诊断技术中的应用,借此培养学生理论联系实际的能力,使他们初步树立医学物理学的应用意识。因此,特别加强了医学成像技术的物理学原理,将四大现代医学成像(X射线成像、磁共振成像、放射性核素成像和超声波成像)的物理原理各立一章;另外,在总结多年教学改革经验,吸取国内外有关医学物理学教材优点的基础上,加大了近代物理教学内容的比重和实现经典物理内容的现代化,希望通过这些改进能建立一个独具特色的、面向现代社会的医科大学物理课程内容教学体系。

全书共安排15章学习内容,适用于高等医药院校五年制和七年制以及高职专科学学生54~100学时的理论教学。不同专业可结合本专业的具体特点及教学计划选取有关章节。

本书主要用于五年制和七年制临床医学、儿科、预防医学、口腔、影像医学、麻醉、卫生、卫管、卫生检验、妇幼保健、药学等专业教学,也可供医药院校其他专业,生命科学有关专业的师生和研究工作者作为参考书。

本书由甘平担任主编,龚尔璋任主审,高斌、陈龙聪任副主编。参加本书编写的

有(以姓氏笔画为序)甘平(第 5、6、8、10、12、13、14 章)、陈龙聪(第 2、4、9 章)、苏爱华(第 10 章合编)、奉娇(第 11 章合编)、高斌(第 3、7、11 章)、龚尔璋(第 1、15 章)、窦焱(第 12 章合编)、谭红明(第 8 章合编)等。

本书在编写过程中参考了有关教材的优点,并在主要参考文献中列出,在此向所有编者一并表示谢意。由于编者的水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 5 月于渝州

第一版前言

物理学是研究物质世界最普遍、最基本的运动规律的科学。物理学研究的内容包括机械运动、分子热运动、电磁运动、场和微观粒子的运动等基本运动形态。这些运动形态广泛存在于生物学和生命科学的运动形态之中，因此物理学是学习医学基础课和医学专业课程的必要的基础，现代物理学的研究方法和技术成就在现代医学和生命科学的研究中得到越来越广泛的应用。

力学是物理学最古老的领域之一，它不但在人体组织结构(例如骨骼和肌肉)中起着重要作用，在体育运动和航空、航天技术中更是不可缺少的研究内容。流体力学研究液体和气体的运动规律，人体血液在循环系统中的运动与流体运动规律有着必然的联系。法国医学家泊肃叶研究了血液在血管中的运动而建立了泊肃叶定律，对血液的运动规律的研究做出了重大贡献。当然，血液是非牛顿流体，血管也不是刚性流管，血液的流动还有其生理的独特性质，还需要进一步的研究和探索。电磁运动是物理学的基本运动形态，人体在正常生理状态下，存在着大量的电学和磁学现象，如心电、肌电、脑电和胃电，心磁、脑磁和肺磁等现象，可以说，人体组织许多部分的生理运动中，都产生着电的或磁的信息。心电图、脑电图、心磁图、肺磁图等技术成就，已经成为医学临床诊断和医学研究的有效手段。几何光学的原理在研究眼的成像系统中获得成功，光学显微镜、电子显微镜和光谱分析技术是医学临床诊断和医学研究的有力助手。X线、放射性核素一经发现，首先就在医学中得到应用。基于物理学、电子学和计算机技术而创立的超声成像技术、X-CT技术、磁共振成像技术和核医学成像技术，已经成为医学临床诊断和医学研究的先进技术。放射性核素治疗机和电子加速器等已是治疗肿瘤的常规设备。在已经从分子水平和电子水平研究生命科学和医学的今天，生物物理学、量子生物学、量子遗传学等，为生命科学和医学的研究开辟了光明的前景。

综上所述，物理学和医学有着千丝万缕的联系。医用物理学作为医学院校的必修课程，它将为学生学习医学基础课和医学专业课程打下坚实的基础。学生通过医用物理学的学习，不仅能掌握必要的物理学基本知识，而且能培养分析问题和解决问题的能力，培养科学的创新思维的方法，使学生具备高级医学人才所必需的理科素质。

本教材是在卫生部颁发的高等医药院校医用物理学教学大纲的基础上，总结我们多年教学改革的经验，汲取国内外有关教材的优点编写的。本教材既重视物理学知识的系统性，又避免了与中学物理不必要的重复，而且编写了较多的医

学物理学专题。本书主要用于五年制和七年制临床医学、儿科、预防医学、口腔、影像医学、麻醉、卫生、卫管、卫生检验、妇幼保健、药学等专业教学,本书后部的医学物理专题可供教师选讲,也可供学生自学。

本书由龚尔璋、甘平担任主编,窦晓明、高斌、陈龙聪任副主编,主编统一整理定稿。参加本书编写的有(以姓氏笔画为序)甘平(第5、6、13、16章)、陈龙聪(第2、3、8章)、高斌(第4、7、11章)、龚尔璋(第1、10、14、15、17、18章)、窦晓明(第9、12章)等同志。

编者

2001年3月

目 录

第一章 力学的基本定律	
第一节 单位和量纲 (1)	三、刚体定轴转动定律 (12)
一、单位 (1)	四、刚体定轴转动的功和能 (14)
二、量纲 (1)	五、角动量和角动量守恒定律 (15)
第二节 质点的平面运动 (2)	六、进动现象 (18)
一、参照系 (2)	第五节 物质的弹性和黏弹性 (19)
二、位置矢量和位移 (2)	一、物体形变 (19)
三、平均速度和瞬时速度 (3)	二、应变和应力 (19)
四、平均加速度和瞬时加速度 (3)	三、弹性模量 (20)
五、法向加速度与切向加速度 (3)	四、弹性势能 (22)
六、匀加速直线运动 (3)	五、肌肉和骨骼的弹性 (23)
第三节 质点动力学的基本定律 (4)	六、黏弹性物质 (24)
一、牛顿运动定律 (4)	第六节 狭义相对论 (25)
二、动能定理和机械能守恒定律 (5)	一、伽利略变换式 (25)
三、动量定理和动量守恒定律 (7)	二、狭义相对论的基本原理 (27)
第四节 刚体的转动 (8)	三、狭义相对论的时空观 (28)
一、刚体定轴转动的运动学 (8)	四、光的多普勒效应 (30)
二、转动动能和转动惯量 (10)	五、相对论性动量和能量 (31)
第二章 流体的运动	
第一节 理想流体 (35)	二、柏努利方程的应用 (43)
一、理想流体 (35)	第四节 黏性流体的流动 (46)
二、定常流动 (36)	一、层流和湍流 (46)
第二节 连续性方程 (37)	二、牛顿黏滞定律 (47)
一、连续性方程的推导 (37)	三、雷诺数 (48)
二、连续性方程的医学应用 (39)	四、黏性流体的流动规律 (49)
第三节 柏努利方程 (39)	五、黏性流体在医学中的应用 (53)
一、柏努利方程 (39)	

第三章 液体的表面现象

第一节 液体的表面张力	(57)	二、球形液面的附加压强	(63)
一、液体的表面层	(57)	三、肺泡的附加压强与表面活性物质	(64)
二、液体的表面张力	(58)	第三节 毛细现象和气体栓塞	(65)
三、表面活性物质与表面吸附	(60)	一、润湿现象	(65)
四、固体的表面吸附	(61)	二、毛细现象	(66)
第二节 弯曲液面的附加压强	(61)	三、气体栓塞	(68)
一、任意弯曲液面内外压强差	(62)		

第四章 振动和波动及超声波成像的物理原理

第一节 简谐振动	(71)	五、简谐波的能量与强度	(96)
一、简谐振动的运动方程	(71)	第五节 惠更斯原理及其应用	(100)
二、简谐振动的特征量	(73)	一、惠更斯原理	(100)
三、简谐振动的矢量表示法	(75)	二、解释波的衍射现象	(101)
四、简谐振动的能量	(76)	三、波的折射的解释	(102)
第二节 阻尼振动、受迫振动和共振	(78)	第六节 波的干涉	(103)
一、阻尼振动	(78)	一、波的叠加原理	(103)
二、受迫振动和共振	(80)	二、波的干涉	(103)
第三节 简谐振动的合成	(80)	三、驻波	(105)
一、两个同方向、同频率简谐振动的合成	(80)	四、声源物体的固有频率	(107)
二、同方向不同频率简谐振动的合成	(82)	第七节 声波和超声波	(109)
三、频谱分析	(85)	一、声速、声压和声阻	(109)
四、两个同频率、互相垂直简谐振动的合成	(87)	二、声强、声强级和响度级	(111)
五、相互垂直不同频率简谐振动的合成	(89)	三、声波的反射和折射	(114)
第四节 简谐波	(90)	第八节 多普勒效应	(116)
一、机械波的产生	(90)	一、波源和观察者在其连线上运动	(116)
二、波的几何描述	(91)	二、波源和观察者的运动不在其连线上	(117)
三、波的频率、波长和波速	(91)	三、多普勒效应的应用	(118)
四、简谐波的波动方程	(92)	第九节 超声波及其医学应用	(119)
		一、超声波的产生和探测	(119)
		二、超声波的特性及其对物质的作用	(119)
		三、超声波在医学中的应用	(121)

第五章 生物热力学基础

第一节 热力学的基本概念	(126)	第二节 热力学第一定律	(129)
一、热力学系统	(126)	一、热力学第一定律的表达式	(129)
二、状态与过程	(127)	二、第一类永动机	(130)
三、功和热量	(128)	第三节 热力学第一定律的应用	(130)

第十一章 原子核和放射性核素成像的物理原理

第一节 原子核的基本性质	(283)	三、中子与物质的相互作用	(303)
一、原子核的组成	(283)	第五节 辐射剂量	(304)
二、原子核的质量	(284)	一、X射线和 γ 射线的照射量	(304)
三、原子核的大小	(285)	二、吸收剂量	(305)
四、原子核的角动量和磁矩	(285)	三、相对生物效应系数和剂量当量	(305)
五、原子核的稳定性	(286)	第六节 射线探测器	(306)
第二节 原子核的衰变	(288)	一、气体电离探测器	(307)
一、 α 衰变	(288)	二、闪烁探测器	(308)
二、 β 衰变	(289)	三、半导体探测器	(309)
三、 γ 衰变和内转换	(292)	四、热释光剂量计	(310)
四、衰变纲图	(293)	第七节 原子核技术在医学上的应用	(310)
第三节 放射性核素的衰变规律	(293)	一、放射治疗	(310)
一、衰变规律	(293)	二、射线成像	(311)
二、半衰期和平均寿命	(294)	三、射线分析	(311)
三、放射性活度	(294)	第八节 核医学影像技术	(312)
四、两级串连衰变	(296)	一、 γ 照相机	(312)
第四节 射线与物质的相互作用	(297)	二、正电子发射断层成像	(314)
一、带电粒子与物质的相互作用	(297)	三、SPECT成像	(315)
二、光子与物质的相互作用	(301)		

第十二章 光谱与激光在医学中的应用

第一节 光谱	(317)	第五节 激光	(329)
第二节 原子光谱	(318)	一、激光产生的原理	(329)
一、原子的光学光谱	(319)	二、氦氖激光器	(330)
二、标识伦琴射线谱	(319)	三、红宝石激光器	(331)
第三节 分子光谱	(320)	四、几种常见的医用激光器	(332)
一、分子光谱的特点与分子内部运动的 关系	(320)	五、激光的特点	(333)
二、分子的转动能级和转动光谱	(322)	第六节 激光的生物作用	(333)
三、分子的振动能级和振转光谱	(323)	一、热效应	(334)
四、分子的电子振转光谱	(324)	二、压强效应	(334)
五、红外吸收光谱	(325)	三、光化效应	(335)
六、光谱分析原理	(326)	四、电磁效应	(335)
第四节 红外线和紫外线	(327)	五、弱激光的刺激作用	(336)
一、红外线	(327)	第七节 激光的医学应用	(336)
二、紫外线	(328)	一、激光诊断与检测	(336)
		二、激光治疗	(338)

第十三章 X射线成像的物理原理

第一节 X射线的发现及其基本性质	(341)	三、X射线吸收的微观机制	(355)
一、X射线的发现	(341)	第四节 X射线在医学中的应用	(357)
二、基本性质	(342)	一、放射治疗	(357)
三、X射线的发生装置	(342)	二、临床诊断	(358)
四、X射线的强度和硬度	(344)	三、X射线断层摄影术	(359)
第二节 X射线谱	(345)	四、计算机断层摄影术(X-CT)	(360)
一、X射线谱的特性	(346)	第五节 X射线计算机断层摄影术	(361)
二、连续X射线谱	(347)	一、CT的成像原理	(362)
三、标识X射线谱	(349)	二、图像重建方法	(365)
四、X射线结构分析	(350)	三、CT装置	(370)
第三节 X射线的吸收	(350)	四、使用和分析	(373)
一、单色X射线吸收的宏观规律	(351)	五、CT的分类及扫描方式	(379)
二、连续X射线吸收的宏观规律	(354)		

第十四章 磁共振成像的物理原理

第一节 磁共振基本原理	(387)	二、 T_1 加权图像	(393)
一、在磁场中的原子核	(387)	三、 T_2 加权图像	(393)
二、拉莫尔关系式	(388)	第四节 MRI成像方法	(394)
三、核磁共振	(389)	一、自旋回波成像法	(394)
第二节 磁共振成像(MRI)	(389)	二、反转恢复成像法	(395)
一、磁共振成像	(389)	三、快速成像法	(395)
二、磁化和弛豫	(390)	第五节 核磁共振成像及医学应用	(396)
第三节 质子密度 T_1 、 T_2 加权图像	(392)	一、MRI的特点	(396)
一、质子密度加权图像	(393)	二、MRI的医学应用	(396)

第十五章 量子物理学基础

第一节 热辐射	(398)	二、光通量、发光强度与照度	(406)
一、基尔霍夫辐射定律	(398)	三、眼的视觉	(407)
二、黑体辐射定律	(400)	第四节 光的量子性	(409)
三、普朗克的量子假设	(401)	一、光电效应	(409)
四、热辐射在医学中的应用	(403)	二、爱因斯坦光电效应方程式	(411)
第二节 非温度辐射	(403)	三、光子的质量与动量	(411)
一、荧光、磷光和荧光分析	(404)	四、康普顿效应	(413)
二、荧光灯	(405)	第五节 微观粒子的波动性	(414)
三、紫外线灯	(405)	一、德布罗意波	(414)
第三节 光度学基础及眼的视觉	(405)	二、物质波的统计解释	(415)
一、辐射通量、视见度函数	(405)	三、测不准关系	(416)

第六节 波函数及薛定谔方程	(417)	四、电子的自旋	(423)
一、波函数	(417)	第八节 量子生物学简介	(424)
二、薛定谔方程的建立	(418)	一、量子生物学的基本方法	(424)
三、一维势阱中的粒子	(420)	二、能量指数和结构指数	(428)
第七节 类氢原子的能级	(421)	三、核酸的结构与功能	(429)
一、能量量子化	(422)	四、蛋白质的结构和性质	(432)
二、角动量量子化	(422)	五、量子生物学的其他研究实例	(433)
三、空间量子化	(422)		
主要参考文献	(438)		
习题答案	(439)		
附录	(446)		
附录 A 国际单位制	(446)		
附录 B 基本物理常数	(449)		

第一章

力学的基本定律

力学是研究物体机械运动规律及其应用的科学。力学是医学物理学和其他科学技术的基础。本章将重点介绍在变力的作用下,质点动力学的基本规律、刚体转动的基本规律、物体形变和弹性的基本规律以及狭义相对论的基本规律。

第一节 单位和量纲

一、单位

对于任何一个物理量,为了定量地描述它,必须选定一个基本量(fundamental quantity),这个基本量就是它的物理量单位(unit)。例如,长度用米(m)作单位,质量用千克(kg)作单位,时间用秒(s)作单位。

物理学的单位又分为基本单位和导出单位。基本单位是直接规定的,在国际单位制(SI)中,直接规定长度、质量和时间为力学基本量。米(m)、千克(kg)和秒(s)就是相应的力学基本单位。由基本单位导出的物理量单位统称为导出单位。力学中的其他物理量(如速度、加速度和力等)都为导出量,它们的单位(m/s, m/s², kgm/s²)就是导出单位。

二、量纲

表示一个物理量是由哪些基本量所组成的表达式称为该物理量的量纲式。在国际单位制中,用 L 、 M 和 T 分别表示长度、质量和时间这三个力学基本量的量纲。由此,任何导出量都可以用这三个基本量的某种组合表示出来:

$$[Q] = M^p L^q T^r \quad (1-1)$$

上式称为物理量 Q 的量纲式(dimension formula),其中指数 p, q, r 分别称为

物理量 Q 对质量、长度和时间的量纲指数。例如,速度、加速度、力和角度的量纲式分别为:

$$[v] = [s]/[t] = LT^{-1}$$

$$[a] = [v]/[t] = LT^{-2}$$

$$[F] = [m][a] = MLT^{-2}$$

$$[\varphi] = [s]/[r] = 1$$

——以上表明:速度对长度的量纲为 1,对时间的量纲为 -1,对质量的量纲为零。角度的量纲为零。量纲式还可以用于检验等式。

由于在较为复杂的等式中常常包含若干项物理量,因此,确定等式是否正确,检验等式中各项的量纲式是必不可少的步骤。例如,在自由落体运动中,落体的末速度为: $v = (2gh)^{1/2}$ 。该等式左边的量纲式为: LT^{-1} ,等式右边的量纲式为: $(L^2T^{-2})^{1/2} = LT^{-1}$ 。由此可见,该式两端各项的量纲是正确的。

第二节 质点的平面运动

一、参 照 系

为了描述某个物体的运动,首先要选定另一个物体(被看成相对静止的物体)或物体系统作为参考标准,如此的物体或物体系统称为参照系(frame of reference)。选择不同的参照系描述同一物体的运动,其结果是不相同的。参照系的选择要根据所研究对象的特点来确定。通常选用固定在地面的坐标系作为参照系来定量描述物体的运动。

二、位置矢量和位移

假设一个质点在 xOy 平面内沿着曲线 ABC 运动(图 1-1),在 $t = 0$ 的时刻,质点在 A 点,然后依次到达 B 、 C 等点。从坐标原点 O 分别指向 A 、 B 、 C 各点的矢量 OA 、 OB 、 OC 等称为各该时刻的位置矢量(position vector)。

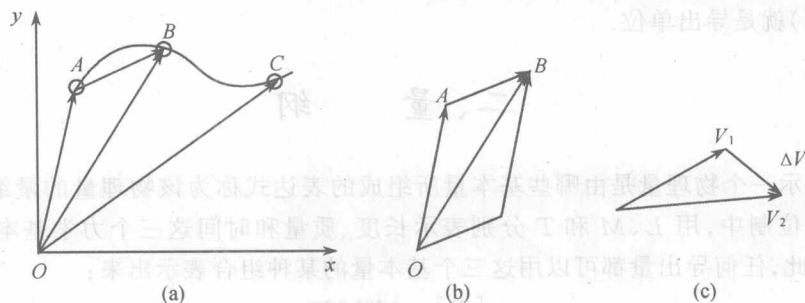


图 1-1 位置矢量和位移

从 A 到 B 画出的矢量 \mathbf{AB} 称为从 A 到 B 这一时间间隔内质点的位移 (displacement). 一般用 $\Delta \mathbf{s}$ 表示位移, 即 $\Delta \mathbf{s} = \mathbf{AB}$. 显然, 矢量 \mathbf{AB} 与 \mathbf{OA} 、 \mathbf{OB} 的关系为

$$\mathbf{OB} = \mathbf{OA} + \mathbf{AB}, \quad \mathbf{AB} = \mathbf{OB} - \mathbf{OA} \quad (1-2)$$

即位移矢量 \mathbf{AB} 是位置矢量的增量.

三、平均速度和瞬时速度

位移 \mathbf{AB} 与所经历的时间间隔 Δt 的比值 $\mathbf{AB}/\Delta t$ 称为该时间间隔内的平均速度, 即 $\bar{\mathbf{v}} = \mathbf{AB}/\Delta t$. 当时间间隔 Δt 趋近于零时, \mathbf{v} 的极限称为该时刻的瞬时速度, 简称速度 (velocity), 即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \mathbf{AB}/\Delta t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta \mathbf{s}/\Delta t = \frac{d\mathbf{s}}{dt} \quad (1-3)$$

速度是位移对时间的一阶导数. \mathbf{v} 是矢量, 它的方向与该时刻位移矢量的方向一致.

四、平均加速度和瞬时加速度

在一段时间间隔 Δt 之内, 速度的增量 $\Delta \mathbf{v}$ 与 Δt 的比值, 称为该时间间隔内的平均加速度, 即 $\bar{\mathbf{a}} = \Delta \mathbf{v}/\Delta t$. 当时间间隔 Δt 趋近于零时, \mathbf{a} 的极限称为该时刻的瞬时加速度, 简称加速度 (acceleration). 即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta \mathbf{v}/\Delta t = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{s}}{dt^2} \quad (1-4)$$

瞬时加速度是位移对时间的二阶导数. 瞬时加速度是矢量, 它的方向与该时刻速度增量矢量的方向一致.

五、法向加速度与切向加速度

在质点作曲线运动的情况下, 质点的加速度 \mathbf{a} 可分解为沿轨道切线方向的切向加速度 \mathbf{a}_t (tangential acceleration) 和沿轨道法线方向的法向加速度 \mathbf{a}_n (normal acceleration).

如图 1-2 所示, 总加速度 \mathbf{a} 是 \mathbf{a}_t 与 \mathbf{a}_n 的矢量和:

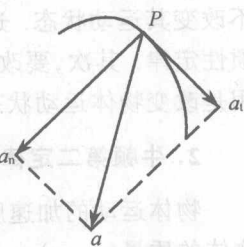


图 1-2 加速度的分解

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t; \quad a = (a_n^2 + a_t^2)^{1/2} = [(v^2/R)^2 + (dv/dt)^2]^{1/2} \quad (1-5)$$

六、匀加速直线运动

假设质点做匀加速直线运动, $t = 0$ 时, $v = v_0$, 由式(1-4)可得

$$dv = a dt \quad (1-6)$$