

University

大学物理学

Physics (第2版) 上册

白丽华 庄良 葛永华 等编
钟平卫 许士跃 赵苏串

高等教育出版社

University

大学物理学

Physics (第2版) 上册

白丽华 庄良 葛永华 等编
钟平卫 许士跃 赵苏串

DAXUE WULIXUE

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是在第一版的基础上,根据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),按照大学物理课程目前教学的实际情况,在编者长期教学所积累的教学经验的基础上修订而成的。本书旨在帮助学生掌握基础物理理论及其应用的同时,能充分体会物理学分析问题、研究问题和解决问题的方法,能深刻领会物理学中的科学思维和创新精神,为以后进一步的学习、研究打下坚实的基础。

本书共19章,分为上、中、下三册。上册包含力学、振动和波动部分,中册包含电磁学部分,下册则包含热学、波动光学和近代物理部分。

本书可作为高等学校理科非物理学类专业和工科各专业的大学物理课程的教材,也可供大专院校、成人高校的相关专业师生使用,对于自学大学物理课程的读者也是一套很好的阅读教材。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册 / 白丽华等主编. -- 2版. -- 北京:高等教育出版社, 2018.9
ISBN 978-7-04-050420-0

I. ①大… II. ①白… 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182382号

策划编辑 高聚平 责任编辑 高聚平 封面设计 姜磊 版式设计 杜微言
插图绘制 于博 责任校对 刘莉 责任印制 刘思涵

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 河北鹏盛贤印刷有限公司
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 15
字数 370千字
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 2015年8月第1版
2018年9月第2版
印 次 2018年9月第1次印刷
定 价 29.80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 50420-00

大学物理学

(第2版) 上册

白丽华 庄良
葛永华 钟平卫
许士跃 赵苏串
等 编

- 1 电脑访问<http://abook.hep.com.cn/1250304>, 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 点击“进入学习”, 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, 请按提示通过电脑访问学习。

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



Abook 电脑端
1 网页注册登录
2 输入书后 20 位码绑定课程
3 修改信息 (学号-姓名-教师号)
获得答题资格



Abook 手机端
登录



Abook 手机端
答题演示



直升机角动量守恒

<http://abook.hep.com.cn/1250304>

第二版前言

大学物理课程是一门在一定范围内可以定性定量地讨论自然界的各种基本现象及其基本规律的重要基础课。课程的目标不仅在于系统展示基础物理的理论及其应用,还在于充分彰显物理理论建立过程中的创新思维、科学研究和定量研究问题的方法。本书是多位长期从事大学物理教学的教师,根据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),结合长期的教学体会精心编写而成的,旨在帮助学生在掌握基础物理原理、概念及其应用的同时,能充分体会物理学分析问题、研究问题和解决问题的方法,深刻领会物理学中的科学思维和创新精神,为以后进一步的学习、研究打下坚实的基础。

本书分上、中、下三册,共19章。上册首先系统讨论宏观物体在机械运动中的运动学及处理运动学问题的基本方法;然后以牛顿运动定律为基础,分析处理各类动力学问题的基本方法;最后全面讨论力的空间和时间累积效应,以及它们对物体运动状态的影响等问题。中册系统讨论自然界中电磁运动的现象及其研究方法,以库仑定律、安培定理、法拉第电磁感应定律和麦克斯韦对电磁场的两个科学假设(涡旋电场和位移电流)为基础,全面讨论静电场、恒定电流和磁场、交变电磁场的特征及它们所遵从的基本规律。下册首先讨论分子运动的基本物理模型,用热力学理论和统

计物理方法讨论热力学系统,全面讨论热力学第一定律、热力学第二定律的物理实质及简单应用;然后讨论以经典电磁波理论为基础的波动光学的基本概念和光源发光的特点,全面讨论光的干涉、衍射、偏振等现象;最后以狭义相对论的基本假设及洛伦兹坐标变换为基础,建立狭义相对论的新时空观及物体在高速运动下的力学规律;以波粒二象性的实验事实为基础,建立起描写微观世界物体运动及其规律的量子力学的基本概念,并应用于一维无限深势阱中的粒子及氢原子光谱等,进一步讨论微观世界中物质呈现的量子特性。

我们希望读者通过阅读和学习本书,能对物理思维模式有所了解,对物理学中处理问题的方式、方法有所认识,更希望读者能对物理世界的探索产生兴趣并从中有所收获。本书内容的内容编排、难易程度、例题习题等都建立在几十年的教学经验的基础上,希望本书的出版能对稳定和提高大学物理课程的教学质量做出一些积极的贡献。

根据近几年使用本书的教师和学生的反馈,以及近几年物理教学的新形势,我们对《大学物理学》(宋小龙等编写,高等教育出版社出版)一书进行了修订。在本次修订中,我们对个别内容作了必要的调整,对一些问题的讲述作了修改和补充,改正了原书中的个别笔误和其他不妥之处;去掉了一些较为复杂的例题,以略为简单又概念突出的例题代之,使读者更易理解;改变了原书的版式,对书中的标题及图形和例题采用了双色印刷,并在边栏中增加了每章的概要,使内容分布层次更为清晰明了。另外,在相关内容边上增加了一些科学家及物理学史的介绍,读者可以通过扫描二维码的方式选择感兴趣的内容阅读。

参加第一版编写的有宋小龙、葛永华、庄良、许士跃、赵苏串、钟平卫、陈爱明、石庆平、沈利明、黄颂翔、孙迺疆等。参加第二版修订的有白丽华、庄良、葛永华、钟平卫、许士

跃、赵苏串等。由于编者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,欢迎读者和同行专家给予批评指正。

在本书的修订过程中,我们参考、借鉴了同行们的相关教材,在此一并表示衷心感谢!我们特别感谢在修订过程中,宋小龙老师给出的指导性的意见和无私奉献!我们也同时感谢高等教育出版社的高聚平编辑在本书的修订过程中给予的大力支持!

编者

2018年6月

目 录

第一章 质点运动学	1	思考题	75
1-1 参考系 坐标系	2	习题	76
1-2 质点的位置矢量 位移 速度和 加速度	3	第四章 动量和角动量	79
1-3 直线和圆周运动	10	4-1 动量 冲量 动量定理	79
1-4 自然坐标系中的切向加速度、 法向加速度	16	4-2 动量守恒定律	83
1-5 曲线运动方程的矢量形式	18	4-3 火箭飞行原理	88
1-6 伽利略坐标变换	21	4-4 碰撞	90
提要	25	*4-5 质心 质心运动定理	95
思考题	26	4-6 质点的角动量定理	99
习题	28	4-7 质点系的角动量守恒定律	103
第二章 牛顿运动定律	31	提要	106
2-1 牛顿运动定律	31	思考题	108
2-2 力学中常见的几种力	35	习题	111
2-3 平动非惯性参考系 惯性力	39	第五章 刚体的定轴转动	115
2-4 牛顿定律应用	40	5-1 刚体运动的描述	115
提要	47	5-2 力矩 转动定理 转动惯量	119
思考题	48	5-3 刚体定轴转动的角动量 角动量 守恒定律	127
习题	49	5-4 定轴转动的动能定理	133
第三章 功和能	52	*5-5 进动	140
3-1 功 功率	53	提要	142
3-2 动能 动能定理	56	思考题	144
3-3 保守力 非保守力 势能	61	习题	145
3-4 功能原理 机械能守恒定律	68	第六章 简谐振动	149
提要	73	6-1 简谐振动	149
		6-2 简谐振动的旋转矢量图示	155

6-3 两种常见的简谐振动 159

6-4 简谐振动的能量 161

6-5 同方向的简谐振动的合成 163

* 6-6 相互垂直的简谐振动的合成 166

6-7 阻尼振动 受迫振动 共振 168

* 6-8 混沌 172

提要 177

思考题 179

习题 180

第七章 机械波 184

7-1 机械波的基本概念 184

7-2 平面简谐波的表达式 189

7-3 波的能量 波的强度 196

7-4 惠更斯原理 波的衍射、反射和
折射 200

7-5 波的叠加原理 波的干涉 203

7-6 驻波 208

7-7 机械波的多普勒效应 215

7-8 声波 超声波 次声波 218

提要 221

思考题 223

习题 224

常用物理常量表 229

第一章 质点运动学

宇宙中一切物质都处于永恒的运动中。什么是物质？大到天体星系，小到微观粒子都是物质。固体、液体、等离子体，这些实物是物质；电场、磁场、引力场，这些场也是物质。运动是物质的存在形式，也是物质的固有属性。物质的运动存在于人们意识之外，这个事实称为运动本身的绝对性。

物质的运动形式是多种多样的，其中机械运动是最简单、最基本的运动。所谓机械运动就是描写物体的位置随时间的变化关系，力学就是研究物体的机械运动及其应用的学科。现在，以牛顿定律为基础的力学理论称为经典力学，它曾经被尊为完美普遍的理论，兴盛了约三百年。在20世纪初，虽然它的局限性被发现，在高速领域为相对论所取代，在微观领域为量子力学所取代，但是在一般技术领域中，包括机械制造、生产建设、天文学甚至在航空、航天技术中，经典力学仍然保持着充沛的活力而起着基础理论的作用。同时，经典力学在一定意义上是整个物理学的基础。这就是我们要学习经典力学的一个根本原因。

在本章中我们着重阐明三个问题。第一，如何描述物体的运动状态。在运动学中，物体的运动状态是用位矢和速度描述的，而物体的速度变化则用加速度描述。通过位矢、速度、加速度等概念的建立，加深对运动的相对性、瞬时性和矢量性等基本性质的认识。第二，运动学的核心是运动

- 1-1 参考系 坐标系
- 1-2 质点的位置矢量 位移
速度和加速度
- 1-3 直线和圆周运动
- 1-4 自然坐标系中的切向加速度、法向加速度
- 1-5 曲线运动方程的矢量形式
- 1-6 伽利略坐标变换

方程,通过对运动方程的学习,既要掌握如何从运动方程出发,求出质点在任意时刻的位矢、速度和加速度的方法,又要能够在已知加速度(或速度)与时间的关系以及初始条件的情况下,求出任意时刻质点的速度和位矢的方法.总之,掌握使用微积分方法来分析问题.第三,对运动的研究离不开时间和空间.了解经典力学时空观的局限性.

1-1 参考系 坐标系

一、参考系 坐标系

由于运动本身的绝对性,即绝对静止的物质是不存在的.所以要描述一个物体的运动,必须选择其他物体或其他几个相互之间保持静止的物体作为参考.被选作参考用的物体或物体系称为参考系.

对于同一个物体的运动,相对于不同的参考系会有不同的描述结果,例如,一个相对地面的自由下落的物体.在地面参考系中观察它作直线运动,但在它近旁驰过的车厢内观察,即以车厢为参考系,则它将作曲线运动.物体的运动形式随参考系的不同而不同.这个事实称为描述运动的相对性.由于描述运动具有相对性,当我们描述一个物体运动时,就必须明确是相对于哪个参考系而言的.

确定了参考系之后为了定量描述物体在各个时刻相对于参考系的位置,还需要在参考系上固定一坐标系以及安置在坐标系各处的计时器(时钟).计时器用于记录各个时刻,坐标系用来记录运动物体在各个时刻的位置,常用的坐标系有直角坐标系,极坐标系和自然坐标系.

二、时间和空间

人们关于时间和空间的概念的形成,首先起源于对自己周围物质世界和物质运动的直觉.时间所反映的是一个事件的顺序性和持续性.空间反映了物质的广延性,它的概念是和物体的体积及物体位置变化相联系的.总之,时间是一切不同时刻的概括和抽象.空间是一切不同位置的概括和抽象.

物理学中的时间是指测量到的时间.例如,一个物体从空间的 A 点移到 B 点,这是一个简单的物理过程.对于这个过程,无论是在相对物体静止的参考系,还是在相对物体运动的参考系上,或是在随物体一起运动的参考系上测量,所测到的物体移动过程所持续的时间都是相同的.即时间与观察者的相对运动无关,与事件或过程发生的空间位置或距离无关.可简述为时间是绝对的.

物理学中的空间是通过物体的存在而表现出来的.例如,空间的某处有一个六面体,我们可以通过它的边长和面、角来确定它所占据的空间.按照经典理论,无论把六面体放在何处,无论它作何种取向,也无论它相对于观察者作何运动,所测到的六面体的边长和面、角都是一样的.即空间是绝对的,与时间无关.以上“时间是绝对的”、“空间是绝对的”就构成了经典理论中的绝对时空观.

1-2 质点的位置矢量 位移 速度和加速度

一、理想模型——质点

任何实际物体都有一定的大小、形状、质量和内部结

构,即使是微观粒子也不例外.一般地说,物体在运动过程中,其内部各部分的位置变化和速度变化是各不相同的,而且物体的大小形状也可能发生变化.所以要精确地描述实际物体的一般运动并非易事.因此,需要对所研究的物体大小、形状作合理的近似和抽象.

如果物体的大小、形状在所研究的问题中不起作用或所起的作用可以忽略,那么把物体近似作为一个只有质量而没有形状大小的点是合理的,这样的点称为质点.

质点是在满足上述条件下抽象出来的一个理想化模型.研究质点的运动,其实质是研究物体质量中心的运动.

一个物体能否作为质点来处理,并不取决于它的大小、形状,应根据所研究的问题的性质而定.同一物体在某一问题中可以作为质点处理,而在另一问题中就不一定.例如,研究地球绕太阳公转的轨迹时,由于地球的平均半径仅约为公转轨道平均半径的万分之一,所以地球上各点相对于太阳运动的区别以及地球的大小、形状,在所研究的问题中不起主要作用,因此可以忽略.此时,把地球作为质点来处理是恰当的.又如,研究刚性物体的平动规律时,虽然物体的大小、形状和所研究的空间范围比较不可忽略,但是由于物体内的各点在运动中的状态完全相同,物体中的任一点都能代表整体运动,因此也可作为质点处理.

二、位置矢量,运动方程和轨迹方程

在坐标系中,质点 P 在任意时刻所处的位置常用位置矢量(简称位矢)来表示.位矢是从坐标系的原点指向质点 P 所在处的一个矢量,用 \boldsymbol{r} 表示,如图 1-1 所示.它说明了质点 P 相对于参考系固定点 O 的方位和距离.当质点运动时,它的位置是按一定规律随着时刻 t 变化的,也就是说位矢是时刻 t 的函数.

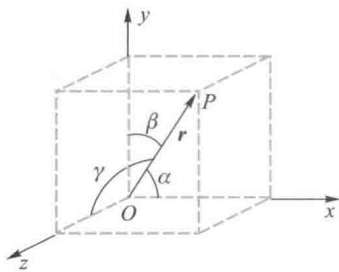


图 1-1 位置矢量

$$\text{即} \quad \mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-1)$$

上式称为质点运动的轨道参量方程,即质点的运动方程.它不仅给出了质点的运动轨迹,也给出了质点在任意时刻所处的位置.

设某一时刻 t , 质点 P 所处位置的坐标 (x, y, z) 引入沿 x, y, z 三轴正方向的单位矢量 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 以后, 根据运动叠加原理质点的运动方程可以表示为

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

消去运动分量方程 $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$ 各分量式中的时间参量 t 以后, 所得到的方程

$$f(x, y, z) = 0 \quad (1-3)$$

称为质点的轨迹方程, 它给出了质点的运动轨迹.

位矢 \mathbf{r} 的大小可表示为

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

位矢 \mathbf{r} 的方向可用它的方向余弦来表示

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

它们满足

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

三、位移矢量, 速度, 加速度

1. 位移矢量(简称位移)

位移是质点的位矢在时间 $t \rightarrow t + \Delta t$ 内的变化量, 即增量:

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1-4)$$

在直角坐标系中:

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} + \Delta z \mathbf{k} \quad (1-5)$$

位移的大小:

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

方向余弦:

$$\cos \alpha = \frac{\Delta x}{\Delta r}, \quad \cos \beta = \frac{\Delta y}{\Delta r}, \quad \cos \gamma = \frac{\Delta z}{\Delta r}$$

必须注意,位移表示质点的位置改变,它不是质点所经历的路程,在图 1-2 中,位移是有向线段 \vec{AB} ,是一个矢量,它的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 就是割线 AB 的长度. 而路程是标量,它是曲线 \widehat{AB} 的实际长度 Δs . 只有当 Δt 趋近于零时, Δs 与 $|\Delta \mathbf{r}|$ 才可看作相等. 其次位移矢量的大小为

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

不同于 $\Delta |\mathbf{r}| = |\mathbf{r}_2| - |\mathbf{r}_1| = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2} - \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}$, 在国际单位制 (SI) 中位矢和位移的单位是 m (米).

2. 速度

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和发生这段位移所经历的时间 Δt 的比值称为质点在这段时间内的平均速度:

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

在直角坐标系可表示为

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \mathbf{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \mathbf{j} + \frac{\Delta z}{\Delta t} \mathbf{k} = \bar{v}_x \mathbf{i} + \bar{v}_y \mathbf{j} + \bar{v}_z \mathbf{k}$$

平均速度的大小

$$\bar{v} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{\Delta t}\right)^2}$$

平均速度的方向就是位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向. 平均速度的大小和方向在很大程度上依赖于所取的时间间隔 Δt . 如图 1-3 所示, 设 t 时刻质点处于 A , 经历 $\Delta t'$ 时间质点到达 B' , 位移为 $\Delta \mathbf{r}'$, 在这段时间内质点的平均速度 $\bar{\mathbf{v}}' = \frac{\Delta \mathbf{r}'}{\Delta t'}$, 如果经过

$\Delta t''$ 时间, 质点从 A 到达 B'' , 位移为 $\Delta \mathbf{r}''$, 那么在这段时间内质点的平均速度 $\bar{\mathbf{v}}'' = \frac{\Delta \mathbf{r}''}{\Delta t''}$. 显然, 这两个平均速度的大小方

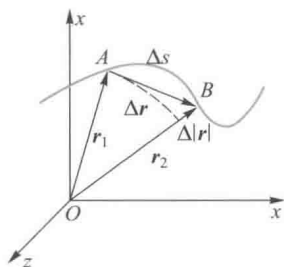


图 1-2 位移矢量

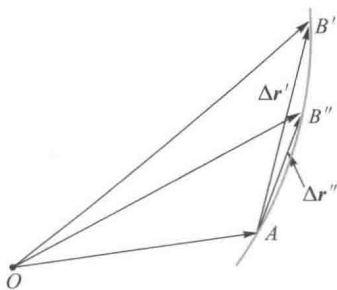


图 1-3 位移与时间间隔有关

向都不相同. 我们把质点所经过的路程 Δs 和所需要的时间 Δt 的比值即

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

称为质点在 $t \rightarrow t + \Delta t$ 时间内的平均速率. 平均速率是标量. 它等于质点在单位时间内所通过的路程, 而不考虑运动方向.

当所取的时间间隔 Δt 趋近于零时, 平均速度的极限称为质点在该时刻 t 的瞬时速度 (简称速度):

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1-8)$$

在直角坐标系中:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{v} &= \frac{dx}{dt} \boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt} \boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt} \boldsymbol{k} \\ &= v_x \boldsymbol{i} + v_y \boldsymbol{j} + v_z \boldsymbol{k} \end{aligned}$$

瞬时速度的方向是平均速度方向的极限, 沿着轨迹的切向, 指向质点前进的一侧. 在一般曲线运动中瞬时速度和平均速度的大小、方向都不相同.

瞬时速度的大小

$$\begin{aligned} |\boldsymbol{v}| &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \end{aligned}$$

我们把 Δt 趋近零时平均速率的极限定义为质点运动的瞬时速率 (简称速率):

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-9)$$

因为当 Δt 趋近于零时, 路程 Δs 的极限等于位移矢量模的极限, 所以

$$v = \frac{ds}{dt} = \left| \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right| = |\boldsymbol{v}| \quad (1-10)$$

在国际单位制中, 速度、速率的单位都是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (米每秒).

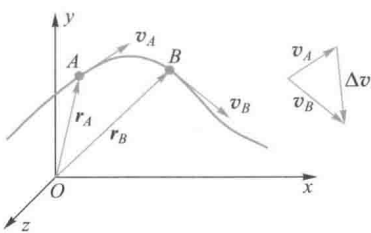


图 1-4 平均加速度

3. 加速度

当质点的运动速度随时间变化时,速度的变化情况用加速度来描述.

如图 1-4 所示,设质点 t 时刻位于 A 时速度是 v_A ,在 $t + \Delta t$ 时刻位于 B 点时速度是 v_B . 在 Δt 时间内质点的速度增量为 $\Delta v = v_B - v_A$,则质点的平均加速度定义为

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1-11)$$

它的方向就是 Δv 的方向. 它表示质点在 Δt 时间内速度的平均变化率.

为了精确描述质点在任一时刻(或任一位置处)的速度变化率,必须引入瞬时加速度的概念.

瞬时加速度(简称加速度)定义为

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

在直角坐标系中,加速度的三个分量分别为

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2}$$

所以加速度的大小为

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

加速度 a 的方向是速度增量 Δv 的极限方向. 必须指出, Δv 的方向和它的极限方向一般不同于 v 的方向,因此加速度的方向一般与该时刻的速度方向不一致. 例如,质点作直线运动时,如果速率是增加的,如图 1-5(a) 所示,那么, a 与 v 同方向. 反之,如果速率是减小的,如图 1-5(b) 所示,那么 a 与 v 反方向. 因此在直线运动中加速度和速度虽然在同一直线中,也有同向和反向的两种情况. 当质点作曲线运动时,加速度的方向总是指向曲线的凹侧. 如果速率增加, a 与 v 成锐角,如图 1-6(a) 所示. 如果速率减小,则 a 与 v 成钝角,如图 1-6(b) 所示. 如果速率不变, a

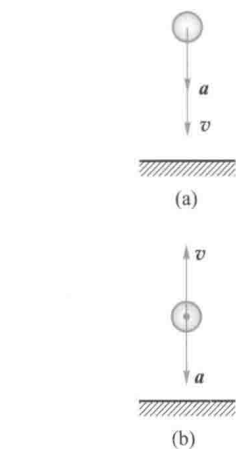


图 1-5 直线运动中的速度和加速度

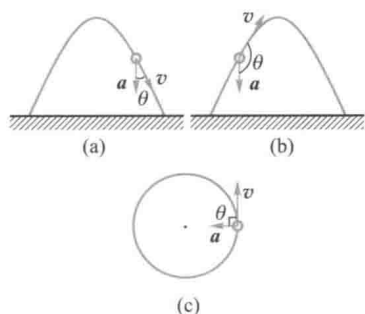


图 1-6 曲线运动中的速度和加速度