

Physics

物理学简明教程

马文蔚 周雨青 主编
程庆华 陈国庆 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

Physics

物理学简明教程

Wulixue Jianming Jiaocheng

马文蔚 周雨青 主编
程庆华 陈国庆 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

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。本书以附注形式给出《物理学原理在工程技术中的应用》(第三版)中数十个专题,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. -- 北京 :
高等教育出版社, 2012. 12

ISBN 978 - 7 - 04 - 036617 - 4

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(2012)第301473号

策划编辑 郭亚嫫 责任编辑 张海雁 封面设计 张申申 版式设计 于婕
插图绘制 尹莉 责任校对 杨凤玲 责任印制 田甜

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400 - 810 - 0598
社 址	北京市西城区德外大街4号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京铭成印刷有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787 mm × 960 mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	24.75	版 次	2012年12月第1版
字 数	470千字	印 次	2012年12月第1次印刷
购书热线	010 - 58581118	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 36617 - 00

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形成的学科。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，大到宇宙秘密的探索，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，涵盖面达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

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社打击盗版办公室

邮政编码：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

出版物数码防伪说明：

本图书采用出版物数码防伪系统，用户购书后刮开封底防伪密码涂层，将16位防伪密码发送短信至106695881280，免费查询所购图书真伪，同时您将有机会参加鼓励使用正版图书的抽奖活动，赢取各类奖项，详情请查询中国扫黄打非网(<http://www.shdf.gov.cn>)。

反盗版短信举报：

编辑短信“JB，图书名称，出版社，购买地点”发送至10669588128

数码防伪客服电话：

(010)58582300/58582301

“中国高校物理课程网”充值卡使用说明：

1. 欢迎访问“中国高校物理课程网”进行学习，网址 <http://phy.cncourse.com>；
2. 封底所附充值卡可充值50点用于网站消费，请在两年内充值，过期作废；
3. 首次访问本网站，请先行注册；
4. 刮开充值卡上的密码涂层，登录网站并进入“个人服务—我的账户”，按照提示进行充值。

电子邮箱：phycourse@hep.com.cn

咨询电话：(010)58581377

目 录

第一章 质点的运动及其运动定律	1
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	26
第二章 动量守恒定律和能量守恒定律	29
2-1 质点和质点系的动量定理 动量守恒定律	30
2-2 动能定理 保守力与非保守力 能量守恒定律	34
* 2-3 火箭飞行原理 宇宙速度	42
总结	45
问题	46
习题	46
第三章 刚体与流体	50
3-1 刚体的定轴转动	51
3-2 刚体定轴转动的角动量 角动量定理 角动量守恒定律	59
* 3-3 流体 伯努利方程	62
总结	68
问题	69
习题	69
第四章 机械振动与机械波	71
4-1 简谐运动 旋转矢量 简谐运动的能量	71
4-2 两个同方向同频率简谐运动的合成	83
* 4-3 阻尼振动 受迫振动 共振	85
4-4 机械波	87
4-5 惠更斯原理 波的衍射和干涉	96
* 4-6 多普勒效应	105

总结	110
问题	112
习题	113
第五章 气体动理论和热力学	118
5-1 平衡态 理想气体物态方程 热力学第零定律	119
5-2 气体分子热运动及其统计规律	122
5-3 理想气体的压强公式 平均平动动能与温度的关系	131
5-4 能量均分定理 理想气体的内能	135
5-5 准静态过程 热力学第一定律	138
5-6 理想气体的等值过程和绝热过程	141
5-7 循环过程 热力学第二定律	149
*5-8 熵 熵增加原理	157
总结	163
问题	164
习题	165
第六章 静电场	169
6-1 电场强度	170
6-2 高斯定理	179
6-3 静电场的环路定理 电势	189
6-4 静电场中的导体	199
6-5 电容 电场的能量 电介质的相对电容率	205
总结	214
问题	216
习题	217
第七章 恒定磁场和电磁感应	220
7-1 恒定电流 电流密度 电动势	222
7-2 磁感强度 毕奥-萨伐尔定律 磁场的高斯定理	226
7-3 洛伦兹力 安培力	235
7-4 安培环路定理 磁介质的磁导率	245
7-5 电磁感应定律	252
7-6 动生电动势和感生电动势	259
7-7 自感和互感 磁场能量	264
7-8 *位移电流 *电磁场基本方程的积分形式 电磁振荡和电磁波	270
总结	280
问题	282

习题	284
第八章 光学	288
8-1 几何光学简介	289
8-2 光的干涉	300
8-3 光的衍射	312
8-4 光的偏振	324
总结	332
问题	335
习题	337
第九章 近代物理简介	340
9-1 狭义相对论的基本概念	341
9-2 量子假设 光的波粒二象性	350
9-3 氢原子的玻尔理论	359
9-4 德布罗意波 实物粒子的二象性	367
总结	374
问题	375
习题	375
习题答案	378
照片说明	384

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、最基本的运动形式的基本规律的一门学科，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

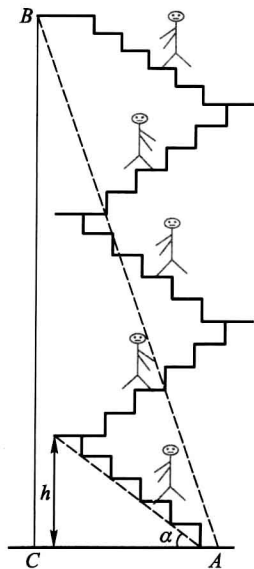
楼层高度为 h 的百货商场，电动扶梯的倾角为 $\alpha = 45^\circ$ ，如图所示。某顾客从一楼随扶梯的运动上到六楼，此人由一楼扶梯端口 A 到六楼扶梯端口 B 的位移大小和方向是

(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，选取的标准物不同，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。这就是运动的相对性。

为描述物体的运动而选的标准物叫做参考系。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}	质子核的半径	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}		

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, 在研究地球上物体的运动情况时, 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

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

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

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

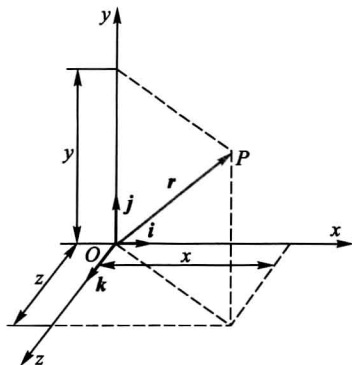


图 1-1 位置矢量

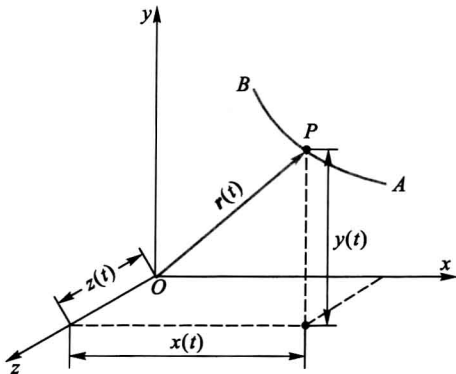


图 1-2 运动方程

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 \mathbf{r}_A 变化到 \mathbf{r}_B .显然,在时间间隔 Δt ($=t_2 - t_1$) 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 $\Delta \mathbf{r}$ 称为点 A 到点 B 的位移矢量,简称位移.位移 $\Delta \mathbf{r}$ 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

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

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,轨迹的长度为质点所经历的路程,而位移则是 $\Delta \mathbf{r}$.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 $|\mathbf{dr}|$ 才可视为与路程 \widehat{AB} 相等.

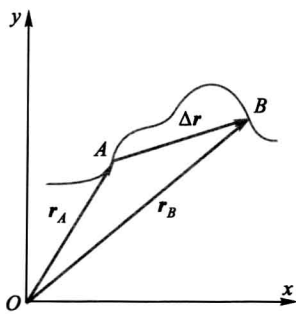


图 1-3 位移矢量

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 $\mathbf{r}_1(t)$; 在时刻 $t + \Delta t$, 它处于点 B , 其位矢为 $\mathbf{r}_2(t + \Delta t)$. 在 Δt 时间内, 质点的位移为 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$, 在时间间隔 Δt 内的平均速度为

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

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

由式(1-2)知 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$, 故有

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j}$$

平均速度可以写成

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

其中 \bar{v}_x 和 \bar{v}_y 是平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 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 \mathbf{v} 表示, 有

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

由 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$, 上式还可写成

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

式中 v_x 和 v_y 是速度 \mathbf{v} 在 Ox 轴和 Oy 轴上的分量, 而 $v_x\mathbf{i}$ 和 $v_y\mathbf{j}$ 则为速度 \mathbf{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 \mathbf{v} 的方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 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, $\Delta \mathbf{r}$ 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

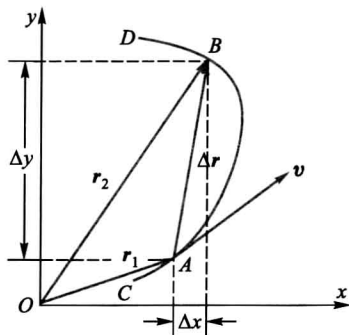


图 1-4 平均速度

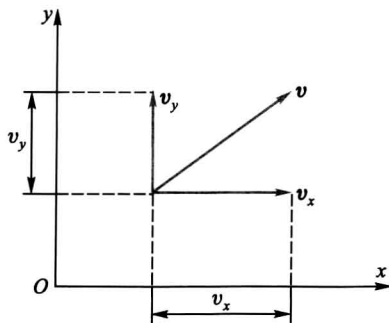


图 1-5 速度 分速度 速度分量

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 $|dr| = ds$, 所以 $|v| = v$, 即速度 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.

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, 任一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(1-6b), 式(1-8a)可写成

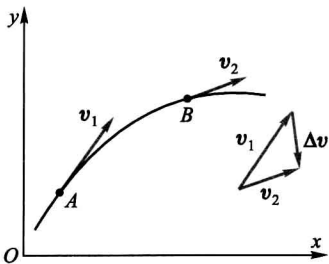


图 1-6 曲线运动的加速度

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

即

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} = \mathbf{a}_x + \mathbf{a}_y \quad (1-8b)$$

式中 \mathbf{a}_x 和 \mathbf{a}_y 为 \mathbf{a} 在 Ox 轴和 Oy 轴上的分加速度, 而 a_x 和 a_y 则为 \mathbf{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 $x = 50t + 5t^2$ 确定, 式中 x 的单位为 m , t 的单位为 s . 计算:

- (1) 质点在运动的最初 3 s 内的平均速度;
- (2) 质点在 $t = 3.0$ s 时的瞬时速度;
- (3) 质点在运动的最初 3 s 内的平均加速度;
- (4) 质点在 $t = 3.0$ s 时的瞬时加速度.

解

(1) 由题意知, 质点在直线上运动, 故由式(1-4b)有

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(50 \times 3 + 5 \times 3^2) - 0}{3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

(2) 由式(1-6a)或式(1-6b)有

$$v = \frac{dx}{dt} = 50 + 10t$$

将 $t = 3$ s 代入上式得

$$v_3 = 80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

(3) 由式(1-7)有

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(50 + 10 \times 3) - 50}{3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

(4) 由式(1-8a)或式(1-8b)有

$$a = \frac{dv}{dt} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

由(3)、(4)结果可见, 质点作加速度恒定的匀加速直线运动.

2 已知运动状态确定运动方程

质点沿 x 轴作匀加速直线运动, 加速度为 a , 初始条件为: $t = 0$ 时, $x = x_0$, $v = v_0$. 求质点的运动方程.

解 由式(1-8a)有

$$dv = a dt$$

将上式两边积分

$$\int_0^x dv = \int_0^t a dt = a \int_0^t dt$$

得

$$v = v_0 + at$$

又由式(1-6a)有

$$dx = v dt = (v_0 + at) dt$$

对上式积分

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t (v_0 + at) dt$$

得运动方程为

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

运动学中的上述二类问题的求解方法是：前者为微分运算，后者为积分运算，两者互为逆运算。

本节练习

1 质点运动中的位移与路程是两个不同的概念，其不同表现在哪些地方？在什么条件下，位移的大小与路程才相等？

2 质点作曲线运动， r 表示位置， v 表示速度， a 表示加速度， s 表示路程， a_t 表示切向加速度。

$$\frac{dr}{dt} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad \frac{ds}{dt} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad \frac{dv}{dt} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad \frac{dv}{dt} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

1-2 圆周运动

一 圆周运动的角速度

如图1-7所示，一质点在 Oxy 平面上作半径为 r 的圆周运动，某时刻它位于点 A 。当质点在圆周上运动时，位矢 r 与 Ox 轴之间的夹角 θ 随时间改变，即 θ 是时间的函数 $\theta(t)$ 。

我们定义：角坐标 $\theta(t)$ 随时间的变化率即 $d\theta/dt$ ，叫做角速度，用符号 ω 表示，则有

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (1-9)$$

通常用弧度(rad)来量度 θ ，所以角速度 ω 的单位名称为弧度每秒，符号为 $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 。