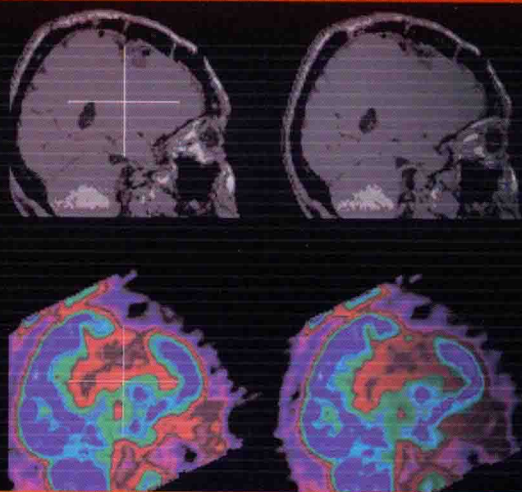


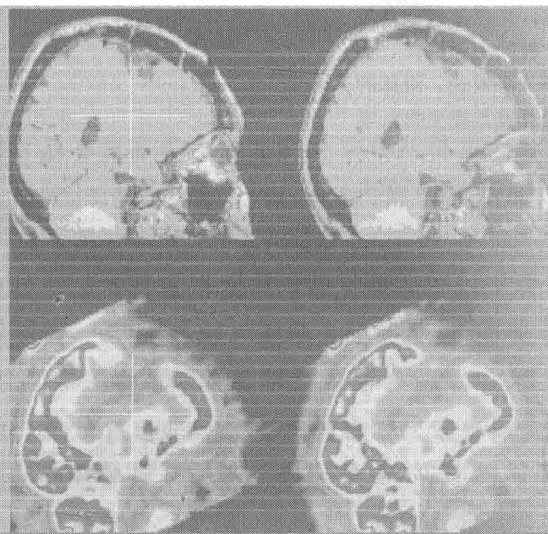


医用物理学

■ 主编 计晶晶 陈霞

非外借

高等教育出版社



医用物理学

YIYONG WULIXUE

- 主 编 计晶晶 陈霞
■ 副主编 陆改玲 何佳 鲍秀珍 张海霞
■ 编 委 (按姓氏笔画排序)



- | | |
|-----------------|----------------|
| 马兴星 (包头医学院) | 计晶晶 (包头医学院) |
| 石 磊 (内蒙古医科大学) | 李忠贤 (内蒙古医科大学) |
| 何 佳 (内蒙古医科大学) | 吉日木图 (内蒙古医科大学) |
| 陈 霞 (包头医学院) | 陆改玲 (包头医学院) |
| 张 磊 (内蒙古医科大学) | 张海霞 (内蒙古医科大学) |
| 周 灏 (包头医学院) | 周 涛 (内蒙古医科大学) |
| 罗利霞 (包头医学院) | 高云飞 (包头医学院) |
| 栾江宁 (内蒙古医科大学) | 姬宇程 (内蒙古医科大学) |
| 敖敦格日乐 (内蒙古医科大学) | 韩永平 (内蒙古医科大学) |
| 鲍秀珍 (内蒙古医科大学) | 薛 康 (内蒙古医科大学) |

内容提要

本书以提高学生的科学素质,培养学生科学思维的方法,引导学生掌握必备的物理知识为目标,在多年医科院校大学物理教学研究及实践的基础上,编写而成。本书既尊重物理学科自身的系统性,又充分考虑到医学院校各专业的特点。内容包括:刚体的定轴转动、骨的力学性质、血液的流动、振动与波动、超声及其在医学中的应用、狭义相对论、液体的表面性质、眼的屈光度、波动光学、量子力学基础、激光及其在生物医学中的应用、核磁共振与MRI等内容。

本书可作为高等院校医药类各专业教授大学物理课程使用,也可供生命科学类有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

医用物理学/计晶晶,陈霞主编. --北京:高等教育出版社,2016.9(2018.5重印)

ISBN 978-7-04-046350-7

I. ①医… II. ①计… ②陈… 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(2016)第198555号

策划编辑 王 硕
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 忻 蓓
责任校对 高 歌

封面设计 姜 磊
责任印制 田 甜

版式设计 于 婕

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 北京人卫印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 24
字 数 450千字
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.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2016年9月第1版
印 次 2018年5月第4次印刷
定 价 43.10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 46350-00

前 言

本教材是全国高等医药院校改革创新精品教材。适用于高等医学院校五年制本科临床、口腔、麻醉、预防、卫检、检验、影像、放射、药学等专业,也可供其他生物医学专业师生作为参考书使用。

本教材与以往的医用物理学教材相比有以下特色:

1. 按照“十三五”规划对医学人才的要求,总结了大量一线教师多年的教学实践和教学改革经验,强化了普通物理与生命科学的结合,更加注重基础知识与能力培养的统一。

2. 为了适应信息化时代发展及新时代学生阅读的习惯,首次进行数字化教材的尝试。课本中的图文以物理学框架和重点知识为主,同时加入了 flash 动画和微课视频等新形式,学生只需扫描课本相应部分的二维码,生动的内容即可显示在手机、平板电脑等移动终端上。数字化多媒体教学内容不仅能帮助学生加深对课本知识的理解,还能通过更多手段向学生展示科学技术的发展,紧跟学科发展的步伐,有助于学生进一步了解物理与医学结合的学科新进展,极大地开阔了眼界,同时在客观上对学生养成自主学习的习惯起到了促进作用。

3. 在确保物理学框架完整的基础上,教材内容更加适应实用性医学人才的培养需要。全书除了传统医用教材中的经典物理学的力、热、光、电磁四大分支,及现代物理学的相对论、量子力学等知识以外,还大量加入了物理学与医学相结合的内容,例如激光、X 射线等知识。

4. 本教材着重培养学生查阅文献的习惯,同时弥补了课程教学时数有限的不足,融入了物理学方法的介绍和训练,提升了学生分析问题、解决问题的能力。

5. 本教材充分发挥了多媒体传输“图、文、声、像”的特殊优势,依据医用物理学课程特点,借助多媒体技术和网络资源,丰富和延伸了纸质教材的教学内容。

本教材作为医学院校物理教学改革的一种尝试,得到了高等教育出版社和内蒙古教育厅、内蒙古医科大学、包头医学院的领导老师的支持和帮助,在此表示感谢。由于编者水平有限,时间比较仓促,书中的缺点和错误在所难免,望读者惠予指正。

主 编

2016 年 4 月

目 录

绪论	(1)
第一章 力学基本规律	(4)
第一节 质点运动学	(4)
第二节 质点动力学	(8)
第三节 动量守恒定律	(10)
第四节 功和能	(12)
第五节 刚体的转动	(17)
第六节 骨骼与肌肉的力学特征	(32)
第一章习题	(39)
第二章 相对论	(41)
第一节 伽利略变换	(41)
第二节 狭义相对论基本原理	(43)
第三节 狭义相对论的时空观	(47)
第四节 相对论动力学简介	(49)
第五节 广义相对论简介	(52)
第二章习题	(59)
第三章 流体的流动	(61)
第一节 理想流体的定常流动	(61)
第二节 理想流体的伯努利方程	(64)
第三节 黏性流体的流动	(69)
第四节 血液的流动	(74)
第三章习题	(77)
第四章 分子动理论	(79)
第一节 物质的微观结构	(79)
第二节 理想气体分子动理论	(81)
第三节 气体分子速率分布和能量的统计规律	(86)
第四节 液体的表面现象	(88)
第四章习题	(96)
第五章 热力学基础	(98)
第一节 热力学的基本概念	(98)

第二节 热力学第一定律	(101)
第三节 热力学第一定律的应用	(102)
第四节 循环过程 卡诺循环	(107)
第五节 热力学第二定律	(111)
第六节 热效应的医学应用	(114)
第五章习题	(116)
第六章 机械振动	(118)
第一节 简谐振动	(118)
第二节 阻尼振动、受迫振动、共振	(121)
第三节 简谐振动的合成	(124)
第四节 振动的医学应用	(128)
第六章习题	(132)
第七章 机械波和声波	(133)
第一节 机械波的产生及描述	(133)
第二节 波的能量与强度	(139)
第三节 波的叠加与干涉	(143)
第四节 声波	(148)
第五节 多普勒效应	(154)
第六节 超声波	(156)
第七章习题	(164)
第八章 静电场	(167)
第一节 电场、电场强度	(167)
第二节 静电场的高斯定理	(170)
第三节 电势	(175)
第四节 电偶极子和电偶层	(179)
第五节 静电场中的电介质	(182)
第六节 静电场的能量	(184)
第七节 人体内的电现象	(186)
第八章习题	(191)
第九章 直流电路	(194)
第一节 恒定电流	(194)
第二节 电源的电动势、一段含源电路的欧姆定律	(199)
第三节 基尔霍夫定律及其应用	(203)
第四节 温差电现象及其应用	(205)

第五节 电容器的充电和放电	(210)
第六节 直流电在医学中的应用	(214)
第九章习题	(216)
第十章 电磁感应	(221)
第一节 磁场、磁感应强度	(221)
第二节 电流对磁场的作用	(224)
第三节 磁场对电流的作用	(226)
第四节 磁介质	(229)
第五节 电磁感应	(232)
第六节 医学应用	(239)
第十章习题	(240)
第十一章 波动光学	(242)
第一节 光的干涉	(242)
第二节 光的衍射	(254)
第三节 光的偏振和旋光性	(262)
第四节 物质的旋光性	(268)
第十一章习题	(269)
第十二章 几何光学	(272)
第一节 几何光学的基本定律	(272)
第二节 球面折射	(273)
第三节 透镜成像	(278)
第四节 眼的光学系统	(284)
第五节 医用光学仪器	(289)
第十二章习题	(295)
第十三章 量子力学基础	(296)
第一节 玻尔的氢原子结构理论	(296)
第二节 实物粒子的波动性	(300)
第三节 不确定关系	(303)
第四节 波函数 薛定谔方程	(305)
第十三章习题	(308)
第十四章 激光	(309)
第一节 激光的产生原理	(309)
第二节 激光的特点	(315)
第三节 激光的应用	(317)

第四节 激光的危害与防护	(321)
第十四章习题	(323)
第十五章 X 射线	(324)
第一节 X 射线的产生	(324)
第二节 X 射线的强度与硬度	(326)
第三节 X 射线谱	(327)
第四节 X 射线的性质	(329)
第五节 物质对 X 射线的吸收规律	(330)
第六节 X 射线的医学应用	(332)
第十五章习题	(334)
第十六章 原子核及其放射性	(336)
第一节 原子核的基本性质	(336)
第二节 原子核的衰变类型	(340)
第三节 原子核的衰变规律	(344)
第四节 原子核反应	(350)
第五节 放射性核素在医学上的应用	(352)
第十六章习题	(355)
第十七章 磁共振成像	(357)
第一节 核磁共振的基本概念	(357)
第二节 核磁共振现象	(360)
第三节 磁共振成像的原理	(364)
第四节 MRI 的发展与应用	(366)
第十七章习题	(367)
附录 矢量的运算	(368)
参考文献	(372)

绪论

一、物理学的研究对象

物理学是研究物质内部结构和物质运动规律的一门基础学科,包括力学、热学、光学、电磁学、理论物理、近代物理等。我们周围所有的客观实在包括各种质量不为零的物体和粒子,静止质量等于零的中微子和光子及各种场都是物质。一切物质都在不停地运动和变化,因而运动是物质的固有属性。物理学研究的目的在于认识物质运动的客观规律及其具体原因。

物理学研究的领域非常广阔,空间尺度从小到质子的半径 10^{-15} m,到目前可观察到的最远类星体的距离 10^{26} m;时间尺度从最不稳定粒子的寿命 10^{-25} s,直到可达 10^{39} s 的质子的寿命。

物质运动的形式是极其多样的,宇宙中的一切自然现象都是物质运动的表现形式(这里指的是广义的运动)。物理学所研究的运动具体包括:机械运动、分子热运动、电磁运动、原子内部的运动、场与实物间的相互作用等。物理学所研究的运动普遍存在于其他复杂的、高级的物质运动之中。因此,物理学所研究的规律,具有最普遍、最基本的意义,所以物理学的知识成为其他自然科学不可缺少的研究基础。在古代自然科学尚未分类时,物理学几乎就是自然科学,随着科学的发展,出现了很多自然科学的分支,并陆续独立成一门门学科。又因为近代科学的迅猛发展和互相渗透,出现了和物理学直接有关的“边缘学科”,如物理化学、生物物理学、生物物理化学、量子化学、生物医学工程学、天体物理学等。物理学的理论和方法使化学得以深入发展,物理学与生物学相结合在生命科学方面取得了非常重要的成就。如 DNA 双螺旋结构的发现,及分子生物学、遗传工程的建立等,都与近代物理学的成就密切相关。可想而知,生命科学的发展是与物理学密切结合的。

二、物理学与生命科学的关系

医学是以人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逐步深入,生命科学和医学宏观形态进入了微观机制的研究,从细胞水平上升到分子水平的研究,并将其理论建立在精确的物理学基础之上。任何生命过程都与物理过程密切联系。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。大量事实证明,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,正在对阐明生命现象的本质不断做出新的贡献。

另一方面,物理学所提供的技术和方法已逐渐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 断层摄影术(CT),CT 与通常 X 线诊断相比,其灵敏度提高了近百倍.近场光学扫描显微镜可直接在空气、液体等自然条件下研究生物标本等样品,分辨率高达 20 nm,已用于研究单个分子,有望在医学领域获得重要应用.利用椭圆偏振光可以鉴定传染病毒和分析细胞表面膜.全息显微术在医学上应用也很广泛,磁共振成像(MRI)技术既能显示解剖学图像,又能显示反应功能、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.各种光纤内镜取代了刚性导管内镜,提高了疾病的诊断率,减轻了患者的痛苦.放射性在临床中主要用于癌肿治疗,针对常规外科手术来说,为困难的疾病和部位(如脑瘤)而设计的粒子手术刀已得到了推广,其中常用的有 X 光刀和 γ 光刀.快中子、负 π 介子和重离子治疗癌症也在进行,它们对某些抗拒 γ 射线的肿瘤有良好的效果,但是价格高昂,世界上已有许多实验室在临床使用.其次,粒子手术刀对许多功能性疾病如脑血管病、三叉神经病、麻痹、恶痛、癫痫等也有很好的疗效.另外,利用放射性可对医疗用品、器械进行辐射消毒,具有杀菌彻底、操作简单等优点.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和调节,而且还可用于辅助诊断、自动监护和医院管理.在研究生物大分子本身的结构、构象、能量状态和变化,及这些状态的变化与功能之间的关系时,除了应用物理学中的量子力学外,还普遍应用了物理学中的各种光谱和波谱技术,如电子自旋共振谱、次共振谱、激光拉曼光谱、元二色术、旋光色散、红外光谱、荧光偏振、X 射线衍射、光散射及激光全息等物理技术.

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手段.反过来,生命科学的发展,又不断地向物理学提供新的研究课题,两者互相促进、相辅相成.总之,物理学与生命科学的关系可归结为两个主要方面: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.

在高等医学院校开设的医用物理学是一门重要的必不可少的课程,在现代化的医院中随处可见应用物理原理或技术的先进诊疗设备,要开发仪器的使用功能并正确操作这些仪器,弄清影像上的物理信息与人体组织及功能的关系,医生及医务工作者不仅要掌握物理学知识,而且要具有一定的把物理学知识和技术应用于医疗实践的能力,特别是近代物理和实验技术在医学中应用的知识.

医学科技的发展离不开交叉学科的发展,不难发现在医学科技发明者和获奖者中,不仅有物理学家还有喜欢物理的医生.学科交叉的意义在于开拓创新造福人类.

三、物理学研究方法及其科学思维

大学物理学是在学术层次上讲授物理学理论和进行物理学实验,可以更好地体现物理学研究方法.对物理学及科学思维和研究方法的了解,不仅有助于学生对物理学和其他学科的学习,使其具备高级医学卫生人才所应有的理科素质,而且有助于启迪学生的思维.各门科学的研究方法都是遵循“实践——理论——实践”的认识法则.具体地说,物理学研究方法包括观察、实验、假说和理论各个环节.观察和实验所获得的大量资料是理论依据.理论是从几条基本原理出发,说明一定范围内的各种物理现象,并且能在一定程度上预言未知现象,指导进一步的实践.

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的创新思维,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,具有很强的迁移和再生能力.物理学研究方法系统、新颖,创新思维层出不穷.对大学生来说,学好物理学能很好地构建和提高自己的知识结构和创新能力.

第一章 力学基本规律

力学是物理学的基础,它的范围十分广阔,可以作为学习医学的物理基础.本章对中学内容只是简要概述,重点讲述大学物理所涉及的方法和思路,从微积分的角度重新认识力学的基本概念,如力、功、能、牛顿运动定律、动量守恒定律和能量守恒定律等.结合应力、应变的概念,简单应用力学知识解释骨骼和肌肉的力学原理.

第一节 质点运动学

一、质点

任何物体都有独特的大小、形状、结构.当物体运动时,物体上各点的运动状态不一定完全相同,而且大小和形状也会发生不同程度的变化,不便于问题的研究.所以当物体的形变以及各点运动状态差异较小,且对问题的研究影响很小可以忽略时,就可以把物体抽离为一个只有质量而忽略它的大小和形状的几何点,称为质点(mass point).例如,火车在平直的轨道上跑长途时,可以看成质点,而当火车在弯道转弯时,就必须考虑它的形状,不能再看成质点.所以,一个物体能否在运动中被视为质点,取决于所研究问题的性质.

质点是从实际问题中抽离出来的理想模型,大大简化了问题的复杂性,今后我们还会遇到其他理想模型.这是物理学中常用的科学思维方法,只要满足问题研究的精度需求,都可以采取这种理想模型的方法.

二、参考系和坐标系

在自然哲学中,不存在绝对静止的物体,所有的物体都处于相对的运动当中,所以,对于物体运动的描述是相对的,想要准确地描述一个物体的运动状态就需要选定另外的物体进行参考,那么这一选定的物体或者物体系就称为参考系.

同一物体,通过不同的参考系对它进行描述,往往有不同的运动状态.例如“两岸猿声啼不住,轻舟已过万重山”这句古诗中的轻舟,如果参考系选为两岸的青山,那么它就是运动的,如果参考系选为轻舟上的人,那么它就是静止的.这就是运动的相对性.

一般来说,参考系的选择是任意的,通常我们以运动描述简洁的原则进行选取.在本书中,我们所研究的物体多数选取地球为参考系,其他情况会特别做出说明.

选定参考系后,能够描述物体的运动状态,想要进一步定量地描述物体运动,我们需要在选定的参考系上建立一个坐标系. 坐标系有直角坐标系、极坐标系、柱坐标系、球坐标系、自然坐标系等. 平时最常用的是直角坐标系(x, y, z),坐标系选取的合适能够简化计算,但物体的运动形式与坐标系的选取是毫无关系的.

三、位置矢量与直角坐标系

为了定量地描述某一时刻物体在参考系中的位置,就需要建立合适的坐标系,我们以最常用的直角坐标系为例,定量地描述物体的位置. 假设物体对于所研究的问题可以看成质点,如图 1-1 所示,质点在直角坐标系中 P 点的位置可以用 P 点的坐标(x, y, z)来确定. 也可以

用有向线段 $\overrightarrow{OP}$ 来表示,写做 $\mathbf{r} = \overrightarrow{OP}$,矢量 $\mathbf{r}$ 称为位置矢量,简称位矢(position vector).

质点在直角坐标系的三个坐标(x, y, z)是位矢 $\mathbf{r}$ 沿 x, y, z 三个坐标轴的投影. 分别用 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 来表示三个坐标轴正方向的单位矢量, $\mathbf{r}$ 表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-1)$$

$$\text{大小为 } |\mathbf{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-2)$$

图 1-1 中 α, β, γ 分别表示位矢 $\mathbf{r}$ 与 x, y, z 三个坐标轴正方向的夹角.

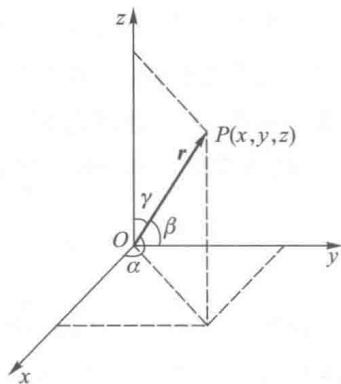


图 1-1 直角坐标系

质点运动时,位矢 $\mathbf{r}$ 是时间的函数,即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-3)$$

式(1-3)称为质点的运动方程.

四、位移、速度、加速度

1. 位移

设质点沿一曲线 MN 运动,位于 P_1 点时位矢为 $\mathbf{r}(t)$, P_2 点位矢为 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$,如图 1-2 所示. 在 Δt 时间间隔内质点位矢的大小和方向都发生了变化,质点在这段时间内的位置变化用矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 来表示,方向由 P_1 指向 P_2 ,则 $\Delta \mathbf{r}$ 称为质点在 Δt 时间内的位移(displacement).

位移是矢量,既有大小又有方向,大小为从 P_1 指向 P_2 的直线距离,方向由 P_1 指向 P_2 . 位矢描述的是质点在某一时刻的位置,而位移描述的是一段时间间隔内质点位置的变化.

如图 1-2 所示,质点在这段时间内经过的路径用 Δs 来表示,是标量,通常情况下,位移的大小与路程并不相同. 位移的大小用 $|\Delta \mathbf{r}|$ 来表示,不能写成 Δr .

2. 速度

设质点做曲线运动,在时间间隔 Δt 内,通过的位移为 $\Delta \mathbf{r}$,则二者的比值称为平均速度,用 $\bar{\mathbf{v}}$ 来表示,即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-4)$$

路程 Δs 与时间间隔 Δt 的比值称为平均速率,用 $\bar{v}$ 来表示,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-5)$$

二者通常也不相等.

实际生活中,用平均速度来描述物体的运动不够精确,所以我们引入瞬时速度这个物理量. 对于式(1-4)来说,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速度趋向于一个极限值,这个极限值我们就称之为瞬时速度,简称为速度(velocity),用 $\mathbf{v}$ 来表示,即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-6)$$

如图 1-3 所示,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, P_2 点无限趋近于 P_1 点, $\Delta \mathbf{r}$ 的方向最终与曲线在该点的切线方向一致,所以,任意时刻的瞬时速度,是该时刻质点所在处曲线的切线,并且指向运动的方向.

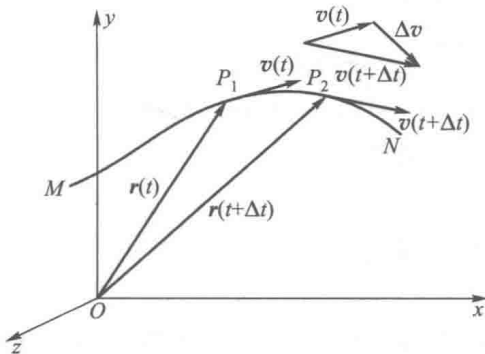


图 1-3 质点的运动速度

瞬时速度的大小叫做速率. 根据上面瞬时速度的定义,因为弧长 Δs 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情形下和 $|\Delta \mathbf{r}|$ 相等,所以速率可以表示为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-7)$$

3. 加速度

当质点运动的速度大小或方向发生变化时,均表示速度发生了变化,为了

描述速度的变化,我们引入加速度这个物理量.

设质点沿一曲线 MN 运动,位于 P_1 点时位矢 $\mathbf{r}(t)$,速度为 $\mathbf{v}(t)$, P_2 点位矢为 $\mathbf{r}(t+\Delta t)$,速度为 $\mathbf{v}(t+\Delta t)$,如图 1-3 所示,速度增量与时间间隔的比值称为平均加速度,用 $\bar{\mathbf{a}}$ 来表示,即

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{v}(t+\Delta t) - \mathbf{v}(t)}{\Delta t} \quad (1-8)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均加速度趋向于一个极限值,这个极限值我们就称为瞬时加速度,简称为加速度 (acceleration),用 $\mathbf{a}$ 来表示,即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1-9)$$

又写做

$$\mathbf{a} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-10)$$

加速度是速度对时间的一阶导数,是位移对时间的二阶导数.

例题 1-1 如图 1-4 所示,河岸上有人在高 h 处通过定滑轮以匀速收绳拉船靠岸. 求船在距岸边为 s 处时的速度和加速度.

解: 设小船到岸边距离为 s ,绳子长度为 l ,则有

$$l^2 = h^2 + s^2$$

由此解得 $s = \sqrt{l^2 - h^2}$

小船的速度为

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{dl} \cdot \frac{dl}{dt} = -v_0 \frac{l}{s}$$

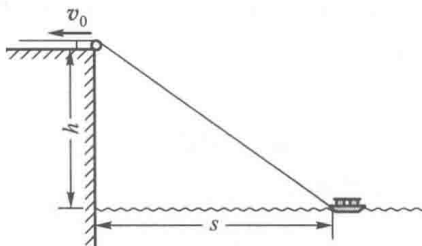


图 1-4 例题 1-1 图示

上式中 $\frac{dl}{dt} = -v_0$, 负号表示绳子的长度是缩短的.

小船的加速度为

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(-v_0 \frac{l}{s} \right) = -v_0 \frac{s^2 - l^2}{l s^2} v = -\frac{h^2 v_0^2}{s^3}$$

五、曲线运动

前面讲过,加速度 $\mathbf{a}$ 既反映速度数值的变化,又反映速度方向的变化,可以将加速度 $\mathbf{a}$ 分解为两个分量,一个沿切线方向,叫做切向加速度,用 $\mathbf{a}_t$ 表示,只反映速度数值的变化,另一个沿法线方向,叫做法向加速度,用 $\mathbf{a}_n$ 表示,只反映速度方向的变化,如图 1-5 所示.



视频: 过山车

下面我们直接给出两个分加速度的数值. 切向加速度的数值为

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} \quad (1-11)$$

即质点在时刻 t 的法向加速度的数值, 等于该时刻速度数值的平方除以曲线在该点的曲率半径, ρ 表示该曲线的曲率半径, 是该点曲率的倒数.

切向加速度的数值为

$$a_t = |a_t| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (1-12)$$

加速度与切向加速度和法向加速度之间的关系为

$$a^2 = a_n^2 + a_t^2 \quad (1-13)$$

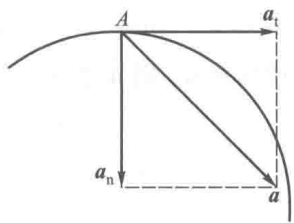


图 1-5 曲线运动的加速度

第二节 质点动力学

前一节我们讨论了质点的运动学, 即如何描述质点的运动. 本节研究质点运动状态变化的原因, 即质点在力的作用下其运动状态变化的内在规律. 动力学的基本定律为牛顿三定律, 以此为基础的动力学理论称为牛顿力学或经典力学.

一、牛顿三定律

1. 牛顿第一定律

第一定律可表述如下: 任何物体都保持其静止或匀速直线运动状态, 直到其他物体的作用迫使它改变这种状态为止.

第一定律阐明了两个重要概念: 力和惯性. 力是物体之间的相互作用. 力是改变物体运动状态的原因, 若想要改变物体的运动状态, 必须在物体上施加作用力, 如果物体同时受几个力的作用, 而合力为零, 那么它的运动状态也不改变. 物体具有保持静止或者匀速直线运动状态不变的性质, 称为惯性, 惯性大小的量度为质量. 因此, 第一定律也叫做**惯性定律**.

2. 牛顿第二定律

当物体受力合力不为零时, 物体的运动状态将会发生改变, 如何改变就是牛顿第二定律阐述的内容. 牛顿第二定律确定了力、质量和加速度之间的关系. 设物体的质量为 m , 某时刻的运动速度为 v , 则质量与速度的乘积称为物体的**动量** (momentum), 用 p 表示, 即

$$p = mv \quad (1-14)$$

动量是一个矢量, 方向与速度方向相同. 物体所受合力不为零的时候, 动量会

发生变化. 牛顿第二定律表明, 动量为 p 的物体在合外力 F 的作用下, 存在下面的关系式

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} \quad (1-15)$$

即牛顿第二定律的数学表达式, 表示力与动量变化率之间的定量关系.

在宏观低速环境下, 物体的质量可以认为是不变的, 式(1-15)可以写成

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma \quad (1-16)$$

式(1-16)是大家比较熟悉的牛顿第二定律的表达式.

上式表明: 任何物体所获得的加速度的大小与物体所受合外力的大小成正比, 与物体的质量成反比, 加速度的方向与合外力的方向相同.

3. 牛顿第三定律

牛顿第三定律表述为: 当物体 A 对物体 B 施加作用力时, 物体 B 也必定同时对物体 A 施加一个反作用力; 两者大小相等, 方向相反, 作用在同一条直线上(图 1-6), 即

$$F = -F' \quad (1-17)$$

准确理解牛顿第三定律, 需要注意以下几点:

- (1) 作用力和反作用力一定是大小相等, 方向相反的, 同时出现同时消失;
- (2) 作用力和反作用力不能互相抵消, 它们分别作用在两个不同的物体上;
- (3) 作用力和反作用力属于相同性质的力.

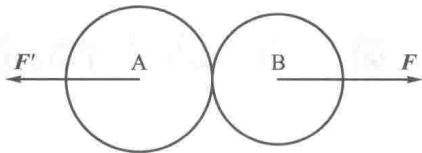


图 1-6 作用力和反作用力

4. 牛顿运动定律的适用范围

我们将牛顿运动定律成立的参考系称为惯性系, 牛顿运动定律不成立的参考系称为非惯性系. 相对于惯性系做匀速直线运动的参考系, 牛顿运动定律也是适用的. 对于宏观高速运动的物体, 牛顿运动定律不能作出很好的解释, 需要相对论力学去解决.

二、单位制和量纲

1. 基本量和基本单位

当长度和时间的单位确定后, 如速度、加速度等单位可以从定义中导出, 当质量和加速度的单位确定后, 力的单位亦可从牛顿第二定律中导出. 为了方便描述各物理量, 通常选择几个物理量作为基本量和基本单位. 目前我国采用的国际单位制中, 力学基本量是: 长度(l)、质量(m)和时间(t), 其基本单位



文档: 牛顿