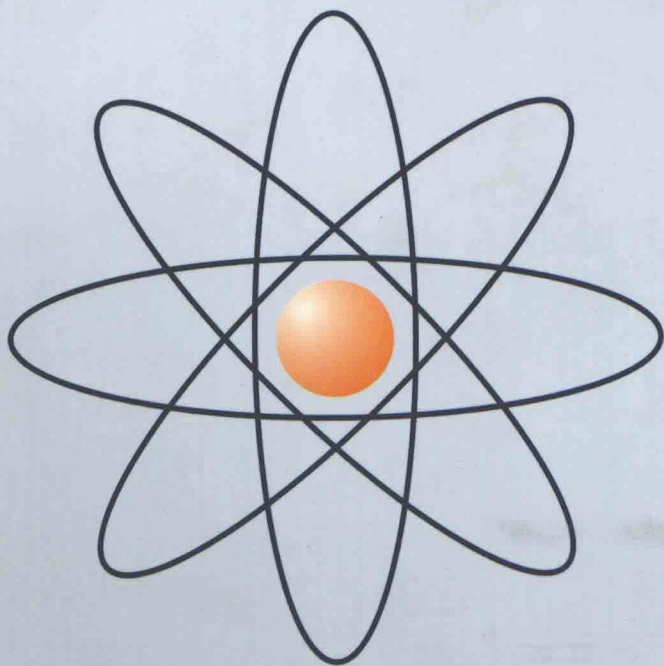


大学物理学

上册

郝金行 韩亚萍 主编



吉林人民出版社

大学物理学

(上册)

郝金行 韩亚萍 主编

吉林人民出版社

大学物理学(上、下册)

主 编:郝金行 韩亚萍 魏 崇 岳俊峰

责任编辑:黄式刚 封面设计:洪 文

吉林人民出版社出版 发行

(中国·长春市人民大街 7548 号 邮政编码:130022)

印 刷:北京市朝教印刷厂

开 本:850mm×1168mm 1/32

印 张:27.25 字 数:630 千字

标准书号:ISBN 7-206-03427-6/G·902

版 次:2005 年 7 月第 2 版 印 次:2005 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1 000 册 定 价:69.40 元(全二册)

如发现印装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。

目 录

第一章 质点运动学	(1)
§ 1-1 质点 参照系和坐标系	(1)
§ 1-2 位置矢量 位移	(3)
§ 1-3 速度和加速度	(5)
§ 1-4 圆周运动	(14)
§ 1-5 相对运动	(19)
问题	(24)
习题	(25)
第二章 质点动力学	(29)
§ 2-1 牛顿运动定律	(29)
§ 2-2 SI 单位和量纲	(41)
§ 2-3 动量定理 动量守恒定律	(45)
§ 2-4 功 动能定理	(54)
§ 2-5 势能 机械能守恒定律	(61)
问题	(69)
习题	(70)
第三章 刚体的转动	(75)
§ 3-1 刚体的定轴转动	(75)
§ 3-2 转动动能 转动惯量	(81)
§ 3-3 力矩 转动定律	(86)

§ 3-4 力矩的功 刚体定轴转动中的动能定理	··· (91)
§ 3-5 角动量 角动量守恒定律	····· (96)
问题	····· (101)
习题	····· (102)
第四章 狭义相对论基础	····· (108)
§ 4-1 力学相对性原理和伽利略变换	····· (108)
§ 4-2 狭义相对论的基本假设	
时间膨胀和长度缩短	····· (113)
§ 4-3 洛伦兹变换	····· (121)
§ 4-4 相对论动力学	····· (131)
问题	····· (139)
习题	····· (140)
第五章 气体动理论	····· (144)
§ 5-1 平衡态 理想气体状态方程	····· (144)
§ 5-2 气体动理论的基本概念	····· (147)
§ 5-3 理想气体的压强公式	····· (149)
§ 5-4 理想气体的温度	····· (153)
§ 5-5 能量均分原理 理想气体的内能	····· (156)
§ 5-6 气体分子的速率分布定律	····· (162)
§ 5-7 气体分子的平均碰撞次数和平均自由程	····· (171)
§ 5-8 气体内的迁移现象及其基本定律	····· (175)
问题	····· (183)
习题	····· (185)
第六章 热力学基础	····· (189)

§ 6-1 内能 功 热量	(189)
§ 6-2 热力学第一定律	(192)
§ 6-3 热力学第一定律对于理想气体的应用	(198)
§ 6-4 循环过程 卡诺循环	(211)
§ 6-5 热力学第二定律	(219)
§ 6-6 熵 熵增加原理	(227)
§ 6-7 热力学第二定律的统计意义	(237)
问题	(241)
习题	(242)
第七章 静电场	(248)
§ 7-1 电荷 库仑定律	(248)
§ 7-2 电场 电场强度	(253)
§ 7-3 电力线 电通量 高斯定理	(265)
§ 7-4 电场力的功 电势	(277)
§ 7-5 等势面 电势梯度	(292)
§ 7-6 静电场中的导体	(298)
§ 7-7 电介质的极化 电极化强度	(310)
§ 7-8 电位移 有介质的高斯定理	(315)
§ 7-9 电容 电容器	(323)
§ 7-10 电场的能量 能量密度	(333)
问题	(337)
习题	(340)
第八章 稳恒电流	(345)
§ 8-1 电流强度和电流密度	(345)
§ 8-2 欧姆定律 欧姆定律的微分形式	(351)

§ 8-3 电功率 焦耳—楞次定律的微分形式	(356)
§ 8-4 电动势 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	(358)
§ 8-5 基尔霍夫定律	(368)
§ 8-6 电容器的充电与放电	(372)
问题	(378)
习题	(380)
附录 I 矢量的标积和矢积	(383)
附录 II 国际单位制(SI)简介	(387)
附录 III 一些常用的物理基本常数	(390)
上册习题答案	(391)

第一章 质点运动学

在各种形态的物质运动中,最简单的一种是物体位置随时间的变动。宏观物体之间(或物体内部各部分之间)的相对位置变动称为机械运动。例如,日升月落,大气和河水的流动,各种交通工具的行驶等。

研究机械运动的学科称为力学。力学可分为运动学和动力学。运动学只讨论怎样描述机械运动,而不涉及引起运动变化的原因。动力学研究物体间的相互作用对运动变化的影响。

本章研究质点的运动学。主要讨论如何描述物体的运动,着重阐明速度和加速度两个基本概念,加深对运动的相对性,瞬时性,矢量性等基本性质的认识。

§ 1-1 质点 参照系和坐标系

一、质点

在物理学中,为了突出研究对象的主要性质,暂不考虑一些次要的因素,经常引入一些理想化模型来代替实际的物体。如果在所考察的力学问题中,物体的大小和形状起的作用极小,那么可以把物体看成有质量而无大小和形状的点,并称为质点。以后我们还会介绍一些理想模型,如刚体、点电荷等。

一个物体能否看成质点不在于体积大小,而取决于它的线

度在运动中所起的作用。如,同是地球,在研究它绕日公转时,可以将它看作质点。在研究它的自转问题时,就不能把它看作质点处理了。

二、参照系和坐标系

某物体的运动总是相对于另一些选定的参照物体而言的。对同一物体的机械运动,以不同物体作参照可以作出不同的描述。例如,站在运动着的船上的人手中拿着一个物体,在同船的人看来它是不动的,但岸上的人看到它和船一起运动。为了描述一个物体的机械运动而被选来作参照的其它物体称为参照系。为什么对同一物体会观察到不同的结果呢?原因是他们所选的参照系不同:船上的人以船为参照系,岸上的人以岸为参照系。一般说来,研究运动学问题时,只要描述方便,参照系可以任意选择。但在考虑动力学问题时,选择参照系就要慎重了,因为一些重要的动力学规律(如牛顿三定律)只对某类特定的参照系(惯性系)成立。

为了把物体在各个时刻相对于参照系的位置定量地表示出来,还需要在参照系上选择适当的坐标系。常用的坐标系有直角坐标系,球面坐标系等。虽然坐标系与参照系有联系,但不应将二者混同。参照系是实物,而坐标系是参照系的数学抽象。在讨论运动的一般性问题时,人们往往给出坐标系而不必具体地指明它所参照的物体。

§ 1-2 位置矢量 位移

一、位置矢量

为了表示质点在空间的位置,选好参照系,建立坐标系。图 1-1 表示一个直角坐标系。设在时刻 t 有一质点位于 P 点,其位置可用坐标 x, y, z 表示,也可用从坐标原点 O 引到 P 点的有向线段 r 表示,并称为位置矢量(简称位矢),它和坐标的关系为

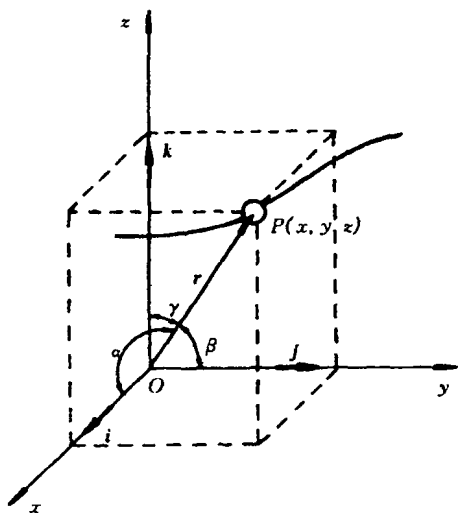


图 1-1 位置矢量

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

式中 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别是沿 x 轴、 y 轴、 z 轴的单位矢量。位矢的大小和方向余弦为

$$\left. \begin{aligned} r &= |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \cos \alpha &= \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中 α, β, γ 分别是 $\mathbf{r}$ 与 x 轴, y 轴和 z 轴之间的夹角。它们的关系为

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

在国际单位制(SI)中, 位矢的单位为米(代号是 m)。

二、运动方程和轨迹方程

运动质点的位置随着时间变化, 这时质点的位置矢量和坐标是时间 t 的函数, 即

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

这称为运动方程, 其分量式为

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (1-4)$$

从上式中消去 t , 可得运动质点的轨迹方程。运动方程表示 $\mathbf{r}$ 与 t 的函数关系, 而轨迹方程则只是位置坐标 x, y, z 之间的关系式, 两者是不同的。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。

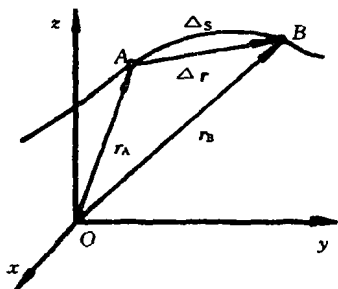


图 1-2 位移

三、位移

设质点作曲线运动(图 1-2), 在时刻 t 质点位于 A 点, 在另一时刻 $t + \Delta t$ 质点位于 B 点,

在 Δt 时间内质点的位置变化

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-5)$$

称为位移, 位移也是矢量。

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 除了表明 B 点与 A 点的距离外, 还表明 B 点相对于 A 点的方位。

必须注意, 位移表示物体位置的改变, 并非质点所经历的路程。如图 1-2 中, 位移是有向线段 $\Delta \mathbf{r}$, 是矢量, 它的量值 $|\Delta \mathbf{r}|$ 即割线 AB 的长度, 而路程是标量, 即曲线 $\widehat{AB}$ 的长度, 可记作 Δs 。 Δs 和 $|\Delta \mathbf{r}|$ 并不相等。显然, 只有在时间 Δt 趋近于零时, Δs 和 $|\Delta \mathbf{r}|$ 方可视为相等。即使在直线运动中, 位移和路程也是截然不同的两个概念。例如一质点沿直线从 A 点到 B 点又折回 A 点, 显然路程等于 A、B 之间距离的两倍, 而位移却为零。

§ 1-3 速度和加速度

一、速度

研究质点的运动, 不仅要知道质点的位移, 还要知道在多长时间的一段时间内有了这一位移, 亦即要知道运动的快慢程度。设在时刻 t 到 $t + \Delta t$ 的这段时间 Δt 内, 质点的位移为 $\Delta \mathbf{r}$ (如图 1-2), 则, $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比值, 称为质点在时间 Δt 内的平均速度:

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

这就是说, 平均速度的大小等于在相应的时间 Δt 内每单位时间的位移。

平均速度只能粗略地描写质点的运动, 如果我们要精确地

知道质点在某一时刻 t (或某一位置) 的运动情况, 应使 Δt 尽量减小而趋近于零, 用平均速度 $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ 所趋的极限值——瞬时速度来描述。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限定义为质点在时刻 t (或位置 A) 的瞬时速度 (简称速度)

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1-7)$$

也就是说, 速度等于位矢对时间的一阶导数。它是矢量, 其方向沿着 Δt 趋近于零时 Δr 的极限方向, 即运动轨迹的切线方向。

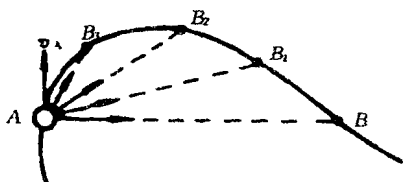


图 1-3 质点在轨道上 A 点处的速度的方向

为了描述运动的快慢, 人们还建立了速率这个物理量, 其定义为

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

即速率是路程对时间的一阶导数。

由于 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|\Delta r| \rightarrow \Delta s$ (图 1-2), 所以速度的大小

$$|v| = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta r|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = v \quad (1-9)$$

即: 速度的大小与速率相等。

平均速度、瞬时速度、速率的单位都是米/秒 (m/s)。

在直角坐标系中

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \quad (1-10)$$

于是,速度的 x 分量, y 分量和 z 分量分别是

$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1-11)$$

而速度的大小为

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-12)$$

其方向如图 1-3 所示是 Δt 趋近于零时 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向,即 A 点所在处的轨迹的切线方向并指向质点的前进方向。表 1-1 给出了一些实际的平均速率的数值。

表 1-1 某些速率(m/s)

光在真空中	3.0×10^8
北京正负电子对撞机中的电子	99.999998% 光速
类星体的退行(最快的)	2.7×10^8
太阳在银河系中运动	3.0×10^5
地球公转	3.0×10^4
人造地球卫星	7.9×10^3
现代歼击机	$\sim 9 \times 10^2$
步枪子弹离开枪口时	$\sim 7 \times 10^2$
由于地球自转在赤道上一点的速率	4.6×10^2
空气分子热运动(大量分子平均)(0℃)	4.5×10^2
空气中声速(0℃)	3.3×10^2
机动赛车(最大)	1.0×10^2
猎豹(最快动物)	2.8×10
人跑步(最大)	1.1×10
大陆板块移动	$\sim \times 10^{-9}$

二、加速度

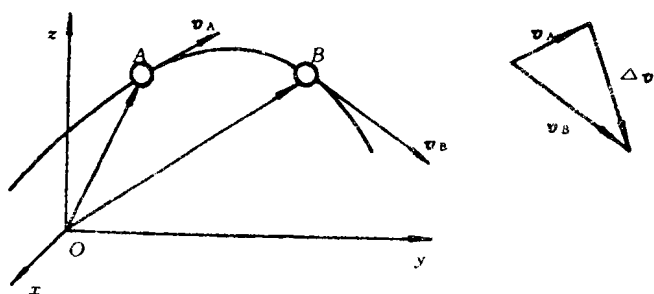


图 1-4 速度的增量

质点的速度常随时间变化, 为了描述速度的变化, 人们建立了加速度这个物理量。如图 1-4 中的 $\mathbf{v}_A$ 表示质点在时刻 t 、位置 A 处的速度, $\mathbf{v}_B$ 表示质点在时刻 $t + \Delta t$ 、位置 B 处的速度。速度增量 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A$ 与相应的时间 Δt 之比称为平均加速度, 即

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1-13)$$

平均加速度只能粗略地反映速度的变化, 为了精确地描写速度随时间的变化, 把 Δt 趋近于零时平均加速度的极限定义为瞬时加速度(简称加速度), 即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-14)$$

亦即加速度等于速度对时间的一阶导数, 或等于位矢对时间的二阶导数。它既反映了速度大小的变化, 又反映了速度方向的

变化。加速度的单位是米/秒²(m/s²)。

在直角坐标系中

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k}) \\ &= \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k} \\ &= a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-15)$$

式中

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}, \\ a_y &= \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}, \\ a_z &= \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \end{aligned} \quad (1-16)$$

是加速度在三个坐标轴上的分量, 并且

$$a = |\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1-17)$$

$\mathbf{a}$ 的方向即是 $\Delta \mathbf{v}$ 趋近于零时 $\Delta \mathbf{v}$ 的极限方向。表 1-2 给出了一些实际的加速度的数值。

表 1-2 某些加速度(m/s²)

超速离心机中粒子的加速度	3×10^6
步枪子弹在枪膛中的加速度	$\sim 5 \times 10^5$
使汽车撞坏的加速度(以 27m/s 车速撞到墙上)	1×10^3
使人发晕的加速度	7×10
地球表面的重力加速度	9.8
汽车制动的加速度	~ 8
月球表面的重力加速度	1.7
由于地球自转在赤道上一点的加速度	3.4×10^{-2}
地球公转的加速度	6×10^{-3}
太阳绕银河系中心转动的加速度	$\sim 3 \times 10^{-6}$

在曲线运动中,加速度的方向总是指向轨迹凹侧的,(如图1-5)。

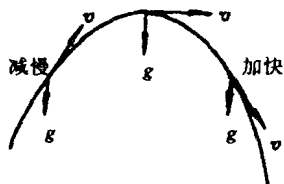


图1-5 曲线运动中的加速度

a 与 v 成锐角时,运动加快; a 与 v 成钝角时,运动减慢; a 与 v 成直角时,运动快慢不变。图1-5画出了抛射体运动中重力加速度 g 和速度 v 的夹角与运动快慢变化的关系。在直线运动中规定 v 和 a 沿坐标轴正方向者为正,反之为负。当 a 与 v 同向,即同号时,运动加快;当 a 与 v 反向,即异号时,运动减慢。

以上我们介绍了有关描述质点运动的一些物理量:位置矢量、位移、速度和加速度等。应该着重指出:这些量都是相对于所选定的参照系而言的,它们都具有相对性;它们描述质点运动的瞬时情况,都具有瞬时性;它们都是按矢量法则进行运算的,所以它们又都具有矢量性。

例1 已知一质点运动方程的分量式是:

$$x = 3.0t, \quad y = 2.0t^2$$

式中 t 以秒计, x, y 以米计。求(1)质点运动的轨道方程;(2) $t = 1.0\text{s}$ 和 $t = 2.0\text{s}$ 时,质点的位置矢量,并计算这一秒内的平均速度;(3) $t = 2.0\text{s}$ 时刻的速度和加速度。

解 (1)由运动方程消去 t , 得

$$y = \frac{2}{9}x^2$$