



欢迎进入**王迈迈英语教学网**网络课堂
聊天室语音讲课 BBS课后提问 专用信箱答疑解惑
<http://www.wmmenglish.com>

与高等教育出版社第五版《普通物理学》配套

普通物理学 教与学参考

1

主编 张智立



中国致公出版社



欢迎进入王迈迈英语教学网网络课堂
聊天室语音讲课 BBS课后提问 专用信箱答疑解惑
<http://www.wmmenglish.com>

与高等教育出版社第五版《普通物理学》配套

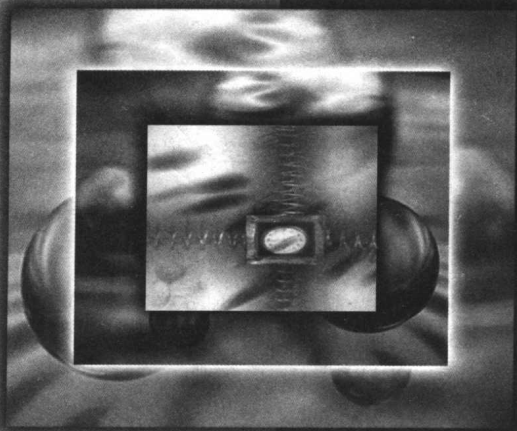
普通物理学 教与学参考

1



主编 张智立 副主编 王斌

编者 张智立 王斌 余功奇 刘向绯



中国致公出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学教与学参考/张智立主编. —北京:中国致公出版社, 2003. 6

ISBN 7-80179-164-9

I. 普... II. 张... III. 普通物理学 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 041713 号

普通物理学教与学参考(一)

中国致公出版社出版

新华书店经销

文字六〇三厂印刷

开本: 850 × 1168 毫米 1/32 印张 33 字数 780 千字

2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1—10000 册

ISBN 7-80179-164-9/G · 068

定价: 36.00 元(本册 12.00 元)

Foreword

前言

本书是根据国家教委大学物理课程指导委员会制订的《物理课程教学基本要求》，结合编者多年的教学经验编写的一本大学物理学习参考书。工科大学生在学习大学物理课程时普遍感到物理学“头绪”多，抓不住重点，同学们听着明白，却做不了题，很多人都感到物理很难学。为了解决这一难题，我们编写了《普通物理学教与学参考》，来帮助同学们搞清大学物理的基本概念、基本规律，提高同学们分析问题解决问题的能力。

本书共分 20 章，覆盖了大学物理的全部内容。每章以基本要求、知识导航、内容提要、疑难辨析、典型题解、习题详解、同步自测为主要内容。每章的基本要求为学生指明了该章学习的方向、重点。知识导航帮助读者了解各个知识点之间的关系，使学生对该章的全貌一目了然。内容提要则进一步简要介绍了该章重要的物理概念、物理规律、物理方法及重要结论。疑难辨析提出了若干重点、难点、疑点问题进行分析、讨论，澄清一些常见错误和模糊认识，加深了对基本规律的理解，使同学们在学习中尽量少走弯路。典型题解部分，我们没有选用大多数教材中已有的该章最基本的题型和最基本的解题方法的例题，而多选用以这些基本题型和基本解题方法为基础的拓展题型，使大家了解物理习题的演变，拓展解题的思路，达到举一反三的目的。习题详解对《普通物理学》的所有习题，都作了详细地解答。自测试题题型以选择题、填空题、计算题为主，题目的分布与教学要求吻合，自

测试题是为学生学习本章后检查学习效果提供的一种手段。

我们在编写本书时参考了清华大学、北京大学、大连理工大学、东北大学、四川师范大学等兄弟院校编写的相关书籍,因参考书籍很多,就不一一列举了。在此,一并表示深深的谢意。

本书共分三册。本册内容主要包括力学、热学两部分。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编者

2003 年 11 月

CONTENTS

目录



第一章

质点的运动

1

- 一、本章要求 1
- 二、知识导航 2
- 三、内容提要 2
- 四、疑难辨析 5
- 五、典型题解 7
- 六、习题详解 15
- 七、同步自测 33



第二章

牛顿运动定律

39

- 一、本章要求 39
- 二、知识导航 40
- 三、内容提要 40
- 四、疑难辨析 41
- 五、典型题解 44
- 六、习题详解 53
- 七、同步自测 81



第三章

运动的守恒定律

90

- 一、本章要求 90
- 二、知识导航 91
- 三、内容提要 91
- 四、疑难辨析 95
- 五、典型题解 98

六、习题详解	114
--------------	-----

七、同步自测	138
--------------	-----



第四章 刚体的转动

一、本章要求	149
--------------	-----

二、知识导航	150
--------------	-----

三、内容提要	150
--------------	-----

四、疑难辨析	152
--------------	-----

五、典型题解	154
--------------	-----

六、习题详解	164
--------------	-----

七、同步自测	182
--------------	-----



第五章 相对论基本

一、本章要求	194
--------------	-----

二、知识导航	195
--------------	-----

三、内容提要	195
--------------	-----

四、疑难辨析	198
--------------	-----

五、典型题解	200
--------------	-----

六、习题详解	209
--------------	-----

七、同步自测	221
--------------	-----



第六章 气体动理论

一、本章要求	229
--------------	-----

二、知识导航	230
--------------	-----

三、内容提要	231
--------------	-----

四、疑难辨析	238
--------------	-----

五、典型题解	243
--------------	-----

六、习题详解	258
--------------	-----

七、同步自测	271
--------------	-----

**第七章****热力学基础**

.....	276
一、本章要求	276
二、知识导航	277
三、内容提要	278
四、疑难辨析	284
五、典型题解	290
六、习题详解	318
七、同步自测	337

第1章

质点的运动

力学是研究物体机械运动规律及其应用的科学。机械运动是指物体之间或物体内部各部分之间的相对位置随时间变化。本章的任务是描述运动,讨论直线、曲线、抛体和圆周运动,最后讨论相对运动中的速度相对性问题。引入质点概念,这种理想模型将在大学物理中大量运用。采用矢量和微积分的方法来表述物理概念,是高等数学首次用来解决物理问题。

一、本章要求

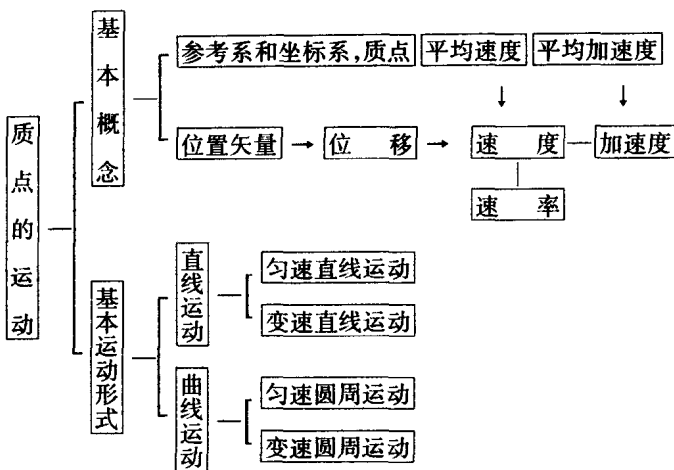
1 掌握质点模型和参考系。

2 掌握位置矢量、位移、速度、加速度等描述质点运动和运动变化的物理量。

能借助于直角坐标系熟练地计算质点在平面内运动时的速度和加速度,能熟练计算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。

3 理解牛顿力学的相对性原理,理解伽利略坐标、速度变换。能分析与平动有关的相对运动问题。

二、知识导航



三、内容提要

位置矢量、位移、路程

质点作机械运动时,为了确定质点在空间的位置,需要引入位置矢量,在直角坐标中位置矢量和坐标的关系是

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

质点运动时,其位置随时间变化,位置矢量是时间的函数,即

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

上式叫做质点的运动函数,一般称为质点的运动学方程。

质点 t_1 在时刻的位置矢量为 $\mathbf{r}_1$, t_2 时刻的位置矢量为 $\mathbf{r}_2$, 在 $t_1 - t_2$ 这段时间内质点的位移定义为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}$$

位移和路程是两个不同的概念。

2 速度

为了描写质点的运动的快慢程度以及运动的方向,需要引进速度矢量,即

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k}$$

在直角坐标中,速度的三个分量分别为

$$v_x = \frac{dx}{dt} \quad v_y = \frac{dy}{dt} \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

速度的大小叫速率,速率 $v = \frac{dS}{dt}$,它是路程对时间的导数。

在自然坐标中,速度亦可作如下表示

$$\mathbf{v} = \frac{dS}{dt}\boldsymbol{\tau}$$

$\boldsymbol{\tau}$ 表示质点运动轨迹上切线方向的单位矢量,用它表示速度的方向。

3 加速度

为了描写速度变化的快慢程度,需要引进加速度。其定义为

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k}$$

在直角坐标系中,加速度的三个分量分别为

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

在自然坐标系中,加速度可分解为切向加速度和法向加速度,即

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_\tau + \mathbf{a}_n$$

切向加速度 $\mathbf{a}_\tau = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau}$,它的大小与速率随时间的变化有关;而法向加速度, $\mathbf{a}_n = \frac{v^2}{\rho}\mathbf{n}$, ρ 为轨迹曲线在该处的曲率半径, $\mathbf{n}$ 表示该处指向曲率中心的单位矢量。速度的方向发生变化时产生法向加速度。

4 角速度

质点作圆周运动

此时可引进角位移 $\Delta\theta$,角速度 ω ,角加速度 α ,描述质点的运动,角速度的定义为

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

角加速度的定义为

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

速率和角速度的关系为

$$v = R\omega$$

R 为圆轨道的半径,此时质点的切向加速度 $a_\tau = \frac{dv}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\alpha$,当质点作匀速率圆周运动时,因 ω 为常数,切向加速度为零,而法向加速度 $a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$,也叫

向心加速度。

加速度

一般曲线运动加速度的两种表示法

笛卡尔坐标:

加速度的矢量式 $\mathbf{a} = a_x \mathbf{j} + a_y \mathbf{j}$

加速度的大小 $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$

式中, a_x 、 a_y 分别为表示 X 、 Y 方向的加速度。

自然坐标:

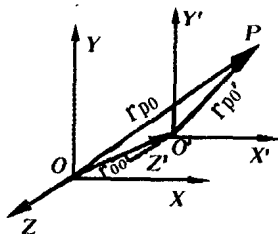
加速度的矢量式 $\mathbf{a} = a_n \mathbf{n}_0 + a_\tau \boldsymbol{\tau}_0$

加速度的大小 $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$

式中,法向加速度 $a_n = v^2/\rho$, ρ 为曲率半径;切向加速度 $a_\tau = dv/dt$,方向沿轨道切线;速率 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$; $\mathbf{n}_0$ 是法线方向的单位矢量, $\boldsymbol{\tau}_0$ 是切线方向的单位矢量。

相对运动

如图所示



1-1 图

位置矢量变换 $\mathbf{r}_{P0} = \mathbf{r}_{P0'} + \mathbf{r}_{O0'}$

速度变换 $\mathbf{v}_{P0} = \mathbf{v}_{P0'} + \mathbf{v}_{O0'}$

加速度变换 $\mathbf{a}_{P0} = \mathbf{a}_{P0'} + \mathbf{a}_{O0'}$

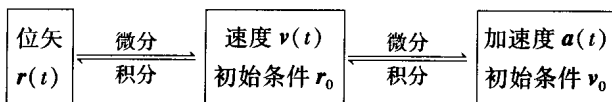
式中, r_{p0} 、 v_{p0} 、 a_{p0} 分别表示质点 P 相对于 O 系的位置矢量、速度矢量、加速度矢量; $r_{p0'}$ 、 $v_{p0'}$ 、 $a_{p0'}$ 分别表示质点 P 相对于 O' 系的位置矢量、速度矢量、加速度矢量; $r_{00'}$ 、 $v_{00'}$ 、 $a_{00'}$ 分别表示 O' 系的原点相对于 O 系原点的位置矢量、速度矢量、加速度矢量。

解相对运动问题时,首先要确定参照系的情况下分清三个位矢或三个速度、三个加速度,其次是依题意列出它们的关系式。

运动的叠加

一种运动可以看成几种各自独立进行的运动叠加而成。这个结论亦叫运动的独立性原理。

运动学的两类问题



四、疑难辨析

速度

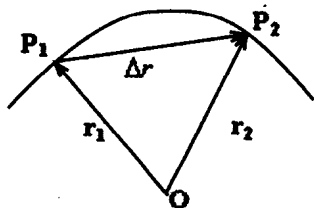
回答下列问题

- (1) 位移和路程有何区别?
- (2) 瞬时速度和瞬时速率有何区别?
- (3) 瞬时速度和平均速度的区别和联系是什么?

(4) 有人说:“平均速率等于平均速度的模”,又有人说: $\left| \frac{dr}{dr} \right| = \frac{dr}{dr}$, 试论述

两种说法是否正确?

答 (1) 如图所示,质点从 P_1 运动 P_2 到时,路程为 P_1P_2 ,位移为 $\Delta r = r_2 - r_1$,两者显然不同,位移是一个矢量,路程是一个标量。只有质点作直线运动而且速度方向不变时,位移的大小才等于路程。



1-2 图

(2) 瞬时速度表示在某时刻的速度,它

是一个矢量,既有大小又有方向,它的表达式为 $v = \frac{dr}{dt}$,瞬时速率表示该时刻速度的大小,它是一个标量,它的表达式为 $v = \frac{ds}{dt}$,即路程对时间的导数。

(3) 平均速度的定义式为 $v = \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$,它表示位移 Δr 在 Δt 时间内的平均变化率。它只能粗略地反映运动的快慢程度和运动方向,而瞬时速度能精确描写质点运动的快慢以及运动的方向。瞬时速度是平均速度的极限,即 $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt}$ 。

(4) 上述说法皆不正确。平均速率 $v = \frac{ds}{dt}$,它表示路程与时间的比值,即平均来看,单位时间内质点走了多少路程。而平均速度的模为 $\left| \frac{\Delta r}{\Delta t} \right|$,它是位移的大小与时间的比值,即平均来看,单位时间内位移的大小。位移和路程是两个概念,故平均速率不等于平均速度的模。

2 矢量的叠加性如何应用?

位矢方程(也叫运动方程)在坐标系中可分解为分量式,实际上反映了矢量的叠加性。

位矢方程的分量方程表示运动的各个分运动。在直角坐标系中,各分运动均为直线运动。因此,任何复杂的质点运动都可认为是空间三维(或平面二维)直线运动的合运动。例如:斜抛运动可分解为水平匀速直线运动和竖直方向上的竖直上抛运动。等速螺旋运动可分解为某个平面内的匀速圆周运动和垂直于该面方向上的匀速直线运动。而匀速圆周运动又可分解为在运动平面上的互相垂直的两个简谐振动。所以直线运动是基本的运动,掌握了描述直线运动的方法,再根据矢量的叠加性,求解任何复杂的运动就不难了。

3 如何明确机械运动的描述方法?

答 运动本身是绝对的,而运动的描述是相对的。对于同一个物体的运动,选择的参照系不同,观察、测量的结果也不同。参照系和物体的运动描述是一一对应的。因此,当谈到某一物体如何运动时,必须明确是对哪一个参照系而言的。在运动学中参照系可任意选择,在研究地面上的物体运动时,如不特别指明,通常是以地球为参照系。

坐标系是参照系的数学抽象,是定量地描述物体运动的手段。确定了坐标系也就确定了参照系。有了坐标系、选定长度标准和时间标准就可定量地描述物体

的运动。

在变速运动中,如何描述速度变化的快慢?对加速度的概念应注意哪些问题?

答 在变速运动中,用平均加速度 $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 来粗略地描述在 Δt 时间内速度的变化;用瞬时加速度 $a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$ 来精确地描述某时刻质点速度的改变。对加速度的概念应注意以下问题:(1) 注意区分 $\frac{dv}{dt}$ 和 v ;(2) 注意区分 $\frac{dv}{dt}$ 与 Δv ;(3) 注意区分 $\frac{dv}{dt}$ 与 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 。

如何来计算法向加速度和切向加速度?

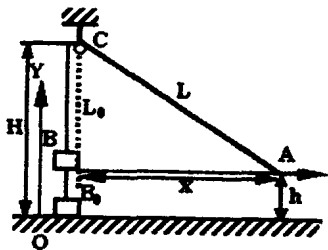
答 切向加速度是由速度大小的改变而引起的,大小可用 $\frac{dv}{dt}$ 来计算,方向沿质点运动的方向(即该点处轨道的切线方向);法向加速度是由速度方向的改变而引起的,大小可用 $\frac{v^2}{\rho}$ (ρ 为曲率半径),方向指向该点处轨道的曲率中心。

五、典型题解



例题 1-1 如图所示,跨过滑轮 C 之轮子,一端挂有重物 B ,另一端 A 被人拉着沿水平方向匀速运动,其速率 $v_0 = 1 \text{ m/s}$, A 离地高度保持为 $h, h = 1.5 \text{ m}$ 。运动开始时,重物放在地面 B_0 处,此时绳 C 在铅直位置刚好绷紧,滑轮离地高度 $H = 10 \text{ m}$,滑轮半径忽略不计,求:

- (1) 重物 B 上升的运动学方程;
- (2) 重物 B 在 t 时刻的速率和加速度;
- (3) 重物 B 到达 C 处所需的时间。



例题 1-1 图

解 (1) 物体在 B_0 处时,滑轮左边绳长为 $l_0 = H - h$,当重物的位移为 y 时,右边的绳长为

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

因绳长为 $H + l_0 = l + (H - y)$

由上式可得重物的运动学方程为

$$y = l - l_0 = \sqrt{l_0^2 + (v_0 t)^2} - (H - h)$$

即

$$y = \sqrt{72.25 + t^2} - 8.5$$

(2) 重物 B 的速度和加速度为

$$v = \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt} (\sqrt{72.25 + t^2} - 8.5) = \frac{t}{\sqrt{72.25 + t^2}}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{72.25}{(72.25 + t^2)^{3/2}}$$

(3) 由 $y = \sqrt{72.25 + t^2} - 8.5$ 知 $t = \sqrt{(y + 8.5)^2 - 72.25}$

当 $y = 10\text{m}$ 时, $t = 16.43\text{s}$ 。

此题解题思路是先求运动学方程,即位移与时间的函数关系,再通过微分求质点运动的速度和加速度。

例题 1-2 一质点由静止开始作直线运动,初始加速度为 a_0 ,以后加速度均匀增加,每经过 τ 秒增加 a_0 ,求经过 t 秒后质点的速度和加速度。

解:本题可以通过积分法由质点运动加速度,求解质点的速度和位移。

由题意可知,加速度和时间的关系为 $a = a_0 + \frac{a_0}{\tau} t$

根据直线运动加速度的定义 $a = \frac{dv}{dt}$

$$v - v_0 = \int \frac{dv}{dt} dt = \int_0^t a dt = \int_0^t (a_0 + \frac{a_0}{\tau} t) dt = a_0 t + \frac{a_0}{2\tau} t^2$$

因为 $t = 0$ 时, $v_0 = 0$, 故 $v = a_0 t + \frac{a_0}{2\tau} t^2$

根据直线运动速度的定义式有 $v = \frac{dx}{dt}$

$$x - x_0 = \int \frac{dx}{dt} dt = \int_0^t v dt = \int_0^t (a_0 t + \frac{a_0}{2\tau} t^2) dt$$

$$x - x_0 = \frac{1}{2} a_0 t^2 + \frac{a_0}{6\tau} t^3$$

因为 $t = 0$ 时, $x = 0$, 则位移为 $x = \frac{a_0}{2} t^2 + \frac{a_0}{6\tau} t^3$

例题 1-3 已知质点的运动方程为 $\mathbf{r} = R\cos\omega t\mathbf{i} + R\sin\omega t\mathbf{j}$, ω 为一常数, 求

(1) 质点的轨迹及速度 $\mathbf{v}$;

(2) t 时刻的速度 $\mathbf{v}$, 并分析质点的转向;

(3) 质点的加速度 $\mathbf{a}$ 与位置矢量 $\mathbf{r}$ 的关系, 说明加速度恒指向圆心。

解: (1) 提示: 求质点运动的轨迹, 先写出 $x = x(t)$ 及 $y = y(t)$, 消去时间参量 t 即为质点运动的轨迹方程。结果: $x^2 + y^2 = R^2$, 质点作圆周运动。

求速度 $\mathbf{v}$, $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$, 其结果为 $\mathbf{v} = -R\omega\sin\omega t\mathbf{i} + R\omega\cos\omega t\mathbf{j}$

(2) 提示: t 时刻的速度 $\mathbf{v}$, $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$, 答案 $v = R\omega$

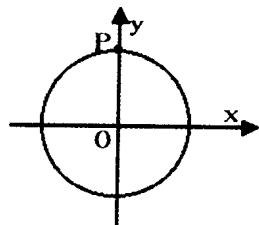
求质点转向

方法一

1. 如例题 1-3 图所示, 分析 P 点速度的方向

2. $\mathbf{v} = -R\omega\sin\omega t\mathbf{i} + R\omega\cos\omega t\mathbf{j}$

3. P 点的速度沿切线方向, 所以 $v_y = 0$, 对 P



例题 1-3 图

点, $\omega t = 2k\pi + \frac{\pi}{2}$

答案 $\mathbf{v}_p = -R\omega\mathbf{i}$

方法二

1. 质点的运动方程为 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$, 求出两个不

同时刻径矢 $\mathbf{r}$ 所处的位置, 即可判断质点在圆周上的转向。

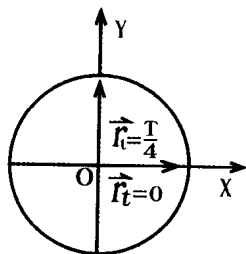
2. 如例题 1-3-1 图所示, 当 $t = 0$ 时, $\mathbf{r} = R\mathbf{i}$, 沿 X 轴正向; 当 $t = \frac{T}{4}$ (式中 T 为质点作圆周运动的周期) 时, $\mathbf{r} = R\mathbf{j}$, 沿 Y 轴正向, 质点沿圆周运动的转向可一目了然。

(3) 提示:

$$1. \mathbf{a} = \frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j}$$

$$2. \mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$$

答案 $\mathbf{a} = -\omega^2\mathbf{r}$, 式中负号表示 $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{r}$ 反向, 且由式子可见, $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{r}$ 的关系与时间 t 无关, 这表明加速度 $\mathbf{a}$ 恒指向圆心。



例题 1-3-1 图

例题 1-4 一质点从静止出发沿半径为 $R = 3\text{m}$ 的圆周运动, 切向加速度为 $a_t = 3\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

(1) 经过多少时间它的总加速度恰好与半径成 45° 角?