东南大学等七所工科院校　编
马文蔚等　改编

物理学　第四版

学习指南

马文蔚　谈漱梅　薛　豪　编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

东南大学等七所工科院校　编
马文蔚等　改编

物理学　第四版

学习指南

马文蔚　谈漱梅　薛　豪　编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

图书在版编目(CIP)数据

物理学第四版学习指南/马文蔚等编.—北京:高等教育出版社,2001
ISBN 7-04-009806-7

Ⅰ.东… Ⅱ.马… Ⅲ.物理学-高等学校-自学参考资料 Ⅳ.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 01124 号

责任编辑 董洪光 封面设计 张 楠 责任绘图 尹 莉
版式设计 马静如 责任校对 陈 荣 责任印制 杨 明

物理学 第四版 学习指南
马文蔚 谈漱梅 薛豪 编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009
电 话 010-64054588 传 真 010-64014048
网 址 http://www.hep.edu.cn
http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16 版 次 2001 年 11 月第 1 版
印 张 15.5 印 次 2001 年 11 月第 1 次印刷
字 数 280 000 定 价 13.50 元

前　言

本书是与马文蔚等改编的面向21世纪课程教材《物理学》(第四版)(以下简称教材)相配套的一本辅助性教学用书.本书是在第二版基础上修订而成的.与第二版相比较,除了由于教材将原来的第三、四两章合并为一章,本书也作相应变动外,最大的变动是去掉了习题选解部分,增加了自测题.这样,本书的章目和顺序与教材相同,每一章都含有基本要求、线索与联系、学习指导和自测题(个别章无自测题)四个部分.

基本要求部分参照1995年国家教委颁布的《高等工科院校大学物理课程教学基本要求》进行了修改.学习指导部分对内容、要求和文字表述等方面作了不少的修改和补充,使之更充实、更全面,并且前后格调保持一致.自测题的编写贯彻少而精的原则,但覆盖面广,内容紧紧围绕基本要求,而且选择了若干个理论联系实际的问题.自测题难度适中,着重物理概念,题型有选择题、填空题和计算题.书的最后附有自测题答案,还对大部分计算题给予了解题提示.

本书由谈漱梅修订,马文蔚统稿.由于水平有限,书中不妥和错误之处,敬请读者批评指正.

编者

1999年8月于南京

目　　录

第一章　质点运动学

基本要求

一　掌握位置矢量、位移、速度、加速度等描述质点运动及运动变化的物理量.理解这些物理量的矢量性、瞬时性和相对性.

二　理解运动方程的物理意义及作用.掌握运用运动方程确定质点的位置、位移、速度和加速度的方法,以及已知质点运动的加速度和初始条件求速度、运动方程的方法.

三　能计算质点在平面内运动时的速度和加速度,以及质点作圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度.

四　理解伽利略速度变换式,并会用它求解简单的质点相对运动问题.

线索与联系

力学是研究物体机械运动的规律及其应用的科学.所谓机械运动,就是指物体之间或物体内部各部分之间发生的相对位置随时间的变化.

研究力学,需要明确两个基本观点:

1　为了描述运动,必须选定参考系;而为了定量地描述,就必须在参考系上建立坐标系.参考系是具体的物体,而坐标系是参考系的一个数学抽象.

2　物体的运动是复杂的,为突出主要矛盾,抓住现象的本质,建立理想模型是异常重要的.质点就是我们建立的第一个理想模型.在一定条件下,如能忽略物体的“大小”和“形状”这两个次要因素,就可以将物体抽象为一个只有空间位置,且有质量的质点,从而可以使复杂的问题变简单了.在我们掌握了质点的运动规律以后,任何实际物体又都可以看成是质点的集合体,这就给我们研究实际物体的运动提供了方便.建立理想模型是一种重要的科学研究方法.以后,我们还会遇到一系列理想模型,如刚体、理想气体、点电荷、“无限大”带电平面、“无限长”载流导体、简谐运动和一维无限深方形势阱等.

物理学是一门定量的科学,需要运用较多的数学知识,特别是在大学物理学中要用矢量和微积分来求解物理问题,因此逐步提高运用高等数学来解决物理问题的能力,是学好大学物理很重要的一个方面.

本章质点运动学是研究如何描写质点的运动,而不讨论引起运动的原因.根

据运动叠加原理(或运动独立性原理),物体的运动可以当作几个各自独立进行的运动的叠加,这样就可以把实际存在的复杂运动看成是几个简单运动的叠加.叠加原理也是物理学的一个基本原理,以后还会遇到,例如力的叠加原理、电场强度的叠加原理、波的叠加原理等.

本章从一般运动出发引入描写运动和运动变化的四个基本物理量,即位置矢量(简称位矢)、位移、速度和加速度,进而指出将这四个基本量联系在一起的是运动方程.在求解质点运动学问题的过程中,要注意阐明解题的基本思路和步骤,并注意位矢、位移、速度和加速度的矢量性、瞬时性.

学习指导

一 描述质点运动和运动变化的物理量

1 位置矢量 r(简称位矢,又称径矢)

位矢是描写质点在空间位置的物理量,它是从所选定的坐标原点指向质点所在处的有向线段,是矢量,具有矢量性.当质点运动时,在不同的时刻,其位矢不同,所以它具有瞬时性.选取不同的坐标系,位矢不仅大小不同,方向也不同,如图 1-1 所示,在 Oxy 坐标系中,位矢是 $\boldsymbol{r}$,在 $O'x'y'$ 坐标系中,位矢是 $\boldsymbol{r}'$,因此,位矢又具有相对性.

正因为位矢具有以上性质,所以在具体计算之前,首先应选定坐标系.计算某时刻的位矢,不仅要求出 $\boldsymbol{r}$ 的大小,而且要求出 $\boldsymbol{r}$ 的方位,在平面直角坐标系中,通常用 $\boldsymbol{r}$ 与 Ox 轴的夹角 α 表示,见图 1-2.

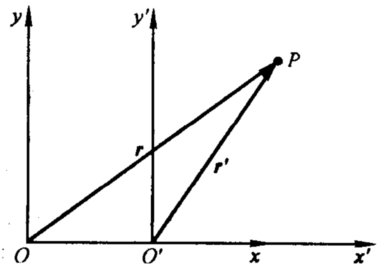

图 1-1

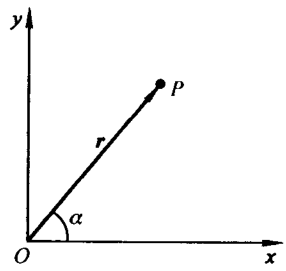

图 1-2

2 位移 $\Delta\boldsymbol{r}$

位移是描写质点位置变化大小和方向的物理量,它是从质点初始时刻位置指向终点时刻位置的有向线段.在相对静止的两个不同坐标系中,位移与坐标系无关.如图 1-3 所示,若质点从点 A 移至点 B,在 Oxy 坐标系中,位矢从 $\boldsymbol{r}_1$ 变化到 $\boldsymbol{r}_2$,位移 $\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1$,在 $O'x'y'$ 坐标系中,位矢从 $\boldsymbol{r}'_1$ 变化到 $\boldsymbol{r}'_2$,位移 $\Delta\boldsymbol{r}'=\boldsymbol{r}'_2-\boldsymbol{r}'_1=\Delta\boldsymbol{r}$.但在相对运动的两个不同坐标系中,位移则与坐标系有关.在

图 1-4中，$O'x'y'$坐标系(简称S′系)相对于Oxy坐标系(简称S系)沿Ox轴正向以速度$\boldsymbol{u}$运动，在Δt时间内，质点跟随S′系从空间点a移到点a'，$\overrightarrow{aa'}=\Delta\boldsymbol{r}_0$是S′系相对于S系的位移，在S′系内，该质点又从点a'移到点b，那么，此质点相对S′系的位移是$\Delta\boldsymbol{r}'$，相对S系的位移是$\Delta\boldsymbol{r}$，它们之间的关系是

$$\Delta\boldsymbol{r}=\Delta\boldsymbol{r}'+\Delta\boldsymbol{r}_0 \tag{1-1}$$

显然$\Delta\boldsymbol{r}\neq\Delta\boldsymbol{r}'$.

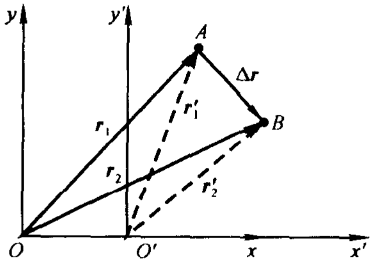

图 1-3

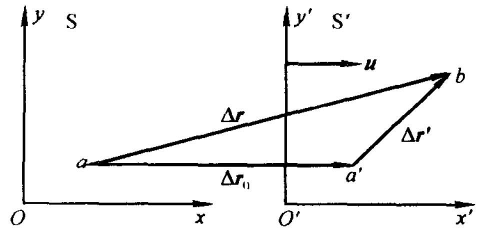

图 1-4

注意位移与路程的区别，路程是质点在空间运动轨迹的长度，用Δs表示．位移是矢量，路程是标量，且路程恒为正．在一般情况下，位移的大小并不等于路程．在图 1-5 中，若质点在Δt时间内从点A运动到点B，位置矢量由$\boldsymbol{r}$变为$\boldsymbol{r}'$，位移是$\Delta\boldsymbol{r}$，位移的大小$|\Delta\boldsymbol{r}|=AB$，而路程$\Delta s=\overset{\frown}{AB}$，显然$|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta s$．只有质点始终沿某一方向作直线运动时，它们才相等．然而当$\Delta t\to 0$时，从图可见$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}s$.

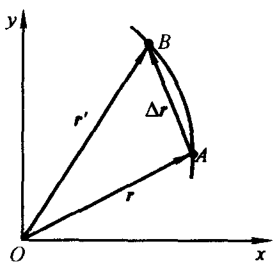

图 1-5

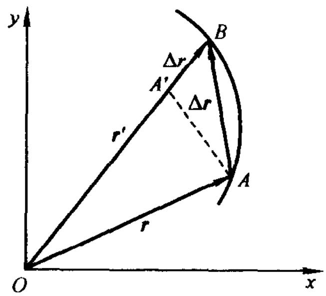

图 1-6

还需注意$|\Delta\boldsymbol{r}|$与$\Delta|\boldsymbol{r}|$(或Δr)[①]的区别，在图 1-6 中的线段OB上取$OA'=$

① 请注意本书中，凡矢量皆印成斜黑体字，如矢量$\vec{r}$印成$\boldsymbol{r}$，而普通字体则表示标量或矢量的值，所以$|\boldsymbol{r}|=r$.

OA,$A'B$ 的大小为 $\Delta r=\Delta|\boldsymbol{r}|=r'-r$ 表示质点离开坐标原点距离的变化,它与位移的大小 $|\Delta\boldsymbol{r}|$ 是两个不同的概念.

3 速度 $\boldsymbol{v}$

速度是描写质点位置变化快慢和方向的物理量,是矢量.

速率是描写质点运动路程随时间变化快慢的物理量,是标量,恒为正.瞬时速度(简称速度)的大小等于瞬时速率(简称速率),但平均速度的大小不等于平均速率,平均速度 $\bar{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$,而平均速率 $\bar{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$,前面我们已经讲过 $|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta s$,所以,$|\bar{\boldsymbol{v}}|\neq\bar{v}$.

需注意分速度与速度分量的区别,在直角坐标系中,有

$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_x+\boldsymbol{v}_y=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j} \qquad (1-2)$$

式中 $\boldsymbol{v}_x$、$\boldsymbol{v}_y$ 分别是速度 $\boldsymbol{v}$ 沿 Ox 轴和 Oy 轴上的分速度,是矢量,而 v_x、v_y 则是速度 $\boldsymbol{v}$ 在 Ox 轴和 Oy 轴上的分量,是标量.

物体作机械运动时,如果已知某时刻它的位矢 $\boldsymbol{r}$ 和速度 $\boldsymbol{v}$,则该物体在这一时刻的运动状态就完全确定了.例如气象台在预报台风时,总是报告×月×日×时,台风中心在东经××度,北纬××度(即为位矢 $\boldsymbol{r}$),正以每小时××公里的速度向××方向移动(即为速度 $\boldsymbol{v}$).因此,位矢 $\boldsymbol{r}$ 和速度 $\boldsymbol{v}$ 是描写机械运动的物态参量(第三章将会讲到,也可用位矢 $\boldsymbol{r}$ 与动量 $\boldsymbol{p}$ 作为描写机械运动的物态参量.)不同的运动形式,有不同的物态参量,例如描写气体状态的物态参量是压强 p、温度 T 和体积 V(见第六章).

4 加速度 $\boldsymbol{a}$

加速度是描写质点速度变化快慢和方向的物理量,是矢量,它的方向与速度增量 $\Delta\boldsymbol{v}$ 的方向一致.

在直线运动中,如果选 Ox 轴沿着质点运动的直线,在确定 Ox 轴的正方向以后,$x>0$,表示质点位于 Ox 轴的正方向;$x<0$,质点位于 Ox 轴的负方向.$v>0$,表示质点向 Ox 轴正方向运动;$v<0$,质点向 Ox 轴负方向运动.$a>0$,表示 $\boldsymbol{a}$ 的方向沿 Ox 轴正向;$a<0$,$\boldsymbol{a}$ 沿 Ox 轴负向.a 与 v 同号,表示质点作加速运动;a 与 v 异号,作减速运动.需注意:在这里经常会发生的错误是认为 $a>0$ 作加速运动;$a<0$ 作减速运动.

二 运动方程

质点的位矢随时间变化的函数关系式 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)$,称为质点的运动方程.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.因为知道了运动方程,就可以按它和速度、加速度的联系式:

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} \qquad (1-3)$$

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2} \tag{1-4}$$

求出速度和加速度随时间变化的规律以及任意特定时刻质点的运动状态.在平面直角坐标系中,有

$$\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j} \tag{1-5}$$

式中 $x(t)$和 $y(t)$是运动方程的分量式.

$$\boldsymbol{v}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} \tag{1-6}$$

$$\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j} \tag{1-7}$$

质点运动时在空间所经历的路径,称为轨迹,轨迹的数学表达式,称为轨迹方程.在平面直角坐标系中,从运动方程分量式 $x(t)$和 $y(t)$中消去时间 t,即可得到轨迹方程.例如,平抛运动的运动方程分量式为

$$x=v_0t,\ y=\frac{1}{2}gt^2 \tag{1-8a}$$

从两式中消去 t,得平抛运动的轨迹方程:

$$y=\frac{1}{2}\frac{g}{v_0^2}x^2 \tag{1-8b}$$

例1 已知质点沿 Ox 轴运动,其速度大小为 $v=6t-6t^2$,式中 v 和 t 的单位分别为 $\mathrm{m\cdot s^{-1}}$和 s.当 $t=0$ 时,质点位于坐标原点右方 5 m 处,求:(1) 在 $t=2$ s时的速度、加速度和所在位置;(2) 在 0~2 s 内平均速度的大小;(3) 作 $x-t$、$v-t$ 和 $a-t$ 图线,从图线上说明质点在什么时间内向 Ox 轴正方向运动;在什么时间内向 Ox 轴负方向运动;在什么时间内作加速运动;什么时间内作减速运动?

解 (1) 由题意知

$$v=6t-6t^2 \tag{1}$$

将 $t=2$ s 代入式(1),得 $v=-12\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

又

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=6-12t \tag{2}$$

将 $t=2$ s 代入式(2),得 $a=-18\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$

由于 $v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$,$\mathrm{d}x=v\mathrm{d}t$,将式(1)代入,并两边积分

得

$$\int_{x_0}^{x}\mathrm{d}x=\int_0^t v\mathrm{d}t=\int_0^t(6t-6t^2)\mathrm{d}t=3t^2-2t^3$$

故

$$x=x_0+3t^2-2t^3 \tag{3}$$

由题意知 $x_0=5$ m,将 $t=2$ s 代入式(3),得 $x=1$ m.

在求 x 时易犯的错误是:由式(1)得 $t=0$ 时,$v_0=0$,然后将 x_0、$v_0=0$ 和式(2) $a=6-12t$ 代入公式:

$$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2 \tag{4}$$

得

$$x=x_0+\frac{1}{2}(6-12t)t^2=x_0+3t^2-6t^3$$

显然，它与式(3)是不同的.发生该错误的原因是不清楚式(4)(包括公式 $v = v_0 + at$)仅适用于 $\boldsymbol{a}$ = 恒矢量的情况，而在本题中，加速度 $\boldsymbol{a}$ 是时间的函数.这告诉我们，应用公式时，必须注意公式的适用范围和条件.

(2) 平均速度：$\bar{v} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{x - x_0}{t - t_0}$

从题意知，$t = 0$ 时，$x_0 = 5$ m，而 $t = 2$ s 时，$x = 1$ m，由此得在 0～2 s 内的平均速度的大小为

$$|\bar{\boldsymbol{v}}| = \frac{|1-5|\ \text{m}}{|2-0|\ \text{s}} = 2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

求平均速度易犯的错误是用公式 $\bar{v} = \dfrac{v_1 + v_2}{2}$，此公式同样仅适用于 $\boldsymbol{a}$ = 恒矢量的情况.

(3) 由式(3)、式(1)和式(2)作 $x - t$、$v - t$ 和 $a - t$ 图线，如图 1－7 所示，从图线可以看出：

在 $t = 0 \sim 1$ s 内，$v > 0$，质点向 Ox 轴正方向运动；

$t > 1$ s，$v < 0$，质点向 Ox 轴负方向运动；

在 $t = 0 \sim 0.5$ s 内，$v > 0$，$a > 0$，质点向 Ox 轴正方向作加速运动；

$t = 0.5 \sim 1$ s，$v > 0$，$a < 0$，质点向 Ox 轴正方向作减速运动；

$t = 1$ s 时，$v = 0$，质点离开坐标原点的距离最远；

$t > 1$ s 以后，$v < 0$，$a < 0$，质点向 Ox 轴负方向作加速运动.

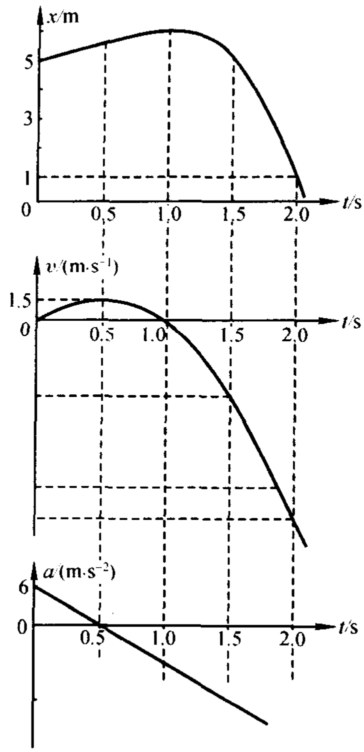

图 1－7

三 圆周运动

质点作圆周运动时，由于它离开圆心的距离始终不变，以圆心为坐标原点，选定 Ox 轴的正方向后，用径矢 $\boldsymbol{r}$ 与 Ox 轴间的夹角 θ 就能完全确定质点在空间的位置，θ 称为角坐标(见图 1－8)，θ 随时间变化的函数式 $\theta(t)$，也称为运动方程.需注意 θ 也是有正负的，若选定沿逆时针方向转动的 θ 为正，顺时针方向则为负.

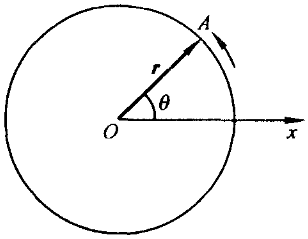

图 1－8

角坐标随时间的变化率，叫角速度，用 ω 表示：

$$\omega = \frac{\mathrm{d}\theta(t)}{\mathrm{d}t} \tag{1-9}$$

角速度与线速度的关系是

$$v = r\omega \tag{1-10}$$

式中 r 是圆的半径.

角速度随时间的变化率，叫角加速度，用 α 表示：

$$\alpha = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2} \tag{1-11}$$

质点作圆周运动的加速度常用自然坐标系表示：

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_{\mathrm{t}} + \boldsymbol{a}_{\mathrm{n}} = a_{\mathrm{t}}\boldsymbol{e}_{\mathrm{t}} + a_{\mathrm{n}}\boldsymbol{e}_{\mathrm{n}} \tag{1-12}$$

式中 $\boldsymbol{e}_{\mathrm{t}}$ 和 $\boldsymbol{e}_{\mathrm{n}}$ 分别是自然坐标系中的切向单位矢量和法向单位矢量．切向加速度 $\boldsymbol{a}_{\mathrm{t}}$ 是由速度大小变化而产生的加速度，其值为

$$a_{\mathrm{t}} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = r\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = r\alpha \tag{1-13}$$

法向加速度 $\boldsymbol{a}_{\mathrm{n}}$ 是由速度方向变化而产生的加速度，其值为

$$a_{\mathrm{n}} = \frac{v^2}{r} = r\omega^2 \tag{1-14}$$

一般曲线运动的加速度也可用自然坐标表示：

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_{\mathrm{t}} + \boldsymbol{a}_{\mathrm{n}} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_{\mathrm{t}} + \frac{v^2}{\rho}\boldsymbol{e}_{\mathrm{n}} \tag{1-15}$$

式中 ρ 是质点运动轨迹上某点的曲率半径．$\boldsymbol{a}_{\mathrm{n}}$ 的方向总是指向轨迹曲线的凹侧．例如斜抛运动时质点的加速度是重力加速度 $\boldsymbol{g}$，如图 1－9 所示，它可以分解为切向加速度 $\boldsymbol{a}_{\mathrm{t}}$ 和法向加速度 $\boldsymbol{a}_{\mathrm{n}}$．在上升过程中 $\boldsymbol{a}_{\mathrm{t}}$ 与速度 $\boldsymbol{v}$ 方向相反，质点作减速运动；在抛物线的最高点，切向加速度为零，$\boldsymbol{a}_{\mathrm{t}} = 0$，$\boldsymbol{g} = \boldsymbol{a}_{\mathrm{n}}$；在下落过程中 $\boldsymbol{a}_{\mathrm{t}}$ 与 $\boldsymbol{v}$ 方向相同，质点作加速运动．

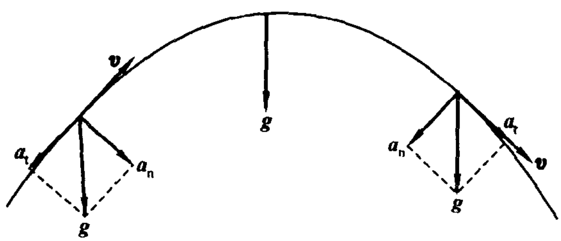

图 1－9

四　相对运动

不同参考系对同一个物体运动的描述是不同的．式(1－1)给出了质点在两个作相对运动的坐标系中位移之间的关系．在不同的坐标系中，速度也有类似的关系，即

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}' + \boldsymbol{u}$$

上式称为伽利略速度变换式，式中 $\boldsymbol{v}$ 是质点相对于静止坐标系 S 的速度，称为绝对速度；$\boldsymbol{v}'$ 是质点相对于运动坐标系 S′的速度，称为相对速度；$\boldsymbol{u}$ 是 S′系相对 S 系的速度，称为牵连速度．为了以后运算的方便，我们常将上式写成

$$\boldsymbol{v}_{AB}=\boldsymbol{v}_{AC}+\boldsymbol{v}_{CB} \tag{1-16}$$

或

$$\boldsymbol{v}_{AB}=\boldsymbol{v}_{AC}-\boldsymbol{v}_{BC} \tag{1-17}$$

式中$\boldsymbol{v}_{AB}$、$\boldsymbol{v}_{AC}$、$\boldsymbol{v}_{CB}$和$\boldsymbol{v}_{BC}$分别是物体 A 相对物体 B 的速度，A 相对 C 的速度，C 相对 B 的速度及 B 相对 C 的速度.

式(1-17)是两个矢量相减，在中学里，我们对矢量加法比较熟悉，对两矢量相减则比较生疏.若已知$\boldsymbol{v}_{AC}$和$\boldsymbol{v}_{BC}$，求$\boldsymbol{v}_{AB}$.将$\boldsymbol{v}_{AC}$和$\boldsymbol{v}_{BC}$两矢量从同一点 O 画起，然后从$\boldsymbol{v}_{BC}$的末端向$\boldsymbol{v}_{AC}$的末端作一矢量，就是$\boldsymbol{v}_{AB}$，如图 1-10 所示.

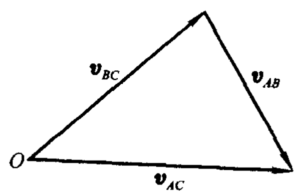

图 1-10

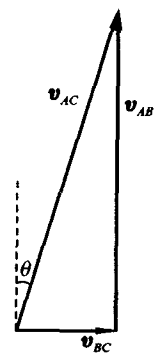

图 1-11

例 2 射击运动员欲射击一个活动靶.若靶以 10 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$的速度向正东方向运动，子弹的出膛速度为 200 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.当靶运动到运动员的正北面时，扣动扳机.问运动员应对准什么方向瞄准才能正好打中靶心？

解 欲使子弹打中靶心，子弹相对靶的速度方向必须指向正北.设子弹为 A，靶为 B，地面为 C，按照速度变换式(1-17)，有

$$\boldsymbol{v}_{AB}=\boldsymbol{v}_{AC}-\boldsymbol{v}_{BC}$$

作速度矢量图(图 1-11)，从图可得

$$\theta=\arcsin\frac{v_{BC}}{v_{AC}}=\arcsin\frac{10\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}}{200\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}}=2.87^{\circ}$$

即运动员的瞄准方向应为北偏东 2.87°.

自测题

1-1 一质点沿 x 轴运动，其运动方程为 $x=5t^2-3t^3$，式中时间 t 以 s 为单位.当 $t=2$ s 时，该质点正在：

(A) 加速； (B) 减速； (C) 匀速； (D) 静止. ( )

1-2 某人骑自行车以速率 v 向西行驶.今有风以相同的速率从北偏东 30°方向吹来，如图 1-12 所示.试问人感到风从哪个方向吹来？

(A) 北偏东 30°； (B) 北偏西 30°；

(C) 西偏南 30°;　　　　　　(D) 南偏东 30°.　　　　　　(　　)

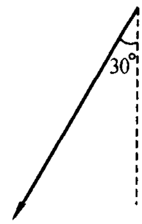

图 1-12

1-3　质点的运动方程是 $\boldsymbol{r}(t)=R\cos\omega t\boldsymbol{i}+R\sin\omega t\boldsymbol{j}$,式中 R 和 ω 是正的常量.从 $t=\pi/\omega$ 到 $t=2\pi/\omega$ 时间内,该质点的位移是________;该质点所经过的路程是________.

1-4　一质点在 $x=10$ m 处,由静止开始沿 Ox 轴正方向运动,它的加速度 $a=6t$(以 $\mathrm{m\cdot s^{-2}}$ 为单位).经过 5 s 后,它在 $x=$________ m 处.

1-5　如图 1-13 所示,一质点以初速度 $\boldsymbol{v}_0$ 与水平方向成 θ_0 角抛出,不计空气阻力,在________点的曲率半径最小,其值为________.在________点曲率半径最大,其值为________.

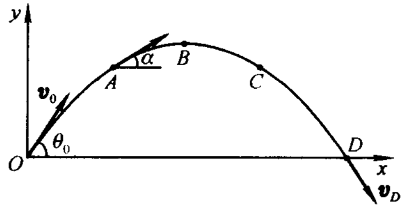

图 1-13

1-6　一匀质圆盘,半径 $R=1$ m,绕通过圆心垂直盘面的固定竖直轴转动.$t=0$ 时,$\omega_0=0$,其角加速度按 $\alpha=t/2$(以 $\mathrm{s^{-2}}$ 为单位)的规律变化.问何时($t=0$ 除外)圆盘边缘某点的线加速度 $\boldsymbol{a}$ 与半径成 45°角?

1-7　一质点在 Oxy 平面上运动.已知 $t=0$ 时,$x_0=5$ m,$v_x=3\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$,$y=\left(\frac{1}{2}t^2+3t-4\right)$(以 m 为单位).(1) 写出该质点运动方程的矢量表示式;(2) 描绘质点的运动轨迹;(3) 求质点在 $t=1$ s 和 $t=2$ s 时的位置矢量和这 1 s 内的位移;(4) 求 $t=4$ s 时的速度和加速度的大小和方向.

第二章 牛顿定律

基本要求

一 掌握牛顿三定律的基本内容及其适用条件.

二 熟练掌握用隔离体法分析物体的受力情况,能用微积分方法求解变力作用下的简单质点动力学问题.

*三[①]了解惯性力的物理意义及在非惯性系中运用牛顿定律求解动力学问题的方法.

线索与联系

上一章我们讨论了如何描写物体的运动,而没有讨论物体运动及运动状态变化的原因.本章的任务就是讨论物体间的相互作用以及由于这种相互作用所引起的物体运动状态变化的规律.

在16世纪以前,人们受古希腊哲学家亚里士多德观点的影响,一直认为力是维持物体运动的原因.亚里士多德曾说过:"推一个物体的力不再去推它时,物体便归于静止."这种观点在科学发展史上维持了近2000年,并被奉若圣明,直到意大利的伟大天文学家和物理学家伽利略通过实验和科学的抽象思维,指出力不是维持运动的原因,而是改变运动的原因.随后,英国的伟大物理学家牛顿,在伽利略等人工作的基础上,运用他所创立的微积分学为数学工具,建立了成为经典力学基础的牛顿定律,这就是本章的主要内容.

牛顿定律指出了力对物体的瞬时作用规律.下一章将在此基础上进一步研究力对物体的时间累积作用和力对物体的空间累积作用的规律;再有,利用牛顿定律还能导出质点系及流体和刚体的运动规律(见第三章、第四章),从而建立起整个经典力学的体系.此外,以后学习热学、电磁学等物理学的其他内容时,也需要用到牛顿定律的知识.因此,本章在力学和整个物理学中占有重要地位.

学习指导

一 牛顿定律

① *为选学内容,读者可根据自己情况选学或不学,以下均此.

1　第一定律

第一定律的内容是:任何物体都要保持静止或匀速直线运动状态,直到外力迫使它改变运动状态为止.它包含了两个重要概念:(1) 指出了任何物体都具有一种保持其原有的运动状态不变的特性——惯性.(2) 指出力是物体之间的一种相互作用,它是改变物体运动状态的原因.

需注意,第一定律并不是对任何参考系都是适用的,在加速前进的火车车厢内,第一定律就不成立①.我们把第一定律成立的参考系称为惯性系.相反,第一定律不成立的参考系称为非惯性系,上面提到的加速前进的火车,就是非惯性系.确定一个参考系是否是惯性系,只能根据观察和实验.太阳可看作是惯性系.由于地球绕太阳公转和绕地轴自转,所以它不是精确的惯性系,但在运动经历时间较短和精确度要求不太高的情况下,地球仍可近似看作惯性系.

第一定律不能用实验直接验证,因为自然界中不存在完全不受其他物体作用的绝对孤立的物体.因此,第一定律是在大量观察与经验的基础上,经过抽象思维和逻辑推理而得到的结果.这种由伽利略首先采用的思想实验的方法,对物理学的发展起了巨大的作用.爱因斯坦即运用思想实验方法建立了相对论.

2　第二定律

第二定律的数学表达式为

$$\boldsymbol{F}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}(m\boldsymbol{v})}{\mathrm{d}t} \tag{2-1a}$$

式中 $\boldsymbol{p}$ 为质点的动量,在质点的速度 v 远小于光速 c 的情况下,质量 m 可视为常量,上式可写成

$$\boldsymbol{F}=m\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=m\boldsymbol{a} \tag{2-1b}$$

式中 $\boldsymbol{F}$ 为作用在物体上的合外力,$\boldsymbol{a}$ 为物体的加速度.第二定律定量地确定了受力物体的加速度与其质量及合外力之间的关系.

学习第二定律时需注意以下几点:

(1) 第二定律只适用于质点(或可理想化为质点的物体).如果忽略了这一点,就会导致以下错误.例如:有一质量可略去不计的定滑轮,两侧各用轻绳悬挂质量分别为 m_1 和 m_2 的重物(见图 2-1),已知 $m_1 > m_2$,求重物的加速度.有人这样求:根据牛顿第二定律,物体所受合外力为 m_1g-m_2g.因此有

$$m_1g-m_2g=(m_1+m_2)a$$

你能说出它错在什么地方吗?想一想:正确的解法应如何?

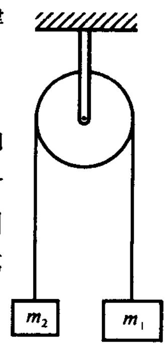

图 2-1

① 参阅教材上册第 2-6 节.

(2) 第二定律表述的是力的瞬时作用规律,加速度 $\boldsymbol{a}$ 和所受合外力 $\boldsymbol{F}$ 必须是同一时刻的瞬时量.

(3) 第二定律的数学表达式(2-16)是矢量式.实际应用此定律解题时,往往需要把它投影到坐标轴上,用其分量式,如在平面直角坐标系中,有

$$\begin{cases} F_x = ma_x \\ F_y = ma_y \end{cases} \tag{2-2}$$

在自然坐标系中,有

$$\begin{cases} F_t = ma_t = m\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \\ F_n = ma_n = m\dfrac{v^2}{\rho} \end{cases} \tag{2-3}$$

(4) 第二定律与第一定律一样,仅适用于惯性系,在非惯性系中,不能直接运用 $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$(见教材上册第 2-6 节).此外,第二定律还要求被研究的对象是作低速运动(即 $v \ll c$)的宏观物体.

在国际单位制中,力的单位是这样确定的.若质量为 1 kg 的物体,得到 $1\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$的加速度,其所受力的大小就是 1 N,即

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \times 1\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

3 第三定律

第三定律的数学表达式为

$$\boldsymbol{F} = -\boldsymbol{F}'$$

它指出了物体之间的作用力具有相互作用的特性,受力的物体同时也是施力的物体,反之亦然.作用力和反作用力总是成对出现,没有主从之分,它们同时产生,同时存在,同时消失.此外,作用力与反作用力总是属于同种性质的力,如作用力是摩擦力,反作用力必定也是摩擦力.

由于作用力和反作用力分别作用在两个物体上,所以它们永远也不会相互抵消.有人认为既然拔河比赛中甲队拉乙队的力与乙队拉甲队的力是一对作用力和反作用力,它们大小相等,方向相反,两队何以有胜负?这种想法错就错在他不明确这两个力是分别作用在甲队和乙队上的,是不能抵消或平衡的.胜负要看甲队或乙队所受的合外力如何.

二 常见的三种力

1 重力

重力来源于地球对物体的万有引力.由于地球绕地轴自转,地球对物体的万有引力中,一部分提供了物体随地球一起绕地轴作圆周运动的向心力,另一部分即为物体所受的重力.在地球南北极的地轴上,物体所受重力即为万有引力;而在赤道处,物体所受的重力等于万有引力与向心力之差.由于重力与万有引力的