



高职高专“十一五”规划教材

物理学

杜丽娟 朱淑峰 韩蕴慧 主编

中国石油大学出版社

高职高专“十一五”规划教材

物理学

主 编 杜丽娟 朱淑峰 韩蕴慧

副主编 付丽娟 吴 峰 杨景芝

苏福一 元晓鹏

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理学/杜丽娟,朱淑峰,韩蕴慧主编. —东营:中国石油大学出版社,2007.6

ISBN 978-7-5636-2393-8

I. 物… II. ①杜…②朱…③韩… III. 物理学—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 066897 号

书 名: 物理学

作 者: 杜丽娟 朱淑峰 韩蕴慧

策划编辑: 宋秀勇(0546—8392139)

责任编辑: 刘 清(0546—8393394)

封面设计: 人和视觉

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: yibian@hdpu.edu.cn

排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心

印 刷 者: 泰安农大印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392139)

开 本: 180×235 印张: 14.25 字数: 285 千字

版 次: 2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

前言

PREFACE

目前,我国经济全面发展,要求学生拓宽专业口径,扩大就业范围,因而对学生的适应性特别是创造性提出了更高的要求。教育实践和人才培养规律都已证明,物理课程的教育在培养 21 世纪所需的各类人才中,都有着非常重要的作用,因此在构建高等教育理工类专业的课程体系中,物理学所具有的基础课程地位,只能加强,不可动摇,不可替代。

作为高职院校工科教育基础的大学物理课程的学习,不仅使受教育者获得必要的物理系统知识,而且还能从学习物理的过程中养成唯物辩证的思维方式,科学严谨的行为方法和勇于创新的探索精神。这些正是 21 世纪的专业人才应该具有的基本素质。

本书是莱芜职业技术学院“山东省物理学省级精品课程课题组”的一项研究成果,该书不仅渗透了这些参编教师多年的教学经验,而且还在一定程度上反映出他们在物理教学改革方面的一些很好的创新思路。本书体现一定的应用性、普适性和时代性等特点。

根据现在高职院校实际的教学课时和专业教学计划,在教材内容的选定和教学内容的安排上力求切合实际,不搞面面俱到,因此将与高职教学计划和专业技能相关的教学内容设为必学内容(前 9 章),而将与高职专业技能联系不十分密切的现代物理部分(如第 10 章狭义相对论,第 11 章量子物理)设为选修内容,教师可根据教学时数或学生的实际情况来自行安排,这样就突出了高职的特点。

参加本书编写的有杜丽娟(前言、第 3 章、第 7 章)、朱淑峰(第 1 章)、韩蕴慧(第 2 章)、付丽娟(第 4 章、第 5 章)、吴峰(第 6 章、第 10 章)、苏福一(第 8 章)、元晓鹏(第 9 章)、杨景芝(第 11 章)。全书由杜丽娟、朱淑峰、韩蕴慧主编,由杜丽娟统稿。

由于编者水平有限,本书难免会出现疏漏错误之处,敬请原谅,并恳请指正。

编 者

2007 年 4 月

目 录

CONTENTS

第 1 章 质点力学	(1)
1-1 参考系、运动学方程	(1)
1-2 位移、速度	(3)
1-3 加速度	(6)
1-4 牛顿运动定律	(8)
1-5 动量定理	(11)
1-6 动量守恒定律	(12)
1-7 变力的功、动能定理	(14)
1-8 保守力和非保守力、势能	(17)
1-9 功能原理、机械能守恒定律	(19)
习题	(20)
第 2 章 刚体的定轴转动	(24)
2-1 角速度和角加速度	(24)
2-2 力矩、转动定律、转动惯量	(26)
2-3 力矩的功、刚体转动的动能定理	(30)
2-4 角动量定理、角动量守恒定律	(34)
习题	(37)
第 3 章 热力学基础	(40)
3-1 理想气体的状态方程、准静态过程	(40)
3-2 热力学第一定律	(42)
3-3 理想气体的等值过程、绝热过程	(44)
3-4 循环过程、卡诺循环	(48)
3-5 热力学第二定律、卡诺定理	(52)
3-6 熵、熵增加原理	(54)
3-7 开放系统与耗散结构	(58)
习题	(60)
第 4 章 机械振动	(63)
4-1 简谐振动	(63)
4-2 简谐振动的特征量	(66)
4-3 旋转矢量法	(69)

目 录

CONTENTS

4-4	简谐振动的能量	(71)
4-5	振动的合成	(72)
4-6	阻尼振动、受迫振动、共振	(74)
	习题	(78)
第 5 章	机械波	(81)
5-1	机械波的产生和传播	(81)
5-2	平面简谐波波动方程	(84)
5-3	波的能量、能流密度	(88)
5-4	惠更斯原理、波的衍射	(91)
5-5	波的叠加、波的干涉	(93)
5-6	驻波	(95)
5-7	多普勒效应	(98)
	习题	(102)
第 6 章	静电场	(109)
6-1	电荷守恒定律、库仑定律	(109)
6-2	电场强度	(110)
6-3	静电场的高斯定理	(114)
6-4	电势、静电场的环路定理	(118)
6-5	电容、静电场的能量	(123)
	习题	(126)
第 7 章	稳恒磁场	(130)
7-1	磁场、磁感强度	(130)
7-2	毕奥-萨伐尔定律	(132)
7-3	磁场对运动电荷的作用力	(135)
7-4	磁场对载流导线的作用力	(139)
7-5	磁介质、磁场强度	(141)
	习题	(144)
第 8 章	电磁感应	(147)
8-1	法拉第电磁感应定律	(147)
8-2	动生电动势和感生电动势	(150)

目 录

CONTENTS

8-3 自感、互感	(152)
习题	(156)
第 9 章 波动光学	(159)
9-1 光的电磁特性	(159)
9-2 相干光	(162)
9-3 光程、光程差、相位差	(163)
9-4 波面分割干涉、杨氏双缝干涉	(165)
9-5 振幅分割干涉、迈克尔逊干涉仪	(167)
9-6 惠更斯-菲涅耳原理、光的单缝衍射	(172)
9-7 夫琅禾费圆孔衍射、光学仪器的分辨率	(175)
9-8 衍射光栅	(177)
9-9 光的偏振性、马吕斯定律	(178)
习题	(180)
第 10 章 相对论基础	(183)
10-1 伽利略变换、经典力学时空观	(183)
10-2 狭义相对论基本原理、洛伦兹变换	(185)
10-3 狭义相对论的时空观	(187)
10-4 相对论动力学基础	(189)
习题	(191)
第 11 章 量子物理	(193)
11-1 黑体辐射、普朗克量子假设	(193)
11-2 光电效应、爱因斯坦的光子假说	(197)
11-3 康普顿效应	(201)
11-4 德布罗意波、粒子的波动性	(204)
11-5 波函数、薛定谔方程	(206)
11-6 激光	(210)
习题	(215)
计算题答案	(217)
参考文献	(220)

第1章 质点力学

质点力学是研究质点的运动规律,其主要内容有四部分:(1) 质点运动学,研究物体位置随时间的变化规律。主要学习描述质点运动的基本物理量:位矢、位移、速度、加速度等。(2) 质点动力学,研究物体间的相互作用以及这种相互作用所引起的物体运动状态的变化规律。概括阐述牛顿运动定律及对质点运动的应用。(3) 动量与冲量,研究力对时间的积累效应。讨论动量、冲量等概念,得出动量定理和动量守恒定律。(4) 功和能,研究力对时间的积累效应。学习变力的功、动能和动能定理、保守力和非保守力及势能、功能原理、机械能守恒定律和能量守恒定律等知识。

1-1 参考系、运动学方程

一、参考系

物理运动是宇宙中最普遍、最基本的运动形式。从宇宙天体到微观粒子,从无生命的物体到有生命的世界,自然界一切的物体总是处于永恒的运动中。运动有机械的、电磁的、化学的、生命和思维的、从低级到高级的多种形式。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,我们把物体之间或物体各部分之间位置的变动称为**机械运动**。

为了描述物体的运动,必须选择另一个物体或几个虽在运动而相互间保持静止的物体群作为参考。被选择参考的物体或物体系,称为**参照物**或**参照系**。为了定量地描述物体位置及其变化,还要在选择的参照物上规定一个坐标系。一般最常用的是直角坐标系。有时还要用法向和切向坐标系等。

二、质点

任何实际物体都具有一定的大小和形状。由于物体运动时,内部各点的位置变化一般是各不相同的,因此要精确地描述实际物体的一般运动是一件很复杂的事。但是我们发现在不少情况下,由于物体的大小和形状与所研究的问题无关或者关系很小,因而在研究这类问题时对物体的形状和大小可以不考虑,即把它当作**具有一定质量而没有大小和形状的几何点**,称为**质点**。一个物体是否当作质点来处理,应根据物体运动的性质来确定。

(1) 平动的物体可简化为质点。一般来说,若物体上各点的运动情况都相同,即物体做平动时,这时物体中的各点具有相同的轨道、相同的速度和加速度,只要研究其中一点的运动情况,就足以代表物体的全貌。因此可把平动的物体简化为质点。

(2) 研究物体运动的观察范围比物体的几何尺寸大很多时,其形状和大小可忽略,这时可把物体当作质点。

质点是一个理想模型。在物理学中经常用理想模型来代替实际研究的对象,以突出对现象有根本性影响的主要性质,简化所讨论问题的复杂性。理想模型的选择不是任意的,它必须如实反映所研究现象中起主要作用的那些性质。物理学中的理想模型除质点外,还有刚体、理想气体、点电荷、弹簧振子等。

三、位矢和运动学方程

1. 位矢

要想描述质点的运动,首先得确定质点的位置。如图 1-1 所示,从坐标原点 O 作一条指向质点 P 所在位置的有向线段。此有向线段的长度是原点 O 到质点 P 的距离,其箭头指出质点 P 所在的方向。这种用来确定质点 P 所在位置的矢量,称为位置矢量,简称位矢,符号用 r 表示。

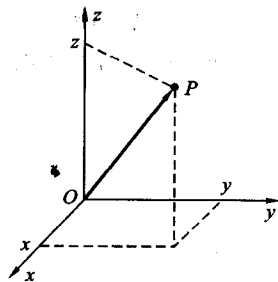


图 1-1 位矢

如果质点在空间运动,确定其坐标用空间坐标系。其空间坐标的位置可由位矢在三个坐标轴上的投影来确定,若 i, j, k 分别表示沿 x, y, z 轴正方向的单位矢量(见图 1-1),则

$$r = xi + yj + zk \quad (1-1a)$$

如果质点在平面上运动,确定其位置可由两个坐标值来确定

$$r = xi + yj \quad (1-1b)$$

如果质点做直线运动,确定其位置先规定坐标原点、正方向和单位长度,则质点的位置为

$$r = xi \quad (1-1c)$$

2. 运动学方程

当质点运动时,位矢和其坐标分量 x, y, z 都是时间 t 的函数,即

$$r = r(t) \quad (1-2a)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-2b)$$

式(1-2a)表示质点的位矢随时间变化的规律,被称为质点的运动学方程。式(1-2b)称为质点运动学方程的直角坐标分量形式。

例 1-1 水中有一小船,岸边的人用绳子通过离水面高 h 的滑轮拉船靠岸,如图 1-2 所示,设绳的原长为 l_0 ,人以匀速 v_0 拉绳,求小船的运动学方程。

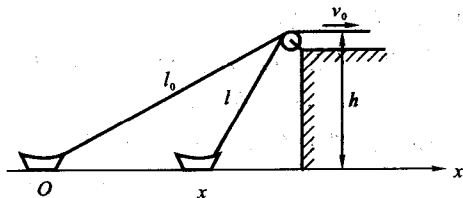


图 1-2 例 1-1 图

解 建立如图所示的坐标轴 Ox 。根据题意, $t=0$ 时,滑轮到小船的绳长为 l_0 ,经过时间 t 后绳长减少到 $l_0 - v_0 t$,则此时小船的位置坐标是

$$x = \sqrt{l_0^2 - h^2} - \sqrt{(l_0 - v_0 t)^2 - h^2}$$

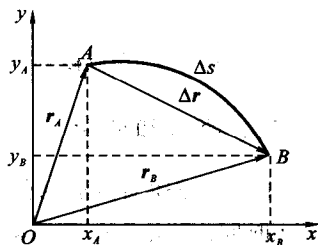
此式就是小船的运动学方程,指出了小船的位置 x 随时间 t 变化的规律。

1-2 位移、速度

一、位移和路程

1. 位移

为了描述质点的位置变化,引入了位移。如图 1-3 所示,若质点在平面上沿曲线运动, t 时刻在 A 点,经过 Δt 时间后到达 B 点,在时间 Δt 内质点通过的路程 Δs 为 AB 曲线的长度,而位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是由 A 指向 B 的有向线段。若用 $\mathbf{r}_A, \mathbf{r}_B$ 表示质点在初、末位置的位矢,则 Δt 时间内质点的位移

图 1-3 质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和路程 Δs

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

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是矢量,其大小由初、末位置间的位矢确定,方向由初位置 A 指向末位置 B 。在平面直角坐标系中,位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} \quad (1-3b)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x_B - x_A \\ \Delta y &= y_B - y_A \end{aligned} \right\} \quad (1-3c)$$

若质点沿直线运动,取这一直线为 x 轴,则质点的位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x \mathbf{i} \quad (1-3d)$$

2. 路程

路程是质点运动实际经过的路线的长度,路程是恒为正值的标量,随时间的增加

而增加,通常用 Δs 或 s 表示。

如图 1-4 是质点 A 点经过一曲线轨道运动到 B 点,在各时刻 t, t_1, t_2, t_3 质点分别位于 A, B, C, D 。在时间 $t-t_1, t_1-t_2, t_2-t_3$ 三段时间内质点的位移分别为 $\Delta r_1, \Delta r_2, \Delta r_3$, 由图 1-4 可知, $t-t_3$ 时间内的位移为

$$\Delta r = \Delta r_1 + \Delta r_2 + \Delta r_3 \quad (1-4)$$

上式表明,总位移等于各段时间内分位移的矢量和。

如果把 $t-t_3$ 时间细分为无穷多个时间间隔,就对应地得到无穷多个小位移,用符号 $d\mathbf{r}$ 表示,简称位移元,如图 1-5 所示,其大小是无穷小量,用 $|d\mathbf{r}|$ 表示,方向沿轨道切线指向质点前进的方向;对应的无限短时间内的无限小路程 ds ,简称路程元;显然有

$$|d\mathbf{r}| = ds \quad (1-5)$$

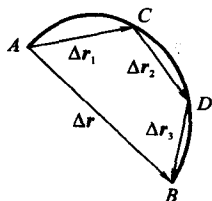


图 1-4 总位移等于各分位移的矢量和

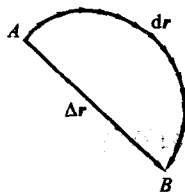


图 1-5 位移元

二、速度和速率

速度是描述质点运动位置变化快慢程度和运动方向的物理量。如图 1-6 所示,在 Δt 时间内,质点从 A 运动到 B ,运动了位移 Δr ,经历了路程 Δs 。

1. 平均速度和平均速率

当 Δr 一定时,时间 Δt 越短,质点从 A 到 B 的位置变化得越快;为了描述 Δt 时间内单位时间的位置变化快慢,引入了平均速度的概念。把 Δr 与 Δt 之比称为 Δt 时间内质点的平均速度,用符号 $\bar{v}$ 表示,即

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

平均速度 $\bar{v}$ 是矢量,它的方向与位移 Δr 的方向相同。

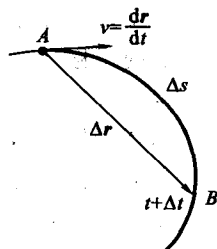


图 1-6 平均速度和速度

对实际物体运动的快慢,常常用 Δt 时间内的路程 Δs 与 Δt 的比值来反映,这个比值称为平均速率,用符号 $\bar{v}$ 表示,即

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

平均速率是标量,恒为正值。

2. 瞬时速度和瞬时速率

把 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度的极限称为质点在 t 时刻的**瞬时速度**, 简称**速度**, 用符号 $\mathbf{v}$ 表示, 即

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-8)$$

速度是描述运动质点在某一瞬时位置变化率的物理量。式(1-8)表明, 速度 $\mathbf{v}$ 与 $d\mathbf{r}$ 同方向, 沿轨道的切线指向质点前进的方向。

与此类似, 把 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速率的极限称为质点在 t 时刻的**瞬时速率**, 简称**速率**, 用符号 v 表示, 即

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (1-9)$$

速率是描述运动质点在某一瞬时运动快慢的物理量, 它恒为正值。

由式(1-5)、式(1-8)、式(1-9)得

$$|\mathbf{v}| = v \quad (1-10)$$

上式指出, 在任一时刻, 质点速度的大小与速率相等。

综上所述, 质点运动时, 其速度的方向是沿轨道切线指向质点前进的方向, 而速度的大小与速率相等。

在平面坐标系中质点的运动学方程是

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

利用速度公式(1-8), 得

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} \quad (1-11a)$$

用符号 v_x 和 v_y 分别表示 $\frac{dx}{dt}$ 和 $\frac{dy}{dt}$, 得出速度在直角坐标系中的分量式

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt} \\ v_y &= \frac{dy}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-11b)$$

如果已知 v_x 和 v_y , 可得出速度(速率)的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (1-11c)$$

方向(用速度 $\mathbf{v}$ 与 Ox 正方向的夹角 α 表示)为

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} \quad (1-11d)$$

在 SI 中, 速度和速率的单位都是米每秒, 符号为 m/s。

例 1-2 一质点做直线运动, 运动方程为

$$x = 1 + 3t^2 - t^3$$

式中, x 的单位为 m ; t 的单位为 s 。求:

- (1) 质点的速度公式;
- (2) 质点的速率公式。

解 (1) $v_x = \frac{dx}{dt} = 6t - 3t^2$ 。

(2) 上式指出, 此质点做变速运动, 而且, 当 $t < 2 \text{ s}$ 时, 速度 $v_x > 0$, 质点沿 x 轴正方向运动; 当 $t > 2 \text{ s}$ 时, 速度 $v_x < 0$, 质点沿 x 轴的负方向运动。所以, 此质点的速率公式为

$$v = |v_x| = |6t - 3t^2|$$

1-3 加 速 度

一、瞬时加速度

为描述质点的速度随时间变化的情况, 引入加速度这个物理量。如图 1-7 所示, 质点做曲线运动, 在 t 时刻质点位于 A 点, 速度为 v_A ; 经过时间 Δt 质点运动到 B 点, 速度为 v_B 。在时间 Δt 内速度变化了 $\Delta v = v_B - v_A$ 。

把速度的增量 Δv 与所用时间 Δt 之比称为质点在这段时间内的平均加速度, 用符号 $\bar{a}$ 表示, 即

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1-12)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均加速度的极限, 被称为质点在时刻 t 的瞬时加速度, 简称加速度, 用符号 a 表示, 即

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (1-13)$$

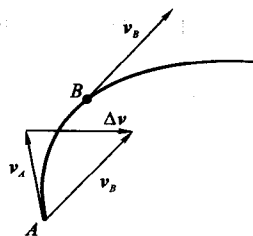


图 1-7 速度的增量

加速度 a 是矢量, 它是描述运动质点的速度大小和方向随时间变化快慢的物理量。

将式(1-11a)和式(1-11b)代入式(1-13), 得直角坐标系中的加速度表示式

$$a = \frac{dv_x}{dt} i + \frac{dv_y}{dt} j = \frac{d^2x}{dt^2} i + \frac{d^2y}{dt^2} j \quad (1-14a)$$

用符号 a_x 和 a_y 分别表示 x 轴和 y 轴方向的加速度分量, 则

$$\left. \begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ a_y &= \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \end{aligned} \right\} \quad (1-14b)$$

如果已知 a_x 和 a_y , 可求得加速度 a 的大小和方向(用与 x 轴正方向的夹角 α 表示)

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (1-14c)$$

$$\tan \alpha = \frac{a_y}{a_x} \quad (1-14d)$$

在上面各式中,加速度的单位是米每二次方秒,符号为 m/s^2 。

二、法向加速度和切向加速度

质点做曲线运动时,因为曲线运动的速度方向时刻在发生变化,因此做曲线运动的质点都有加速度。加速度矢量除可按上述直角坐标轴分解表示外,也可按质点运动轨道的法向方向和切线方向分解。

在图 1-8 中,在 A 点沿切线作一坐标轴 a_t ,以质点运动方向为切向坐标轴正方向;沿半径作法向坐标轴 a_n ,以指向圆心的方向为法向坐标轴的正方向。曲线上任一点都有自己的切向坐标轴和法向坐标轴。将加速度沿切向和法向坐标轴分解,可得切向加速度 a_t 和法向加速度 a_n 。

由图 1-8 可知,切向加速度 a_t 的大小描述的是速度大小随时间的变化快慢,其方向沿该点的切线方向,则有

$$a_t = \frac{dv}{dt} \quad (1-15a)$$

法向加速度是速度的方向变化的原因,其方向指向圆心,其大小为

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (1-15b)$$

式中, R 表示该点的曲率半径。

加速度的大小为

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \quad (1-16a)$$

其方向用 a 与切线方向的夹角 φ 表示,即

$$\tan \varphi = \frac{a_n}{a_t} \quad (1-16b)$$

例 1-3 一质点在 Ox 轴上运动,运动方程为

$$x = 4t^2 - t^3$$

式中, x 的单位为米,符号为 m ; t 的单位为秒,符号为 s 。求:

(1) 质点在任一时刻的速度和加速度;

(2) 质点在 2 s 末的速度和加速度。

解 (1) 质点在 Ox 轴上运动,速度为

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 8t - 3t^2 \quad (1)$$

其加速度为

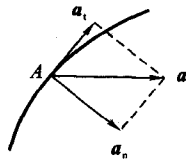


图 1-8 加速度的切向和法向分解

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 8 - 6t \quad (2)$$

上式表明,此质点做变加速直线运动。

(2) 将 $t=2\text{ s}$ 分别代入(1)式和(2)式,得 2 s 末质点的速度和加速度分别为

$$v_x = 8 \times 2 - 3 \times 2^2 = 4 \text{ (m/s)}$$

$$a_x = 8 - 6 \times 2 = -4 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

例 1-4 已知质点的运动学方程为

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

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

其中的 R 和 ω 是两个常量。求质点的速度、法向加速度和切向加速度。

解 速度在直角坐标系中的分量为

$$v_x = \frac{dx}{dt} = -R\omega \sin \omega t$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = R\omega \cos \omega t$$

速度的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = R\omega$$

法向加速度为

$$a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$$

切向加速度为

$$a_t = \frac{dv}{dt} = 0$$

1-4 牛顿运动定律

质点运动学研究质点位置和速度等随时间变化的规律,但不涉及发生变化的原因;质点动力学研究质点的运动和所受外力间的联系,从而阐明物体运动状态发生变化的原因。使人们能够在生产实践和科学实验中精确的设计和 control 物体的运动形式。而动力学最基本的规律是牛顿运动定律。牛顿运动定律是研究一般动力学问题的基础。

一、牛顿第一定律

牛顿在他的《自然哲学的数学原理》一书中写道:任何物体都将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时为止。这一规律称为牛顿第一定律,其数学形式可写成

$$\mathbf{F}=0 \text{ 时, } \mathbf{v}=\text{恒矢量}$$

(1-17)

注意:

(1) 任何物体都具有保持其运动状态不变的性质,这种性质称为惯性。因此牛顿第一定律又称为惯性定律。

(2) 由于物体具有惯性,所以要使物体的运动状态发生变化,一定要受到力的作用。由此说明,力是运动状态发生改变的原因。物体如果不受其他外力作用,它将保持静止或匀速直线运动状态不变。即,力不是维持速度和产生速度的原因,而是改变速度的原因。

(3) 物体的运动状态总是与所选择的参考系有关。一个物体在某参考系里做匀速直线运动,但在另一参考系里可能做变速运动。例如,在一列加速运动的火车车厢内,有一物体放在光滑桌面上,若选地面为参考系,物体受合力为零,由于惯性,它保持静止状态,对地面而言,牛顿第一定律成立。若以车厢为参考系,物体受合外力为零,但它却相对于车厢向后做加速运动。对车厢而言,牛顿第一定律不成立。由此看来,牛顿第一定律成立与否与所选参考系有关。对牛顿第一定律成立的参考系称为惯性参考系,简称惯性系。

二、牛顿第二定律

牛顿第一定律定性地指出了力和运动的关系。牛顿第二定律则进一步给出了力和运动的定量关系。

当物体(质点)受到外力作用时,物体所获得的加速度 $\mathbf{a}$ 的大小与合外力 $\mathbf{F}$ 的大小成正比,与物体本身的质量 m 成反比,加速度的方向与合外力的方向一致。该规律称为牛顿第二定律,即

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}$$

对于宏观低速运动的物体,速度 $\mathbf{v}$ 不太大,物体的质量 m 可认为是一个常量,所以上式写成

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} = m \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-18)$$

注意:

(1) 牛顿第二定律只适用于质点的运动。定律中涉及的质量是物体惯性大小的量度,称为物体的惯性质量。

(2) $\mathbf{F}=m\mathbf{a}$ 中的 $\mathbf{F}$ 是指合外力,不是其中某一个力。根据牛顿第二定律,直角坐标系中的分量表示为

$$\left. \begin{aligned} F_x &= ma_x \\ F_y &= ma_y \end{aligned} \right\} \quad (1-19)$$

但物体假如只在某一个方向上受力,则物体也只在这个方向上产生加速度。

(3) $F=ma$ 中的加速度 a 和力 F 是瞬时对应关系。

(4) 牛顿第二定律只适用于惯性系。

三、牛顿第三定律

牛顿第三定律指出了力是物体间的相互作用。内容表述为:物体间的作用力 F 与反作用力 F' 大小相等、方向相反,并且作用在同一条直线上。数学表述式为

$$F = -F' \quad (1-20)$$

注意:

(1) 作用力和反作用力同时产生同时消失:有作用力必同时有反作用力,如地球和地面上物体之间的相互引力;物体之间的相互弹力;摩擦力等都是如此。

(2) 作用力和反作用力分别作用于两个物体上,其效果不能相互抵消。而一对平衡力是作用在同一物体上。

(3) 作用力和反作用力总是属于同一性质的力,即如果作用力为万有引力(弹性力、摩擦力),则反作用力亦为万有引力(弹性力、摩擦力)。

(4) 作用力与反作用力与参考系的选择无关,因为它只涉及物体之间的相互作用性质。

四、牛顿运动定律的适用范围

牛顿运动定律是质点动力学的基本定律,也是整个经典力学理论的基础,无论是日常生活及工程建设,还是探索宇宙和研究微观粒子,都离不开牛顿力学。但是牛顿力学仍然是人类知识长河中的相对真理,有着一定的适用范围。

(1) 牛顿运动定律仅适用于惯性参考系。

(2) 牛顿运动定律仅适用于速度比光速低得多的宏观物体。

(3) 牛顿运动定律仅适用于实物,不完全适用于场。例如牛顿运动定律认为力的传递可以超越空间瞬间的传递,但实际两物体间相互作用是靠场来传递的。但场的传递是要有时间的。所以在电磁学中,电荷之间的电磁力一般不遵守牛顿第三定律。而普通力学中,由于物体距离较近,其相对速度又不大,所以牛顿运动定律总是适用的。

五、牛顿运动定律应用举例

应用牛顿运动定律大体上可以解决计算两类问题:(1) 已知质点所受合力,计算它的加速度 a ;(2) 已知质点的加速度 a ,求它所受到的作用力 F 。

例 1-5 如图 1-9 所示,质量为 m 的小球,系于长为 l 的轻绳的一端。绳的另一端固定于 O 点,小球可绕 O 点在铅锤面内做圆周运动。当小球运动到绳与垂线夹角