"十三五"高职高专规划教材

大学物理

（高职版）

Daxue Wuli

张小芳　田宜驰　任修红／主编

电子科技大学出版社

"十三五"高职高专规划教材

大学物理

（高职版）

张小芳　田宜驰　任修红／主编

Daxue Wuli

电子科技大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

大学物理：高职版 / 张小芳，田宜驰，任修红主编.
—成都：电子科技大学出版社，2017. 5

ISBN 978–7–5647–4578–3

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①张… ②田… ③任… Ⅲ. ①物理学
－高等职业教育－教材 Ⅳ. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 127547 号

大学物理（高职版）

张小芳　田宜弛　任修红　主编

策划编辑　万晓桐
责任编辑　万晓桐

出版发行　电子科技大学出版社
　　　　　成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼　邮编　610051
主　　页　www.uestcp.com.cn
服务电话　028-83203399
邮购电话　028-83201495

印　　刷　四川煤田地质制图印刷厂
成品尺寸　185 mm×260 mm
印　　张　13.75
字　　数　355 千字
版　　次　2017 年 5 月第一版
印　　次　2017 年 5 月第一次印刷
书　　号　ISBN 978-7-5647-4578-3
定　　价　36.00 元

前　言

本书在编写过程中参考了物理学经典教材，学习了相关教材的先进经验，同时力求自己的特点，结合高职高专学生实际，用辩证唯物思想为指导，理论联系实际，努力做到该教材在高职高专教育中基础性和服务专业性的特征，加强基础物理概念和物理规律的阐述和实际应用，培养学生解决问题的能力和正确的人生价值观，提高学生的科学素养。

本书的编写均采用国际单位制，物理量和物理符号基本采用标准。具体内容紧密结合高职高专学生专业需求，从专业实际需求出发，结合物理基础知识和生活实际，浅显易懂的描述相关物理问题。具体编写过程充分考虑了高等职业技术学院学生的实际，知识点设计尽量衔接中学知识，贴近生活和专业实际，教材语言描述简洁易懂，突出重点，注重物理概念的阐述，结合例题和习题加大物理规律的理解巩固应用。内容编排上加强了物理原理在各领域中的应用，让学生能体会到物理在专业和实际中的应用和重要性。

另外，本团队成员均为教学一线教师，结合自身教学经验，用认真的态度撰写该教材。但由于我们水平有限，编写时间较为仓促，书中有缺点或错误，敬请读者指正，并给出宝贵意见和建议，使得它能逐步提高和完善。

编　者

目　录

第1章 运 动 和 力

没有今日的基础科学，就没有明日的科技应用……可以想象，我们现在的基础科学将怎样地影响21世纪的科技文明。

——李政道

爱因斯坦说："运动只能理解为物体的相对运动。在力学中，一般讲到运动，总是意味着相对于坐标系的运动。"宇宙中所有物体都在不停地运动变化着，运动具有绝对性。本章讨论如何描述物体（可视为质点理想模型）的运动，并引用矢量这一数学工具对其力学规律进行描述。

1.1 参考系 坐标系和质点

1.1.1 参考系和坐标系

某物体的运动总是相对于另一些选定的参照物体而言的。例如研究汽车的运动，常用街道和房屋或电线杆作参照物；观察轮船的航行，常用河岸上的树木、码头或灯塔作参照物。**这些作为研究物体相对运动时所参照的物体（或彼此不作相对运动的物体群），称为参照系**。

选择不同的参照系，描述的物体运动是不同的。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在一起运动。如果船上的人把手松开，同船的人看到物体沿直线自由下落，而岸上的人却看到物体做平抛运动。一般而言，研究运动学问题时，只要描述方便，参照系可以任意选择，但是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，还需要在参照系上建立适当的**坐标系**。最常用的坐标系是直角坐标系，例如要描述室内物体的运动，可以选地板的某一角为坐标原点，以墙壁和墙壁、墙壁和地板的交线为坐标轴，这就构成一个直角坐标系。有时也选用极坐标系，例如研究地球的运动时，可以选太阳为坐标原点，而坐标轴则指向某个恒星。坐标系实质上是由实物构成的参照系的数学抽象，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。

1.1.2 质点

物体的运动变化问题是复杂的，为了便于问题的解决，物理学常采用"理想化"的

方法。理想化方法是物理学的最重要的研究方法之一。用理想化的方法忽略问题的次要方面（或矛盾）使被研究的问题变得简单可行。同时因它保留了主要方面，使研究结果具有充分的价值。物理学理想化方法包括理想模型、理想过程、理想实验等。

质点是物理学中最基本最重要的一个理想化模型，也是牛顿力学的最基本的研究对象。

若物体的大小和形状在所研究的问题中可以忽略时，就可把物体当作是有一定质量的一个点，即质点。质点保留了实际物体的两个主要特征：**物体的质量**和**物体的空间位置**。

物体是否能视为质点，不是由物体本身的大小形状决定，而是由研究的问题而定。以下两种情况可以把物体当作质点对待。一是刚体作平动，物体作平动时物体内各点具有相同的轨迹，相同的速度和加速度，因而只需研究物体上一点的运动情况，就足以认识其全貌。二是物体的几何尺寸比它运动的尺度小许多，其形状和大小可以忽略，比如研究地球相对太阳的运动，地球和太阳均可视为质点。

如果所研究的物体或运动问题不能当作一个质点处理，则可将其视为由许多质点或质元组成的系统，这些质点或质元的组合，称为质点系。

1.2　位移　速度和加速度

1.2.1　位置矢量与运动学方程

现在利用矢量这个数学工具对质点的一般运动建立位置矢量和运动学方程的概念。

如图 1.2-1 所示，以坐标原点 O 为参考点，画一个指向质点 P 所在位置的有向线段（矢量），**用来表示质点所在位置的矢量**，称为**位置矢量**，简称**位矢** $\boldsymbol{r}$ 。

即由参考点引向质点所在位置的矢量为质点的位置矢量。

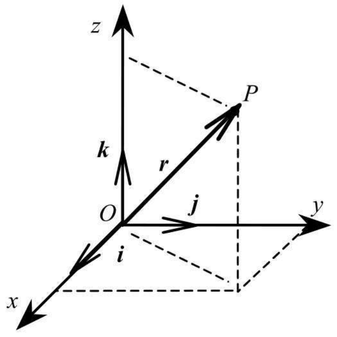

图 1.2-1　质点位置矢量

矢量与标量的不同在于标量只有大小，矢量是既有大小又有方向的物理量；还在于矢量的运算法则与标量的运算法则不同。矢量加减不能用代数加减，而是平行四边形法则或三角形法则。

为了使矢量便于表示和计算，采用三维坐标分量的表示方法。坐标分量可视为标量，

同一坐标分量的运算用标量运算法则。

如果质点在空间运动，确定它的坐标分量可用直角坐标系。直角坐标系有三个互相垂直的坐标轴 Ox 、Oy 、Oz 。质点 P 在三个坐标轴上的投影点的坐标分别为 x 、y 、z ，是标量。于是，位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 就可表示成

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \tag{1.2-1a}$$

式中，$\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$、$\boldsymbol{k}$ 分别为坐标轴 Ox、Oy、Oz 方向的单位矢量。$\boldsymbol{r}$ 可视为 $x\boldsymbol{i}$ 、$y\boldsymbol{j}$ 、$z\boldsymbol{k}$ 三个矢量之和，x、y、z 称为 $\boldsymbol{r}$ 的三个坐标轴方向上的位置坐标。还可以用位置坐标表示位置矢量的大小和方向，其大小为

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

位置矢量的方向余弦为

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

同理，若质点在二维平面上运动，那么在该平面上取平面直角坐标系 xOy ，就可确定质点的位置，即

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} \tag{1.2-1b}$$

若质点沿一维直线运动，那么在该直线上选定坐标的原点和正方向设为 Ox 轴，就可以确定质点的位置，即

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} \tag{1.2-1c}$$

质点 P 在运动的每一时刻，均有一位置矢量与之对应，那么它的位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 将随时间 t 变化，函数关系表示为

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \tag{1.2-2}$$

称为质点的**运动学方程，表示任意时刻质点的位置**。一旦得知质点的运动学方程，则该质点的全部运动情况就一目了然。

这时质点的坐标分量 x、y、z 也是时间 t 的函数

$$\left.\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned}\right\} \tag{1.2-3}$$

称为质点运动学方程的标量表达式。

那么，通常把质点运动的实际轨迹称为质点运动的轨迹。在运动学方程基础上消去时间 t 即得质点的**轨迹方程**。

例如，大家熟知的平抛运动就可分解为水平（x 轴方向）匀速直线运动，竖直（y 轴方向）自由落体运动，其运动学方程为

$$x = v_0 t$$

$$y = y_0 - \frac{1}{2}gt^2$$

上式联立消去 t 即得轨迹方程为

$$y = y_0 - \frac{g}{2{v_0}^2}x^2$$

1.2.2 位移

位移即位置矢量的增量，用来描述质点在一定时间间隔内位置的变动。

如图 1.2-2 所示，若质点在空间运动，从t到$t+\Delta t$，质点由位置A沿一曲线移动到位置B。作从A指向B的矢量表示质点的位置变化，称为**位移**（矢量），记作$\Delta \boldsymbol{r}$。可见位移是描述一段时间Δt内（或某个运动过程）质点位置变化的物理量，它同时描述了质点位置变化的距离大小和方向，仅与始末位置有关，与运动路径无关。位移等于始末位置矢量之差，即

$$\Delta \boldsymbol{r}_{AB}=\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k} \tag{1.2-4}$$

式中

$$\left.\begin{aligned}\Delta x&=x_B-x_A\\ \Delta y&=y_B-y_A\\ \Delta z&=z_B-z_A\end{aligned}\right\} \tag{1.2-5}$$

分别是Δt时间内质点各坐标分量的增量。

一般来讲，用位移表示质点在一段时间内位置变动的总效果。质点沿其轨迹上所经路径的长度用路程表示，即在一段时间内，质点在其轨迹上经过的路径的总长度称为路程，是标量。

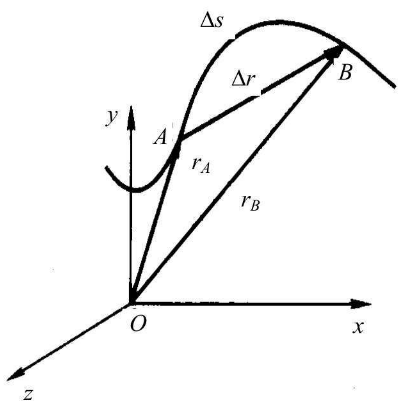

图 1.2-2 位移矢量

1.2.3 速度

为了描述质点运动过程中位置变化的方向和快慢，引入质点在Δt时间内的平均速度$\bar{\boldsymbol{v}}$，其等于该过程中单位时间内位移变化的平均值，即

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} \tag{1.2-6}$$

平均速度$\bar{\boldsymbol{v}}$是矢量，其方向与位移$\Delta \boldsymbol{r}$方向相同，其大小反映了Δt时间内质点位置变化的平均快慢程度。显然它不能反映质点在各个时刻的运动情况，用它来描述运动是粗略的。Δt越小，$\bar{\boldsymbol{v}}$越能反映该时间内的运动情况。

若令 $\Delta t \to 0$，则得到

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} \tag{1.2-7}$$

$\boldsymbol{v}$ 称为质点在时刻 t 或质点于 A 点的瞬时速度，简称速度。它是矢量，它的方向与 $\Delta\boldsymbol{r}$ 在 $\Delta t \to 0$ 时的极限方向相同。当质点做曲线运动时，它在某一点的速度方向就是沿该点曲线的切线方向。在国际单位制（SI）中，速度的单位是米/秒，用符号 m/s 表示。

在空间直角坐标系中，若质点的位移为

$$\Delta \boldsymbol{r}_{AB} = \Delta x\boldsymbol{i} + \Delta y\boldsymbol{j} + \Delta z\boldsymbol{k}$$

由速度定义得

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k} \tag{1.2-8}$$

其中

$$\left.\begin{aligned} v_x &= \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \\ v_y &= \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} \\ v_z &= \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t} \end{aligned}\right\} \tag{1.2-9}$$

分别为速度沿 Ox、Oy、Oz 三个轴的分量。根据这三个速度分量，可求得速度大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \tag{1.2-10}$$

1.2.4 加速度

在一般情况下，质点运动速度大小和方向可能随时间变化，为了描述速度的变化情况，引入加速度。加速度是速度矢量随时间的变化率。

如图 1.2-3 中，质点做曲线运动。在 t 时刻，质点位于 A 处，速度 $\boldsymbol{v}_A$；在 $t+\Delta t$ 时刻，质点位于 B 处，速度为 $\boldsymbol{v}_B$，则 Δt 时间内速度的增量为 $\Delta\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_B - \boldsymbol{v}_A$，则平均加速度为

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta \boldsymbol{t}} \tag{1.2-11}$$

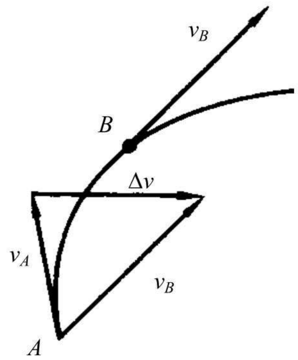

图 1.2-3 加速度示意图

$\overline{\boldsymbol{a}}$是矢量，它的方向与$\Delta\boldsymbol{v}$的方向一致。显然，它与平均速度一样，是一个粗略的概念。同理，为了精确地描述质点在任一时刻（或任意一位置）的速度变化率，当$\Delta t \to 0$时，平均加速度的极限，即

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} \qquad (1.2\text{-}12)$$

将式（1.2-8）代入上式得

$$\boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k} = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k} \qquad (1.2\text{-}13)$$

则加速度$\boldsymbol{a}$沿Ox、Oy、Oz三个轴的分量为

$$\left.\begin{aligned} a_x &= \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} \\ a_y &= \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2} \\ a_z &= \frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2} \end{aligned}\right\} \qquad (1.2\text{-}14)$$

1.2.5 法向加速度和切向加速度

在曲线运动中，用自然坐标系解决问题更方便。在自然坐标系中，加速度矢量可以按质点运动轨迹的法线方向和切线方向分解。

如图 1.2-4 所示，一质点在圆轨道上运动到A点。在A点沿圆的切线作一坐标轴AT，以质点运动的方向为正方向，称为切向方向坐标轴；沿半径方向指向圆心作一坐标轴AN，称为法向坐标轴。圆上每一点都有自己的切向坐标轴和法向坐标轴。曲线运动的质点，其速度方向沿所在点的切线方向，所以在自然坐标系中，速度只有切线速度分量。而此速度方向一直是变化的，描述这一方向变化的物理量称为法向加速度（因速度瞬时变化的方向是法线方向），而速率大小的变化的快慢称为切向加速度。

用最简单曲线运动——质点作变速圆周运动为例来说明，质点曲线运动速度的方向和大小均变化。如图 1.2-5 所示，质点在圆周上运动时，若t时刻质点在A点，其速度为$\boldsymbol{v}_1$，$t+\Delta t$时刻质点在B点，其速度为$\boldsymbol{v}_2$，则在Δt内，质点速度变化量为$\Delta\boldsymbol{v}$，其可视为$\Delta\boldsymbol{v} = \Delta\boldsymbol{v}_\tau + \Delta\boldsymbol{v}_n$，当$\Delta t \to 0$时，即速度变化量可视为两个分量之和，即变化量$\Delta\boldsymbol{v}_\tau$，其大小为速率大小的增量，方向与速度方向相同（即$A$切线方向）；变化量$\Delta\boldsymbol{v}_n$，其大小是速度方向改变量，方向即$A$法线方向。所以$A$的瞬时加速度为

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta v_\tau}{\Delta t}\boldsymbol{\tau} + \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta v_n}{\Delta t}\boldsymbol{n} = a_\tau\boldsymbol{\tau} + a_n\boldsymbol{n} \qquad (1.2\text{-}15)$$

即质点加速度有两个分量，一是由于速度方向变化所引起的，其方向指向圆心，即沿法向坐标轴的正方向，称为法向加速度a_n，描述质点的速度方向对时间的变化率，在圆周运动中，其值为

$$a_n = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta v_\tau}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{v\Delta\theta}{\Delta t} = v\lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{v^2}{r} \qquad (1.2\text{-}16)$$

另一个是由于速度大小变化所引起的，其方向沿切线方向，即在切向坐标轴上，称为切向加速度 a_τ，描述质点的速度大小对时间的变化率，其值为

$$a_\tau = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \tag{1.2-17}$$

由两个分量可求出作圆周运动的质点在任一点的加速度 $\boldsymbol{a}$，为两互相垂直的分量 a_n 和 a_τ 的矢量和，即 $\boldsymbol{a}$ 的大小和方向（用 $\boldsymbol{a}$ 与 $\boldsymbol{v}$ 的夹角 φ 表示）

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \tag{1.2-18}$$

$$\tan\varphi = \frac{a_n}{a_\tau} \tag{1.2-19}$$

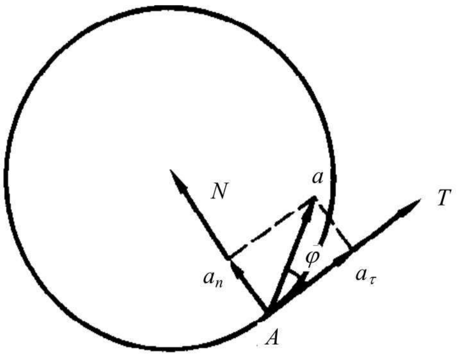

图 1.2-4　法向与切线加速度方向

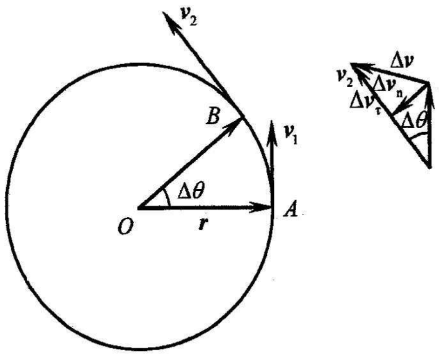

图 1.2-5　法向与切线加速度示意图

质点作一般的曲线运动时，速度的大小在变化，方向也在变化，其加速度 $\boldsymbol{a}$ 也可分解为切向 a_τ 和法向 a_n，此时（1.2-16）式中的 r 被曲线在该点的曲率半径 ρ 代替，因为曲线上任意微元弧 ds 可视为半径为 ρ 的圆的一段弧线。不同弯曲度的地方弧段所在的圆半径 ρ 不同，ρ 是曲线某点弯曲度的描述，称为曲率半径。所以任意的曲线运动，划分为若干不同曲率半径 ρ 的微元弧段 ds 上的圆周运动。

例 1.2-1　已知质点的运动学方程是（其中 R 和 ω 是常数）

$$x = R\cos\omega t$$
$$y = R\sin\omega t$$

求：质点的速度、法向加速度和切向加速度。

解：由题知此质点在 xOy 平面运动，将运动方程两边平方后相加，得

$$x^2 + y^2 = R^2$$

由此轨迹方程看出，质点是以原点为圆心，以 R 为半径的圆周运动

质点在 xOy 系中的速度分量为

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -R\omega\sin\omega t \qquad v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = R\omega\cos\omega t$$

由此得出速度的大小为 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = R\omega$，其大小不变

法向加速度为 $a_n = \dfrac{v^2}{R} = R\omega^2$　　切向加速度为 $a_\tau = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$

该质点做的是匀速圆周运动，速率大小不变，速度方向不断变化，只有法向加速度（向心加速度）。

思考与练习

1.2-1 质点做直线运动，其速度 v 随时间 t 变化规律如图 1.2-6 所示，则质点在 $t=0\to 2$ s 过程中位移为（　　）。

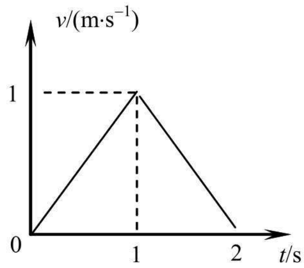

图 1.2-6　题 1.2-1 图

A. 0　　　B. 2 m　　　C. 4 m　　　D. 1 m

1.2-2 下列哪一种说法是错误的？（　　）

A. 物体有恒定的速率，仍可能有变化的速度

B. 物体具有恒定的速度，也可能有变化的速率

C. 物体具有加速度，其速度可以为零

D. 物体可以有向东的加速度，同是又具有向西的速度

1.2-3 某质点的运动方程 $x=6t-t^2$（SI），则在 $t_0=0$ 到 $t=4$ s 的时间间隔内，质点的位移大小为________，*质点通过的路程为________。

1.2-4 沿直线运动的质点，其运动学方程为 $x=3+2t+6t^2$（SI），初始时刻质点的位置坐标是________；质点的速度公式为________，初始速度等于________；加速度公式为________，初始时刻的加速度等于________；此质点作________运动。

1.2-5 质点在某平面内运动，其运动方程为 $x=0.1\cos(0.3\pi t)$，$y=0.1\sin(0.3\pi t)$（SI）。此质点运动学方程的矢量表示式 $\boldsymbol{r}=$________；它的轨道方程是________，由此可知，质点做________；它的速度 $\boldsymbol{v}=$________，速率 $v=$________；法向加速度 $a_n=$________，切向加速度 $a_\tau=$________，加速度的大小 $a=$________，方向是________。

1.2-6 由于风向变化，一帆船不断改变航向。它先沿北偏东 45° 行驶 3.2 km，然后沿北偏西 30° 行驶 4.5 km，最后沿北偏东 60° 行驶 2.6 km。上述航程 1 小时 15 分。

求：（1）此期间帆船的总位移；（2）此期间帆船的平均速度；（3）如果在整个航程中速率不变，求速率。

1.3 力 力的合成与分解

1.3.1 力

力是力学中的基本概念之一，在生活和工程技术中常见。早在约 2400 年前，《墨经》中写到“力，刑（形）之所由奋也。”即力是物体奋起运动的原因。**所谓力，就是物体间相互的作用，可使物体的运动状态和形状发生改变。**经典力学认为，只要两物体存在，彼此作用结果有两种：一种是物体间接触后导致的力，比如移动桌子时与地面的摩擦力，汽车车头牵引车厢的牵引拉力，跳水运动员起跳前对跳板的压力等等；另外一种是物体没有直接接触，通过物理场相互作用后形成的力，比如运动电荷在静电场中受到的力，铁器被磁铁吸引或者排斥的力等等。

经验表明，**力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点，称为力的三要素。**力是矢量，物理符号为 F，国际单位为牛顿，即 N。

力根据性质可分为：重力、弹力、万有引力、摩擦力、分子力、电磁力、核力等；根据效果不同分为：拉力、张力、压力、支持力、动力、阻力、向心力、回复力等；根据研究对象不同分为：外力和内力；根据力的作用方式分为：非接触力（如万有引力、电磁力等）和接触力（如弹力、摩擦力等）。

下面简单介绍常见的几种力（**因这些知识在中学物理中已经介绍过，在此只做简单的回顾复习**）。

重力：地球表面附近的一切物体都受到地球的吸引作用，这种由于地球吸引而使物体受到的力叫重力。当质点被一线悬挂并相对于地球静止时，质点所受重力的方向沿着悬线且竖直向下，其大小在数值上等于质点的悬线的拉力。实际上，重力是悬线对质点拉力的平衡力。

物体受到的重力符号为 $\boldsymbol{G}$，为矢量，大小与物体的质量 m 成正比，即

$$\boldsymbol{G} = m\boldsymbol{g}$$

式中，g 为重力加速度，理论上，物体在地球表面附近不同高度的重力加速度不同，但相差甚微，在精度要求不高的计算中，通常认为是常量。

弹力：通常，物体在某种力的作用下发生形变，因要恢复原状，而与接触物体产生力的作用，叫弹力。因此，弹力是一种最典型的因接触形成形变而产生的力。弹力的表现形式多样，生活和工程中，最常见的是因为相互挤压而发生形变的情况。如竹竿受力弯曲；建筑物的屋架压柱子，柱子因积压形变而产生向上的弹力托住屋架；等等。在力学中讨论最多的是弹簧的弹力。弹簧受力变形，水平放置的弹簧一端固定，另一端与质点相连，维持原长不变的状态叫自由伸展状态，以弹簧自由伸展时质点位置为坐标原点，沿弹簧轴线建立 x 轴，x 表示质点坐标或对于原点的位移，用 F 表示作用于质点的弹性力，根据胡克定律有

$$F = -kx$$

即弹簧弹力的大小与物体相对于坐标原点的位移成正比，负号表示方向与位移方向相反，比例系数 k 叫弹簧的劲度系数，与弹簧的匝数、直径、线径和材料等因素有关。

摩擦力：物体间相互接触，两者相对运动或有相对运动趋势，在接触表面处形成阻碍其相对运动的现象，叫作摩擦。

固体间摩擦分为静摩擦力和滑动摩擦力。当用力推水平面上的重物箱子，力气小了推不动，因为地面给予箱子沿着两者接触面与推力大小相等、方向相反的力，此力称为静摩擦力，其大小由物体所受推力和物体运动状态而定。当静摩擦力增至最大静摩擦力时，静摩擦力就会被滑动摩擦力所代替。

通常用 f_0、f 和 $f_{0\max}$ 分别表示静摩擦力、滑动摩擦力和最大静摩擦力；用 μ_0 和 μ 分别表示静摩擦系数和滑动摩擦系数。如果用 N 表示接触面上的正压力大小，则有

$$f_0 \leqslant f_{0\max} = \mu_0 N$$

$$f = \mu N$$

式中，μ_0 和 μ 与物体材料、表面光滑度、干湿程度及温度等因素有关。一般计算中，可视为常数。如表 1-1 给出几种材料间的 μ_0 和 μ 的近似值。

表 1-1　几种材料间的 μ_0 和 μ 的近似值

材料	μ_0	μ
钢-钢	0.5	0.4
钢-木	0.5	0.4
钢-聚四氟乙烯	0.04	0.004
木-木	0.4	0.3
木-皮革	0.4	0.3
橡胶轮胎-水泥路面	1.0	0.7

注：表中数据地给出，未考虑表面状况和相对速度等因素。

实际中，摩擦力的机制很复杂，无论多么光滑的表面，在显微镜下也显得凹凸不平，所以实际中的光滑是一种理想状况。比如，两块打磨光滑的金属块放在一起，要使得它们相对运动是很困难的，因为接触表面间的分子吸引作用会增大摩擦力。

1.3.2　力的合成与分解

通常，移动物体，可以是一个力完成，也可以是两个或多个力共同完成。如果物体的移动，是在一个力作用下或由多个力共同作用下分别完成的效果一样，则称两者作用效果相同。那么这个力就叫作多个力的合力，多个力叫作这个力的分力。多个力求合力，叫力的合成；求一个已知力的分力，叫力的分解。

现在讨论作用在一直线上力的合成，以最简单的二力合成为例。

如图 1.3-1 中作用在同一物体同一直线上的两个力，若两力方向相同，合力大小为两个分力大小之和，合力方向与分力方向同向；若两力方向相反，合力大小为两力大小之

差，合力方向与分力较大者方向一致。若在两力作用下，物体处于静止或匀速运动状态，则这两个分力关系为大小相等，方向相反。

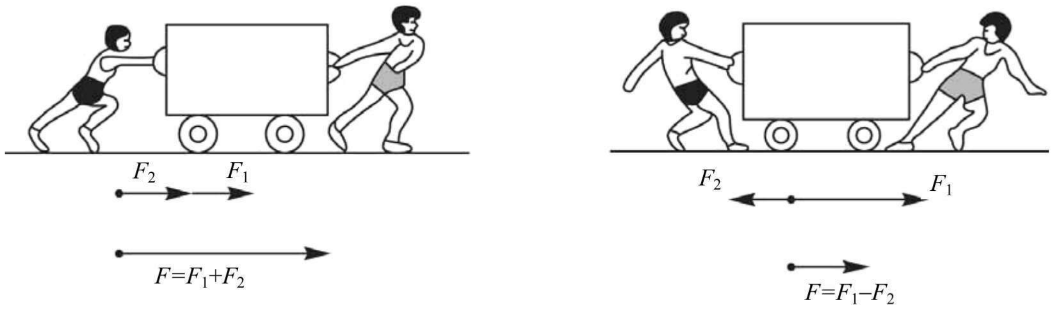

图 1.3-1　同一直线上两力的合成

如果是两个互成角度的力合成，遵从平行四边形法则或三角形法则处理。

实验证实，互成角度的两个力的合成，用图解可以表示成如图 1.3-2 所示的形式。两个互成角度的分力构成了平行四边形的两条邻边，对角线 $\boldsymbol{OF}$ 代表两个分力的合力。

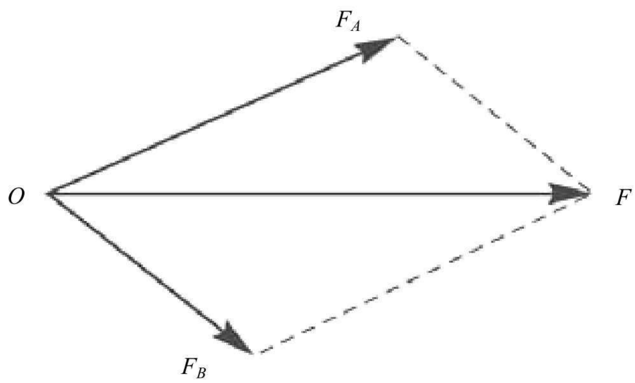

图 1.3-2　互成角度两力的合成

为简便起见，在求两力合力时，不必画出两力构成的平行四边形，只需画出平行四边形中的一个三角形即可。如图 1.3-2 中所示，共点 O 出发，$\boldsymbol{OF_A}$ 表示其中一分力，$\boldsymbol{F_AF}$ 可表示另外一个分力 $\boldsymbol{OF_B}$，则从 O 点连接 F 点为合力 $\boldsymbol{OF}$，就此构成一矢量三角形，这种用作三角形求合力的方法，即为三角形法则。

力的平行四边形法则，是将两个力合成一个力，也可以用在一切有向矢量的合成，如对位移、速度、加速度等均适用，该法则针对复杂力系在简化时必须用到的最基本方法之一。

同样，平行四边形法则（或三角形法则）也可以解决已知合力求分力的情况。