

Physics

物理学简明教程

(第二版)

主编 马文蔚 周雨青
副主编 程庆华 陈国庆

非外借

高等教育出版社

物理学简明教程

(第二版)

主编 马文蔚 周雨青
副主编 程庆华 陈国庆



Physics

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是参照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)编写而成的,其中A类核心内容的知识点选有67个,B类扩展内容的知识点选有6个。本书在保持物理学基本系统性不变的前提下,减少知识点布局,简化理论推导程序,突出知识点引导,强化知识点串接,重视教学内容的现代化和实用性,语言简洁明了。本书适用于70学时左右的大学物理课程的教学需求。

本书一册共九章,每章配有章首问题、章末解答和章末总结。本书配有丰富的数字化教学资源,供学生和教师选用。

本书可作为高等学校理工科类学生的大学物理课程教材,也可供社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

物理学简明教程 / 马文蔚, 周雨青主编. -- 2版

. -- 北京: 高等教育出版社, 2018.9

ISBN 978-7-04-050645-7

I. ①物… II. ①马… ②周… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第217764号

wulixue Jianming Jiaocheng

策划编辑 张海雁

责任编辑 张海雁

封面设计 李小璐

版式设计 杜微言

插图绘制 于博

责任校对 窦丽娜

责任印制 耿轩

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 北京鑫海金澳胶印有限公司
开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 22.5
字 数 550千字
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 2012年12月第1版
2018年9月第2版
印 次 2018年9月第1次印刷
定 价 45.60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 50645-00

物理学 简明教程

(第二版)

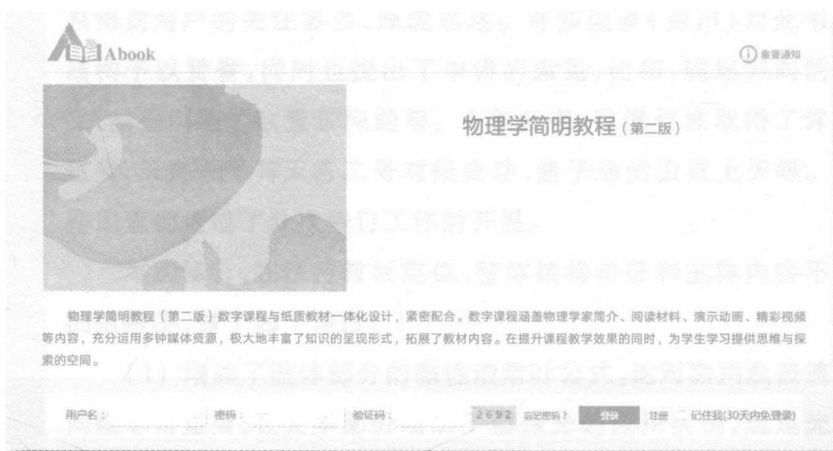
主 编 马文蔚

周雨青

副主编 程庆华

陈国庆

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1255761>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用



物理学家简介



阅读材料



演示实验



照片说明

<http://abook.hep.com.cn/1255761>

第二版前言

一转眼《物理学简明教程》第一版已面世4年有余。4年多来得到用户的关注多多、厚爱连连。许多读者(用户)对此书的结构予以赞誉,同时也提出了中肯的意见,比如,磁场方向的定义、某些例题的数量级问题等。4年多来,我国科技取得了许多进展,天舟一号与天宫二号对接成功、量子通信卫星上天等。这些因素都促成了此次修订工作的开展。

本次修订,在保持教材定位、整体结构特征和主体内容不变的前提下,做了如下修改:

(1) 增添了流体部分的黏性泊肃叶公式,这对医用血液流动问题非常重要;在光学部分增加了偏振光的应用实例,这是光学中最重要的应用之一。同时在光的干涉内容中提到了新近发现的引力波与干涉仪的关系,恰应了2017年诺贝尔物理学奖的景。

(2) 减少和更换了电磁学章节中的部分例题和章节练习。

(3) 更换和增添了书中的部分插图,比如,用天舟一号替代了神舟,增添了“墨子号”量子卫星等。

(4) 修改了一些内容的叙述,使其更加简练和精准。

(5) 增加了全书附加信息量,全书以视频、文档、动画等形式,展现了教材中因篇章所限的各种信息资源,极大地丰富了教材内涵。

教材编写分工仍维持原分工不变,即陈国庆负责第五章和第八章的修订,程庆华负责第六章和第七章的修订,周雨青负责第一、第二、第三、第四章和第九章的修订,并做全书的统稿工作。

全书仍得到马文蔚教授的亲临指导,马老师认真阅读了修改提纲并提出中肯意见。此外,修订工作还一如既往地受到高等教育出版社的大力支持,他们在附加信息工作中给予全书倾心支

持,可以说,没有他们的帮助就不会有如此齐全的信息资源的添加。

一并感谢多年来支持我们工作的所有同仁和读者。你们的关注和鼓励,才是我们兢兢业业工作的不竭之源。

周雨青

2017年10月

第一版前言

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用和相互转化规律的科学,是在人类探索自然奥秘的过程中逐渐形成的一门学科。物理学最初是从对机械运动规律的研究发展起来的,后来又研究热现象的规律,研究电磁现象、光现象以及辐射的规律。到 19 世纪末,物理学已经形成一个完整的体系,被称为经典物理学。在 20 世纪初的 30 年里,物理学经历了一场伟大的革命,相对论和量子力学诞生了,从此产生了近代物理学。

物理学是自然科学的基础,在探讨物质结构和运动基本规律的进程中,每一次重大的发现和突破都引发了新领域、新方向的发展,甚至产生了新的分支学科、交叉学科和新的技术学科。在过去的 100 年间,从物理学中分化出了大量的学科,如力学、热学、光学、声学等,其中激光、无线电、微电子、原子能等现在都已经形成了独立学科。尽管物理学是一门古老的基础性学科,但是物理学对今天乃至未来的人类生活和科技发展都有着重要、紧密的联系,上至“神舟”上天,下至石油钻探,大到宇宙奥秘的探索,小到计算机里的芯片,都离不开物理学。甚至过去看似和自然科学无关的经济、金融、政治等领域,现在也有人用物理学的方法进行研究,并取得令人赞许的成就。在 2000 年,美国工程院评选出 20 项 20 世纪最伟大的工程,其中采用的技术大部分都直接或间接跟过去 300 年间物理学的发现有关系。这 20 项工程首先是电气化、汽车、飞机、自来水系统、微电子、无线电广播和电视,其次是农业机械化、计算机、电话、空调和冰箱、高速公路、卫星、因特网、摄影,然后是家用电器、医疗技术、石油和石油化工、激光和光纤、核技术、高性能材料。2005 年是联合国命名的“国际物理

年”，这也是联合国历史上第一次以单一学科命名的国际年。这些都说明物理学是人类知识宝库中的重要内容。

本书是继《物理学》(第五版)、《物理学教程》(第二版)之后的又一部教材,是为70学时左右的少学时大学物理学课程编写的。力求在保持必要的系统性的同时,删繁就简、压缩篇章,科学准确、易教易学。使学生能对物理学的各种物质运动的基本规律、概念和方法有较全面的掌握和理解。

为帮助学生学好大学物理课程,我们在教材的结构和编排上作了如下尝试:

(1) 每章设有“章首问题”,以引起学生的学习兴趣 and 求知欲,章末有解答,有画龙点睛之效。

(2) 章内的例题有“分析”“解答”“注意”和“拓展”四个环节,使例题更丰满,以凸显例题之作用。

(3) 每节末设有“本节练习”,以及时巩固所学内容。

(4) 每章末有“总结”,梳理全章线索。

(5) 全书减少了大量的推导演绎过程,而突出物理结论和应用方法,以增强实用性。

此外,本书仍沿袭《物理学》和《物理学教程》的做法,在强调物理学的基础性和重要性的同时增强应用性,以附注的方式在教材中多处列出了配套的教学参考书《物理学原理在工程技术中的应用》(第三版)中的有关专题,供教师和学生选择阅读。本书的思考题与习题数量和难易度皆与教材相适应。

按教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),本书在74个A类核心内容的知识点中选有67个,覆盖面达91%;在51个B类扩展内容的知识点中选有6个,涵盖12%。

本书一册共九章,由马文蔚、周雨青主编。马文蔚提出了一些有关教材的章节安排、结构、特点以及写作风格等方面的建议。全书第一章至第四章和第九章由周雨青编写,第五章和第八章由陈国庆编写,第六章和第七章由程庆华编写。东华大学汤毓骏教授审阅了全书。

本教材在编写过程中得到许多兄弟院校教师的帮助,他们在

多方面为教材编写提供了有益和宝贵的建议。同时,高等教育出版社物理分社的编辑对本书的编写给予了大力支持,编者在此对他们表示衷心的感谢。

马文蔚

2012年6月

目 录

第一章 质点的运动及其运动定律	1	习题	66
1-1 质点运动的描述	2		
1-2 圆周运动	8		
* 1-3 相对运动	12		
1-4 牛顿定律	15		
总结	24		
问题	25		
习题	25		
第二章 动量守恒定律和能量守恒定律	28		
2-1 质点和质点系的动量定理 动量守恒定律	29		
2-2 动能定理 保守力与非保守力 能量守恒定律	33		
* 2-3 火箭飞行原理 宇宙速度	41		
总结	44		
问题	45		
习题	45		
第三章 刚体与流体	48		
3-1 刚体的定轴转动	49		
3-2 刚体定轴转动的角动量 角动量定理 角动量守恒定律	56		
* 3-3 流体 伯努利方程 泊肃叶方程	59		
总结	65		
问题	66		
第四章 机械振动与机械波	68		
4-1 简谐振动 旋转矢量 简谐振动的能量	69		
4-2 两个同方向同频率简谐振动的合成	79		
* 4-3 阻尼振动 受迫振动 共振	81		
4-4 机械波	83		
4-5 惠更斯原理 波的衍射和干涉	91		
* 4-6 多普勒效应	99		
总结	104		
问题	106		
习题	106		
第五章 气体动理论和热力学	111		
5-1 平衡态 理想气体物态方程 热力学第零定律	112		
5-2 气体分子热运动及其统计规律	115		
5-3 理想气体的压强公式 平均平动动能与温度的关系	123		
5-4 能量均分定理 理想气体的内能	128		
5-5 准静态过程 热力学第一定律	130		
5-6 理想气体的等值过程和绝热			

过程	134	7-8 * 位移电流 * 电磁场基本	
5-7 循环过程 热力学第二定律	141	方程的积分形式 电磁振荡	
* 5-8 熵 熵增加原理	148	和电磁波	245
总结	154	总结	254
问题	155	问题	256
习题	155	习题	257
第六章 静电场	159	第八章 光学	261
6-1 电场强度	160	8-1 几何光学简介	262
6-2 高斯定理	167	8-2 光的干涉	271
6-3 静电场的环路定理 电势	174	8-3 光的衍射	282
6-4 静电场中的导体	184	8-4 光的偏振	293
6-5 电容 电场的能量 电介质的		总结	300
相对电容率	187	问题	303
总结	196	习题	304
问题	198		
习题	198	第九章 近代物理简介	307
 		9-1 狭义相对论的基本概念	308
第七章 恒定磁场和电磁感应	201	9-2 量子假设 光的波粒二象性	317
7-1 恒定电流 电流密度		9-3 氢原子的玻尔理论	325
电动势	203	9-4 德布罗意波 实物粒子的	
7-2 磁感强度 毕奥-萨伐尔定律		二象性	332
磁场的高斯定理	207	总结	338
7-3 洛伦兹力 安培力	214	问题	339
7-4 安培环路定理 磁介质的		习题	339
磁导率	223		
7-5 电磁感应定律	229	习题答案	342
7-6 动生电动势和感生电动势	234		
7-7 自感和互感 磁场能量	240	照片说明	346

第一章 质点的运动及其运动定律

物理学是研究物质最普遍、最基本的运动形式和规律的一门基础学科,这些运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核运动以及其他微观粒子运动等.机械运动是这些运动中最简单、最常见的运动形式,其基本形式有平动和转动.在平动过程中,若物体各点的位置没有相对变化,那么各点所移动的路径完全相同,可用物体上任一点的运动来代表整个物体的运动.在力学中,研究物体的位置随时间而改变的内容称为质点运动学,研究物体运动状态变化的原因,则涉及物体的受力.以牛顿定律为基础建立的宏观物体运动规律,称为质点动力学.

本章主要内容为:位置矢量、位移、速度和加速度、质点的运动方程、切向加速度和法向加速度、相对运动、牛顿定律、常见的力以及牛顿定律的应用.

章首问题

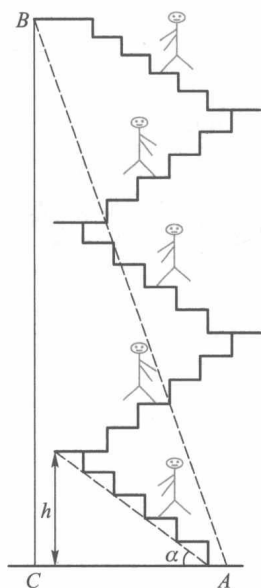
楼层高度为 h 的百货商场,电动扶梯的倾角为 $\alpha = 45^\circ$,如图所示.某顾客从一楼随扶梯的运动上到六楼,此人由一楼扶梯端口 A 到六楼扶梯端口 B 的位移大小和方向是

(1) 位移大小为一楼至六楼的垂直高度 $BC = 5h$,方向为垂直向上.

(2) 位移大小为一楼至六楼的扶梯总长 $s = 5\sqrt{2}h$,方向为 α 角倾斜向上.

(3) 位移大小为一楼端口 A 至六楼端口 B 的连线长 $AB = \sqrt{26}h$,方向沿连线向上.

(4) 位移大小为一楼端口 A 至六楼端口 B 的水平投影点 C 之间的连线长 $AC = h$,方向沿 AC .



1-1 质点运动的描述

一 参考系 质点

1 参考系

在自然界中所有的物体都在不停地运动,绝对静止不动的物体是没有的.在观察一个物体的位置及位置的变化时,总要涉及和其他物体的相互关系,所以,要选取其他物体作为标准,选取的参考物不同,对物体运动情况的描述也就不同.不同的描述反映了物体相互之间的不同关系.这就是运动描述的相对性.

为描述物体的运动而选的参考物叫做参考系.参考系的选择是任意的,但不同的参考系对同一物体运动情况的描述是不同的.因此,在讲述物体的运动情况时,必须指明是对什么参考系而言的.在讨论地面上物体的机械运动时,通常选地球作为参考系.

2 质点

物体都有大小和形状,运动方式又都各不相同.例如,在太阳系中,行星除绕自身的轴线自转外,还绕太阳公转;从枪口射出的子弹,它在空中向前飞行的同时,还绕自身的轴转动;有些多原子分子,除了分子的平动、转动外,分子内各个原子还在振动.这些事实都说明,物体的运动情况是十分复杂的.物体的大小、形状、质量也都是千差万别的,下面列出了某些物体质量和长度的数量级:

	质量 m/kg		长度 l/m
电子质量	10^{-30}	原子核的半径	10^{-15}
质子质量	10^{-27}	原子的半径	10^{-10}
血红蛋白质量	10^{-22}	病毒的线度	10^{-7}
流感病毒质量	10^{-19}	人的身长	10^0
雨滴质量	10^{-6}	珠穆朗玛峰的高度	10^4
人的质量	10^1	地球半径	10^7
神舟八号质量	10^4	太阳半径	10^9
金字塔质量	10^{10}	太阳系半径	10^{13}
地球质量	10^{24}	地球与最近恒星的距离	10^{16}
太阳质量	10^{30}	银河系的尺度	10^{21}
银河系质量	10^{41}		



动画:物体运动的相对性

一般说来,物体的大小和形状的变化,对物体的运动是有影响的.但在有些问题中,如能略去这些影响,就可以把物体当作一个有质量的点(称为质点)来处理,这样将使所研究的问题大大简化.所以说,质点是一个理想模型.

质点是经过科学抽象而形成的物理模型.把物体当作质点为的是突出主要矛盾,所以是有条件的、相对的,而不是无条件的、绝对的,因而对具体情况要作具体分析.例如研究地球绕太阳公转时,由于地球至太阳的平均距离约为地球半径的 10^4 倍,故地球上各点相对于太阳的运动可以看作是相同的,所以在研究地球公转时可以把地球当作质点.但是,在研究地球自转时,就不能再把地球当作质点处理了.

应当指出,把物体抽象为质点的研究方法,在实践上和理论上都是有重要意义的.即使我们所研究的运动物体不能视为质点时,仍可把整个物体看成是由许多质点组成的,弄清这些质点的运动,就可以弄清楚整个物体的运动.所以,研究质点的运动是研究物体运动的基础.

在本书有关力学的各章中,除刚体与流体一章外,都是把物体当作质点来处理的.

二 位置矢量 运动方程 位移

1 位置矢量

在参考系选定以后,为定量地描述质点的位置和位置随时间的变化,须在参考系上选择一个坐标系.坐标系有直角坐标系、极坐标系和自然坐标系等.在如图 1-1 所示的直角坐标系中,在时刻 t ,质点 P 在坐标系里的位置可用位置矢量 $\boldsymbol{r}(t)$ 来表示.位置矢量简称位矢,它是一个有向线段,其始端位于坐标系的原点 O ,末端则与质点 P 在 t 时刻的位置相重合.从图 1-1 中可以看出,位矢 \boldsymbol{r} 在 Ox 轴、 Oy 轴和 Oz 轴上的投影(即质点的坐标)分别为 x 、 y 和 z .所以,质点 P 在 $Oxyz$ 的直角坐标系中的位置,既可用位矢 \boldsymbol{r} 来表示,也可用坐标 x 、 y 和 z 来表示.如取 \boldsymbol{i} 、 \boldsymbol{j} 和 \boldsymbol{k} 分别为沿 Ox 轴、 Oy 轴和 Oz 轴的单位矢量,那么位矢 \boldsymbol{r} 亦可写成

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

其值为

$$|\boldsymbol{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

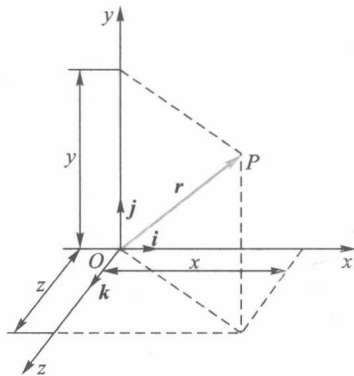


图 1-1 位置矢量

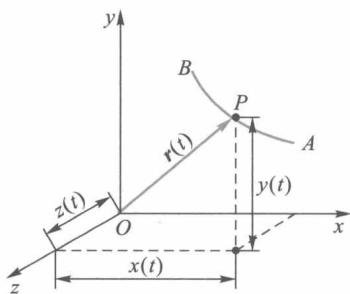


图 1-2 运动方程

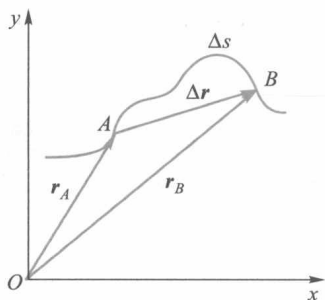


图 1-3 位移矢量

2 运动方程

当质点运动时,它相对坐标原点 O 的位矢 \boldsymbol{r} 是随时间而变化的(图 1-2),因此, \boldsymbol{r} 是时间的函数,即

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k} \quad (1-2)$$

式(1-2)叫做质点的运动方程;而 $x(t)$ 、 $y(t)$ 和 $z(t)$ 则是运动方程的分量,从中消去参量 t 便得到了质点运动的轨迹方程,所以它们也是轨迹的参量方程.应当指出,运动学的重要任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程.关于这一点我们将在后面作较详细的论述.

3 位移

在如图 1-3 所示的 Oxy 平面直角坐标系中,有一质点沿曲线从时刻 t_1 的点 A 运动到时刻 t_2 的点 B ,质点相对原点 O 的位矢由 \boldsymbol{r}_A 变化到 \boldsymbol{r}_B .显然,在时间间隔 $\Delta t (= t_2 - t_1)$ 内,位矢的长度和方向都发生了变化.我们将由始点 A 指向终点 B 的有向线段 $\Delta \boldsymbol{r}$ 称为点 A 到点 B 的位移矢量,简称位移.位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 反映了质点位矢的变化.由图 1-3 可以看出,质点从点 A 到点 B 的位移为

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_B - \boldsymbol{r}_A \quad (1-3)$$

应当注意,位移是描述质点位置变化的物理量,它只表示位置变化的实际效果,并非质点所经历的路程.如在图 1-3 中,曲线 \widehat{AB} 所示的路径是质点实际运动的轨迹,轨迹的长度 Δs 为质点所经历的路程,而位移则是 $\Delta \boldsymbol{r}$.当质点经一闭合路径回到原来的起始位置时,其位移为零,而路程则不为零.所以,质点的位移和路程是两个完全不同的概念.只有在 Δt 取得很小的极限情况下,位移的大小 $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$ 才可视为与路程 $\mathrm{d}s$ 相等.

三 速度

如果两物体都从 A 点运动到 B 点,但所经历的时间不尽相同,则表明两物体运动的快慢不同.为了定量描述物体运动的快慢和方向,需引入平均速度和速度概念.

如图 1-4 所示,一质点在平面上沿轨迹 $CABD$ 作曲线运动.在时刻 t ,它处于点 A ,其位矢为 $\boldsymbol{r}_1(t)$;在时刻 $t + \Delta t$,它处于点 B ,其位矢为 $\boldsymbol{r}_2(t + \Delta t)$.在 Δt 时间内,质点的位移为 $\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1$,在时间间隔 Δt 内的平均速度为

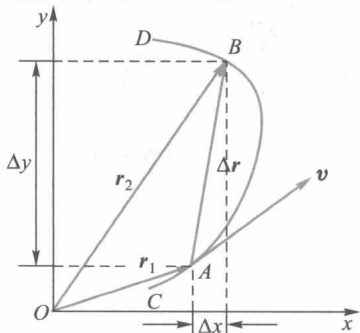


图 1-4 平均速度

$$\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} \quad (1-4a)$$

由于 $\Delta \boldsymbol{r}$ 是矢量, 而 $1/\Delta t$ 是标量, 故平均速度 $\bar{\boldsymbol{v}}$ 是矢量, 且与 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的方向相同.

由式(1-2)知 $\boldsymbol{r} = xi + yj$, 故有

$$\Delta \boldsymbol{r} = \Delta xi + \Delta yj$$

平均速度可以写成

$$\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \boldsymbol{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \boldsymbol{j} = \bar{v}_x \boldsymbol{i} + \bar{v}_y \boldsymbol{j} \quad (1-4b)$$

其中 \bar{v}_x 和 \bar{v}_y 是平均速度 $\bar{\boldsymbol{v}}$ 在 Ox 轴和 Oy 轴上的分量. 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限值叫做瞬时速度(简称速度), 用 \boldsymbol{v} 表示, 有

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1-5a)$$

由 $\boldsymbol{r} = xi + yj$, 上式还可写成

$$\boldsymbol{v} = \frac{dx}{dt} \boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt} \boldsymbol{j} = v_x \boldsymbol{i} + v_y \boldsymbol{j} = \boldsymbol{v}_x + \boldsymbol{v}_y \quad (1-5b)$$

式中 v_x 和 v_y 是速度 \boldsymbol{v} 在 Ox 轴和 Oy 轴上的分量, 而 \boldsymbol{v}_x 和 \boldsymbol{v}_y 则为速度 \boldsymbol{v} 在 Ox 轴和 Oy 轴上的分速度(它们是矢量!). 图1-5给出它们之间的关系.

由式(1-5a)可见, 速度 \boldsymbol{v} 的方向与 $\Delta \boldsymbol{r}$ 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限方向一致. 从图1-4可见, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\Delta \boldsymbol{r}$ 趋于和轨迹相切, 即与点 A 的切线重合, 所以当质点作曲线运动时, 质点在某一点的速度方向就是沿该点曲线的切线方向. 这在日常生活中是经常可以观察到的. 拴在绳子上作圆周运动的小球, 如果绳子突然断开, 小球就会沿切线方向飞出去.

如果只要描述质点的运动快慢, 可引入平均速率和速率. 若质点在 A, B 点间运动所用时间为 Δt , 两点间的路程为 $\Delta s = \widehat{AB}$, 则平均速率为

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-6a)$$

同上式(1-5a)取极限过程, 得瞬时速率为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-6b)$$

因 $|d\boldsymbol{r}| = ds$, 所以 $|\boldsymbol{v}| = v$, 即速度 \boldsymbol{v} 的值称为速率. 在不致混淆的情况下, 有时速率也被称为速度.

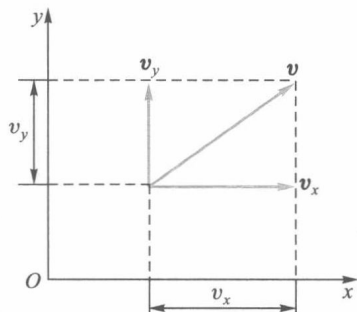


图1-5 速度 分速度 速度分量

四 加速度

速度是一个矢量,因此,无论是速度的数值发生改变,还是其方向发生改变,都表示速度发生了变化.为衡量速度的变化,引出加速度的概念.

如图 1-6 所示,质点在 Oxy 平面内的运动轨迹为一曲线.设在时刻 t ,质点位于点 A ,其速度为 v_1 ,在时刻 $t+\Delta t$,质点位于点 B ,其速度为 v_2 ,则在时间间隔 Δt 内,质点的速度增量为 $\Delta v = v_2 - v_1$,它在单位时间内的速度增量即平均加速度为

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1-7)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均加速度的极限值叫做瞬时加速度,用 a 表示,有

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1-8a)$$

a 的方向是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 Δv 的极限方向,而 a 的数值是 $|\Delta v / \Delta t|$ 的极限值,即

$$|a| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right|$$

应当注意,加速度 a 既反映了速度方向的变化,又反映了速度数值的变化.所以质点作曲线运动时,任时刻质点的加速度方向并不与速度方向相同,即加速度方向不沿曲线的切线方向.由图 1-6 中可以看出,在曲线运动中,加速度的方向指向曲线的凹侧.

利用式(1-5b),式(1-8a)可写成

$$a = \frac{d}{dt}(v_x i + v_y j)$$

$$\text{即} \quad a = a_x i + a_y j = a_x + a_y \quad (1-8b)$$

式中 a_x 和 a_y 为 a 在 Ox 轴和 Oy 轴上的分加速度,而 a_x 和 a_y 则为 a 在 Ox 轴和 Oy 轴上的分量,有

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}$$

五 求解质点运动学的两类问题

1 已知运动方程求运动状态量

一质点沿 x 轴运动的位置与时间的关系由方程 $x = 50t + 5t^2$

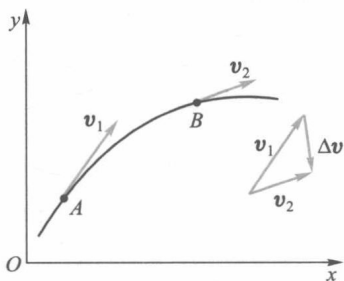


图 1-6 曲线运动的加速度