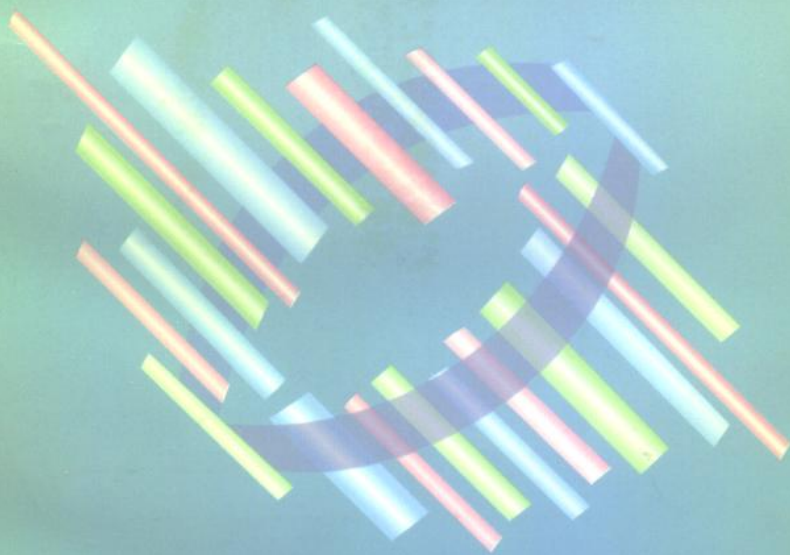


物理学习指导与 考研试题精选

杨宝胜 周宗文 编著
汤玉梅 陈国平



南开大学出版社



内 容 提 要

本书是为《物理学》编写的配套辅导教材,包括力学、热学、电磁学、光学、原子物理和狭义相对论等。全书共十九章。每一章都有学习要求、内容总结、解题示例、习题和部分习题解答或提示。附录还给出了自测题以及考研模拟题。

本书可供大专院校学习普通物理学的学生阅读,也可供从事基础教学工作的教师参考,对有志报考研究生的学生,也是一本难得的复习指导书。

物理学习指导与考研试题精选

杨宝胜 周宗文 编著
汤玉梅 陈国平

南开大学出版社出版

(天津八里台南开大学校内)

邮编:300071 电话:23508542

新华书店天津发行所发行

天津宝坻县印刷厂印刷

1998年5月第1版

1998年5月第1次印刷

开本:850×1168 1/32

印张:16.25

字数:406千

印数:1-2000

ISBN 7-310-01066-3

O·104 定价:20.00元

前 言

本书是为《物理学》(马根源、王松立、金庆华编著)编写的配套辅导教材。每一章都有学习要求,内容总结,解题示例,部分习题解答。书后还附有自测题。

在学完《物理学》的基础上,阅读这本辅导书是最合适的。它能帮助你总结和条理化所学的知识,帮助你巩固和加深对基本概念和基本规律的理解,提高你的分析问题和解决问题的能力。对本书的学习应首先阅读每一章的学习要求(这个要求是和教学大纲相一致的);其次是阅读内容总结,并和自己的总结相比较,以加深对基本概念、原理、定律等的理解和记忆,然后阅读解题示例;要认真体会如何运用基本概念、原理和定律分析问题。解题示例是多年来我们在物理学习题课上使用的题目,这些题目体现了物理学的主要内容和基本要求,以及对问题的分析方法和技巧,具有典型性、概括性和一定的难度,具有示范作用。同时,本书对某些题目作了适当的讨论和引申,以启发学生思考和探索,达到培养学生科学素质的目的。对习题和思考题,读者应首先自己分析它,解决它,然后将所得出的结果同书上的结果比较对照,切不可先翻阅答案,再去解题。

本书力学和热学部分(一~七章)由杨宝胜编写,电磁学部分(八~十四章)由周宗文编写,光学部分(十五章~十七章)由汤玉梅编写,量子力学和现代物理部分(十八~十九章),由陈国平编写。

本书可供从事基础物理教学工作的大学教师参考,也可供物理系学生及广大物理爱好者阅读学习。对于有志于攻读有关学科硕士研究生的读者,学习本书也不失为一条简捷的复习途径。

《物理学》作者马根源、王松立、金庆华以及潘维济、韩绍先教授对书稿的不同章节进行了认真审阅,对此我们向他们表示由衷的感谢。

我们恳请广大读者对本书提出批评和指正。

编者 谨识

1997年3月于南开大学

目 录

第一章 运动学	(1)
1.1 学习要求	(1)
1.2 主要内容	(1)
1.3 解题示例	(5)
1.4 习题	(10)
1.5 部分习题解答或提示	(16)
第二章 质点动力学	(23)
2.1 学习要求	(23)
2.2 主要内容	(23)
2.3 解题示例	(30)
2.4 习题	(38)
2.5 部分习题解答或提示	(50)
2.6 狭义相对论简介	(60)
第三章 质点系统的守恒定律	(71)
3.1 学习要求	(71)
3.2 主要内容	(71)
3.3 解题示例	(79)
3.4 习题	(85)
3.5 部分习题解答或提示	(93)
第四章 刚体的运动定律	(98)
4.1 学习要求	(98)
4.2 主要内容	(98)
4.3 解题示例	(102)

4.4	习题	(110)
4.5	部分习题解答或提示	(119)
第五章	振动	(127)
5.1	学习要求	(127)
5.2	主要内容	(127)
5.3	解题示例	(134)
5.4	习题	(142)
5.5	部分习题解答或提示	(150)
第六章	机械波	(155)
6.1	学习要求	(155)
6.2	主要内容	(155)
6.3	解题示例	(162)
6.4	习题	(168)
6.5	部分习题解答或提示	(175)
第七章	热学	(182)
7.1	学习要求	(182)
7.2	主要内容	(182)
7.3	解题示例	(195)
7.4	习题	(207)
7.5	部分习题解答或提示	(218)
第八章	真空中的静电场	(229)
8.1	学习要求	(229)
8.2	主要内容	(229)
8.3	解题示例	(234)
8.4	习题	(241)
8.5	部分习题解答或提示	(248)
第九章	静电场中的导体和电介质	(255)
9.1	学习要求	(255)

9.2	主要内容	(255)
9.3	解题示例	(262)
9.4	习题	(271)
9.5	部分习题解答或提示	(280)
第十章	稳恒电流和稳恒电场	(287)
10.1	学习要求	(287)
10.2	主要内容	(287)
10.3	解题示例	(291)
10.4	习题	(295)
10.5	部分习题解答或提示	(302)
第十一章	稳恒磁场	(305)
11.1	学习要求	(305)
11.2	主要内容	(305)
11.3	解题示例	(309)
11.4	习题	(317)
11.5	部分习题解答或提示	(326)
第十二章	磁介质	(331)
12.1	学习要求	(331)
12.2	主要内容	(331)
12.3	解题示例	(334)
12.4	习题	(336)
12.5	部分习题解答或提示	(340)
第十三章	电磁感应	(344)
13.1	学习要求	(344)
13.2	主要内容	(344)
13.3	解题示例	(349)
13.4	习题	(357)
13.5	部分习题解答或提示	(364)

第十四章 电磁场和电磁波	(369)
14.1 学习要求.....	(369)
14.2 主要内容.....	(369)
14.3 解题示例.....	(372)
14.4 习题.....	(374)
14.5 部分习题解答或提示.....	(376)
第十五章 光的干涉	(379)
15.1 学习要求.....	(379)
15.2 主要内容.....	(379)
15.3 解题示例.....	(388)
15.4 习题.....	(395)
15.5 部分习题解答或提示.....	(399)
第十六章 光的衍射	(402)
16.1 学习要求.....	(402)
16.2 主要内容.....	(402)
16.3 解题示例.....	(411)
16.4 习题.....	(420)
16.5 部分习题解答或提示.....	(423)
第十七章 光的偏振	(427)
17.1 学习要求.....	(427)
17.2 主要内容.....	(427)
17.3 解题示例.....	(436)
17.4 习题.....	(442)
17.5 部分习题解答或提示.....	(446)
第十八章 量子力学基础	(451)
18.1 学习要求.....	(451)
18.2 主要内容.....	(451)
18.3 解题示例.....	(458)

18.4	习题	(464)
18.5	部分习题解答或提示	(468)
第十九章	原子物理	(472)
19.1	学习要求	(472)
19.2	主要内容	(472)
19.3	解题示例	(477)
19.4	习题	(478)
附录 1.	自测检验试题	(480)
附录 2.	研究生模拟试题精选	(498)

第一章 运 动 学

1.1 学习要求

1. 掌握描述质点运动状态各物理量的意义,明确它们的相对性、瞬时性、矢量性和独立性。

2. 理解运动方程和轨迹方程的意义。能由已知条件熟练求得运动方程,并进而求得速度和加速度。

3. 熟记元位移、速度和加速度公式在直角坐标系、平面极坐标系和自然坐标系中的形式。

1.2 主要内容

1. **质点** 在研究一个物体机械运动时,为了简单和方便,有时可以忽略物体的形状和大小,而将其看成一个只有质量的几何点,称为质点。质点是一个理想模型。一个物体可否看成质点,要看研究的具体问题而定。

2. **参照系** 描述一个物体是在运动还是静止,需要同另一物体或物体系作比较,这个用作比较的物体或物体系称做参照系。为了定量描述物体位置的变化,在参照系中建立坐标系。常用的坐标系有直角坐标系、平面极坐标系、自然坐标系等。

3. **运动方程和轨迹方程** 质点的位置矢量随时间的变化关系

$$\mathbf{r}=\mathbf{r}(t) \quad (1.1)$$

即为质点的运动方程。质点在空间运动时所描绘的路线称为轨迹

方程。例如,质点作平面运动时,其轨迹方程为

$$y=y(x) \quad (1.2)$$

4. **位置矢量** $\mathbf{r}$ (简称位矢) 和 **位移矢量** $\Delta \mathbf{r}$ t 时刻从相对参照系静止的参考原点 O 引向质点 P 的方向线段 $\overrightarrow{OP}=\mathbf{r}(t)$ 为 t 时刻质点的位置矢量; $t+\Delta t$ 时刻的位矢 $\mathbf{r}(t+\Delta t)$ 和 t 时刻的位矢 $\mathbf{r}(t)$ 之差 $\Delta \mathbf{r}=\mathbf{r}(t+\Delta t)-\mathbf{r}(t)$ 称为质点的位移矢量, 也就是质点在 t 时刻的位置 P 点引向质点在 $t+\Delta t$ 时刻的位置 P' 点的矢量 $\Delta \mathbf{r}=\overrightarrow{PP'}$; 当 $\Delta t \rightarrow dt$ 时, $\Delta \mathbf{r} \rightarrow d\mathbf{r}$, 则 $d\mathbf{r}$ 称为元位移; 质点在 Δt 时间内轨迹的长度 $\widehat{PP'}$ 称为路程; $\overline{PP'}$ 称为距离, 如图 1.1 所示。

5. **速度和加速度** 描述一个质点运动快慢的物理量称做速度; 描述一个质点运动速度变化快慢的物理量称做加速度。它们都是矢量。其定义如下:

$$\text{平均速度 } \langle \mathbf{v} \rangle = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

$$\text{瞬时速度 } \mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \dot{\mathbf{r}} \quad (1.3)$$

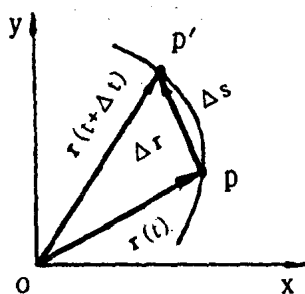


图 1.1

$$\text{平均加速度 } \langle \mathbf{a} \rangle = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

$$\text{瞬时加速度 } \mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \dot{\mathbf{v}} = \ddot{\mathbf{r}} \quad (1.4)$$

6. 上述物理量在直角坐标系、平面极坐标系和自然坐标系中的具体表达式如下。

(1) 直角坐标系中

$$\text{位矢 } \mathbf{r} = xi + yj + zk$$

$$\text{元位移 } d\mathbf{r} = dx i + dy j + dz k$$

$$\text{速度 } \mathbf{v} = \frac{dx}{dt} i + \frac{dy}{dt} j + \frac{dz}{dt} k = \dot{x} i + \dot{y} j + \dot{z} k$$

加速度 $\mathbf{a} = \ddot{x}\mathbf{i} + \ddot{y}\mathbf{j} + \ddot{z}\mathbf{k}$

运动方程 $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$

轨迹方程 $y = y(x)$ (二维情况)

注意: 单位矢量 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 大小和方向都不变, 故有

$$\frac{d\mathbf{i}}{dt} = \frac{d\mathbf{j}}{dt} = \frac{d\mathbf{k}}{dt} = 0$$

(2) 平面极坐标系中 (如图 1.2 所示)

位矢 $\mathbf{r} = r\mathbf{r}^0$

元位移 $d\mathbf{r} = dr\mathbf{r}^0 + r d\theta\theta^0$

运动方程 $\begin{cases} r = r(t) \\ \theta = \theta(t) \end{cases}$

速度 $\mathbf{v} = v_r\mathbf{r}^0 + v_\theta\theta^0$

$$v_r = \dot{r}; \quad v_\theta = r\dot{\theta}$$

加速度 $\mathbf{a} = a_r\mathbf{r}^0 + a_\theta\theta^0$

$$a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2;$$

$$a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$$

$$= \frac{1}{r} \frac{d}{dt} (r^2 \dot{\theta})$$

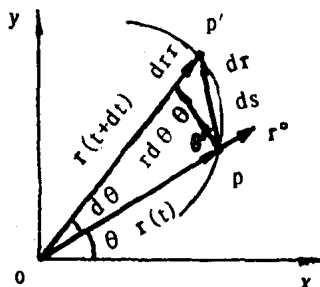


图 1.2

其中 v_r 和 v_θ , a_r 和 a_θ 分别为速度和加速度的径向分量和横向分量。

注意: 径向和横向单位矢量 $\mathbf{r}^0$ 和 θ^0 , 其长度均为 1 个单位, 但方向随时间改变, 这和直角坐标系中的单位矢量 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 不同, 且有

$$\frac{d\mathbf{r}^0}{dt} = \dot{\theta}\theta^0; \quad \frac{d\theta^0}{dt} = -\dot{\theta}\mathbf{r}^0 \quad (1.5)$$

(3) 自然坐标系中 (如图 1.3 所示)

运动方程 $s = s(t)$

元位移 $d\mathbf{r} = ds\boldsymbol{\tau}^0$

速度 $\mathbf{v} = v\boldsymbol{\tau}^0 = \frac{ds}{dt}\boldsymbol{\tau}^0$

加速度 $\mathbf{a} = a_t\boldsymbol{\tau}^0 + a_n\mathbf{n}^0$

$$a_t = \frac{dv}{dt}; \quad a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

其中 a_t 、 a_n 分别为切向加速度和法向加速度, ρ 为曲线的曲率半径

$$\rho = \left| \frac{(1+y'^2)^{3/2}}{y''} \right| = \frac{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{3/2}}{|\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}\dot{y}|}$$

注意:切向和法向单位矢量 τ^0 和 n^0 长度均为一个单位,但方向随时间变化,且有

$$\frac{d\tau^0}{dt} = \theta n^0 \quad (1.6)$$

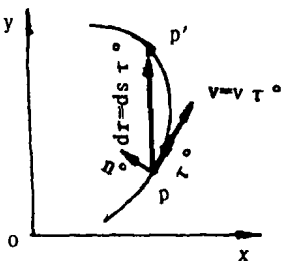


图 1.3

这里还应注意速度、速率和速度分量的区别与联系。以后一提到速度,若没有特别指明,就是 t 时刻的速度,是矢量,有大小和方向。其大小称为速率,以 v 表之,并有 $v = \frac{ds}{dt} = \left| \frac{dr}{dt} \right| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_r^2 + v_\theta^2}$; 其方向沿轨迹的切线方向,并指向质点的前进方向。由于不同坐标系中轴的取向不同,故速度的分量式不同。但速度大小却只有一个值,即 $v = \sqrt{v_r^2 + v_\theta^2} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ 。

7. 在已知速度和加速度的情况下,通过积分可以求得物体的位移和速度:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \int_{t_0}^t \mathbf{v} dt, \quad \mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \int_{t_0}^t \mathbf{a} dt \quad (1.7)$$

特别是对匀加速运动直线的情况,有

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t; \quad v^2 = v_0^2 + 2\mathbf{a} \cdot \Delta\mathbf{r}; \quad \Delta\mathbf{r} = \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2}\mathbf{a}t^2$$

8. **相对运动** 研究一个质点相对于两个参照系(一个静止,另一个运动)运动时各物理量之间的关系。

(1) 平动情况 K' 系以速度 $\mathbf{u}_0$ 相对 K 系运动,且 K' 系和 K 系各坐标轴始终平行,如图 1.4 所示,因为 $\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{r}'$, 求导得

$$\mathbf{v} = \mathbf{u}_0 + \mathbf{v}' \quad (1.8)$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}'$$

其中 $\mathbf{v}$ 和 $\mathbf{a}$ 称为绝对速度和加速度, $\mathbf{v}'$ 和 $\mathbf{a}'$ 称为相对速度和加速度, $\mathbf{v}_0$ 和 $\mathbf{a}_0$ 称为牵连速度和加速度。

(2) 转动情况 K' 系以匀角速度 ω 绕 K 系的 Z 轴旋转, 且 K' 系和 K 系的原点同 Z' 轴和 Z 轴始终重合, 如图 1.5 所示。有

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}'$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}' + \omega \times \mathbf{r}' \quad (1.9)$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}' - 2\omega \times \mathbf{v}' + \omega \times (\omega \times \mathbf{r}') \quad (1.10)$$

其中 $\mathbf{a}_c = 2\omega \times \mathbf{v}'$ 称科里奥利加速度。它是 K' 系的转动和质点相对运动的联合效果。 $\omega \times (\omega \times \mathbf{r}')$ 称为向心加速度。

9. 有关相对论部分移至第二章后部。

1.3 解题示例

运动学的基本任务之一是求解质点的速度和加速度, 这就需要知道质点的运动方程, 然后求导得出。在一些题目中, 如何求得质点的运动方程是解题的关键。求质点运动方程的步骤大体如下: ①建立合适的坐标系。一般说来, 质点作直线运动时, 取直角坐标系; 若质点作曲线运动, 且曲线形状又已知, 则取自然坐标系。若曲线形状不知道, 则取平面极坐标系。②质点在任意 t 时刻的位置用坐标表示出来, 切记不能是特殊时刻, 如初始时刻的位置等。③借助几何关系或物理规律得出运动方程, 往往借助几何关系, 因此,

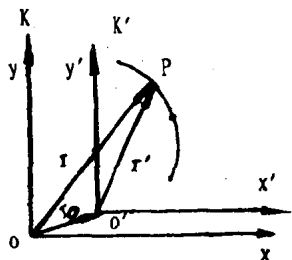


图 1.4

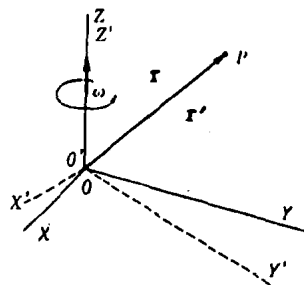


图 1.5

画好示意图,就显得很重要。

运动学基本任务之二,是在已知速度或加速度的情况下,由积分求得位移或速度。

运动学基本任务之三,是求解相对运动问题。

【例 1.1】 试讨论自由落体的平均速度和瞬时速度。

解: 设质点开始下落处为坐标原点 O , x 轴向下为正,则质点的运动方程 $r = xi = (\frac{1}{2}gt^2)i$, 由于是一维运动,用正负号表示方向,方程写为 $x = \frac{1}{2}gt^2$, 则平均速度

$$\bar{v} = \langle v \rangle = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\frac{1}{2}gt_2^2 - \frac{1}{2}gt_1^2}{t_2 - t_1} = \frac{1}{2}g(t_2 + t_1)$$

令 $t_2 - t_1 = \Delta t$, $t_2 = t_1 + \Delta t$, 则有

$$\bar{v} = \frac{1}{2}g(2t_1 + \Delta t) = gt_1 + \frac{1}{2}g\Delta t$$

上式表明,平均速度不仅和时间间隔大小有关,还和时间间隔的起点有关。

当 $t_1 = 0$ 时,则 $\bar{v} = \frac{g\Delta t}{2}$, 此时平均速度只和时间间隔有关。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,则 $\bar{v} = gt_1$, 此时,平均速度只和起点有关(就是 t_1 时刻的瞬时速度了)。由此看来,平均速度的概念是粗糙的,近似的。

【例 1.2】 路灯距地面高为 H , 身高为 h 的人以匀速率 v_0 离灯而去,求人头顶的投影移动的速度。

解: 首先将质点位置用坐标表示,然后由几何关系找出含有用坐标表示质点位置的方程。为此,取坐标系如图 1.6 所示。设 t 时刻人在 x_A 处,头顶的投影在 x_B 处,因为 $\triangle ABD \sim \triangle OBC$, 则有

$$x_B(H-h) = x_A H$$

对上式求导,得

$$\dot{x}_B = \frac{\dot{x}_A H}{H-h} = \frac{H}{H-h} v_0$$

式中 $\dot{x}_A = v_0$, $\dot{x}_B$ 即为人头顶的投影移动的速度。而影速与人速之差为 $\dot{x}_B - \dot{x}_A = \frac{h}{H-h} v_0$ 。

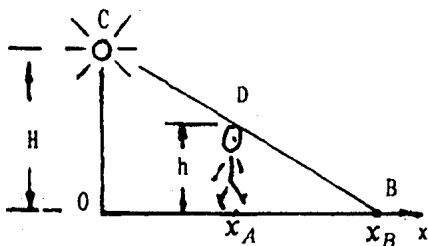


图 1.6(例 1.2)

【例 1.3】 质点在水平

面内运动轨迹如图 1.7 所

示, OA 为直线, $\widehat{AB}$ 、 $\widehat{BC}$ 分别为半径 15 米和 30 米的两个 $\frac{1}{4}$ 圆周。设 $t=0$ 时, 质点 M 在 O 点, 已知运动方程为 $s=30t+5t^2$ (SI), 求 $t=2$ 秒时, 质点 M 的切向加速度和法向加速度。

解: 由于质点运动的路径已知, 所以取自然坐标系, 质点 M 的速度为

$$v = \frac{ds}{dt} \tau^0 = (30 + 10t) \tau^0$$

又因为 $t=2$ 秒时, 质点 M 在半径 $R=30$ 米的 BC 弧上的某点处。所以切向加速度和法向加速度分别为

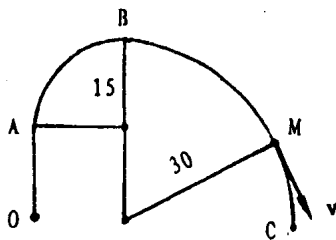


图 1.7(例 1.3)

$$a_t = \left. \frac{dv}{dt} \right|_{t=2} = 10 \text{ (米/秒)}$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(30 + 10 \times 2)^2}{30} = 83.3 \text{ (米/秒)}$$

【例 1.4】 一颗穿在车轮辐条上的小球, 以恒定速率 u 沿辐条向外运动。它在 $t=0$ 时从轮中心出发, 辐条角位置由 $\theta = \omega t$ 给出, ω 为常数, 求小球的速度和加速度。

解: 取平面极坐标系如图 1.8 所示。由于 $\dot{r} = u$, 所以 $r = ut$ 和 $\dot{r} = 0$; 又因为 $\theta = \omega t$, 所以 $\dot{\theta} = \omega$ 和 $\ddot{\theta} = 0$, 因此有 $v = v_r \tau^0 + v_\theta \theta^0$

$$\begin{aligned}
 &= \dot{r}r^0 + r\dot{\theta}\theta^0 = ur^0 + u\omega t\theta^0, \\
 |v| &= \sqrt{v_r^2 + v_\theta^2} = \sqrt{u^2 + (u\omega t)^2} \\
 a &= a_r r^0 + a_\theta \theta^0 \\
 &= (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)r^0 + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\theta^0 \\
 &= -r\omega^2 r^0 + 2u\omega\theta^0 \\
 &= -u\omega^2 t r^0 + 2u\omega\theta^0 \\
 |a| &= \sqrt{a_r^2 + a_\theta^2} \\
 &= \sqrt{(u\omega^2 t)^2 + (2u\omega)^2}
 \end{aligned}$$

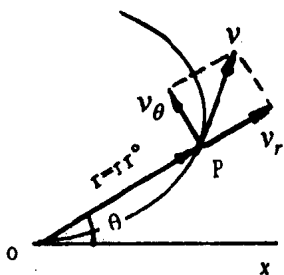


图 1.8(例 1.4)

从图中看出, 小球任何时刻的速度都是沿轨迹的切线方向的。此题和例 1.3 都是曲线运动, 差别在于例 1.3 已知曲线方程和曲率半径。用自然坐标系求解方便。而此题不知曲线运动方程, 曲率半径求不出, 故不能用自然坐标系求解, 必须取平面极坐标系求解。

【例 1.5】 一物体沿 x 轴运动, 其加速度和位置的关系为 $a = 2 + 6x$, a 的单位是米/秒², x 的单位是米, 物体在 $x = 0$ 处的速度为 10 米/秒, 求物体的速度和位置的关系。

解 解此类题目, 需将加速度的表达式对时间的关系换成对坐标的关系。为此, 在 $a = \frac{dv}{dt}$ 式的等号右边乘以 $\frac{dx}{dx}$, 注意到 $\frac{dx}{dt} = v$, 整理得到加速度以坐标表示的表达式

$$a = v \frac{dv}{dx}$$

代入 $a = 2 + 6x$, 得

$$2 + 6x = v \frac{dv}{dx}$$

即 $(2 + 6x)dx = v dv$

$$\text{积分上式} \int_0^x (2 + 6x)dx = \int_{10}^v v dv$$

$$\text{得} \quad v = \sqrt{4x + 6x^2 + 100} \text{ (米/秒)}$$