大学物理教程

辅導与習題

任兰亭　贾瑞皋　朱广荣　编

石油大學出版社

大学物理教程

辅导与习题

（修订版）

任兰亭　贾瑞皋　朱广荣　编

石油大学出版社

内 容 提 要

本书是针对理工科大学生学习大学物理时对基本概念理解不深和解题困难而编写的。全书包括力学、振动与波、波动光学、气体分子动理论与热物理学、电磁学和近代物理基础共20章。每章分为基本要求、内容提要、学习指导、解题示例和基本训练题5部分。解题示例中有例题250个，有不同的解题方法和小结；基本训练题有932个，题目类型全面，书示附有答案。

本书适合理工科大学生，电大、函大和职大学员使用，也可供高等学校教师参考。

大学物理教程辅导与习题

（修订版）

任兰亭　贾瑞皋　朱广荣　编

*

石油大学出版社出版

（山东省　东营市）

山东省新华书店发行

山东电子工业印刷厂印刷

*

开本 850×1168　1/32　18.625 印张　484 千字

1990 年 2 月第 1 版　1997 年 1 月第 2 版　1997 年 1 月第 1 次印刷

印数 13001～18000

ISBN 7-5636-0070-1/O_4・03

定价：16.50元

目　录

第一章　物体的运动

一、基本要求

1. 理解质点模型和刚体模型。理解时间、空间概念及运动的绝对性、运动描述的相对性、参考系概念及坐标系的选取方法。

2. 掌握位置矢量(位矢)、位移、速度、加速度、角速度和角加速度等描述质点运动和运动变化的物理量。

3. 能够借助于直角坐标系计算质点在平面内运动时的速度、加速度。

4. 能够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。

5. 理解刚体定轴转动的角量描述。能计算刚体作定轴转动时的角位移、角速度、角加速度，并能由角量求刚体上一点的速度、切向加速度和法向加速度。

6. 理解伽利略速度相加原理，能够分析与平动有关的相对运动问题。

二、内容提要

1. 质点的位置矢量：表示质点位置的矢量。

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

质点的运动学方程：表示质点的位置随时间变化的函数。

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

或
$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

2. 质点的位移：

$$\begin{aligned}\Delta \boldsymbol{r} &= \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1 \\ &= (x_2 - x_1)\boldsymbol{i} + (y_2 - y_1)\boldsymbol{j} + (z_2 - z_1)\boldsymbol{k}\end{aligned}$$

3. 质点的速度：描述质点运动的快慢及方向。

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$$

或
$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}, v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}, v_z = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$$

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

$$\cos\alpha = \frac{v_x}{v}, \cos\beta = \frac{v_y}{v}, \cos\gamma = \frac{v_z}{v}$$

4. 质点的加速度：描述质点运动速度改变的快慢及速度方向的改变。

$$\boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\,\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

或
$$a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$$

$$a_y = \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}$$

$$a_z = \frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

$$\cos\alpha = \frac{a_x}{a}, \cos\beta = \frac{a_y}{a}, \cos\gamma = \frac{a_z}{a}$$

5. 质点的法向加速度和切向加速度。

法向加速度：描述速度方向改变的量。

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

切向加速度：描述速率改变快慢的量。

$$a_t = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

总加速度：

$$\boldsymbol{a} = a_n \boldsymbol{n} + a_t \boldsymbol{\tau}$$

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$$

6. 圆周运动的角量描述。

运动学方程：

$$\theta = \theta(t)$$

角位移：

$$\Delta\theta = \theta_2(t_2) - \theta_1(t_1)$$

角速度：

$$\omega = \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$$

角加速度：

$$\beta = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$$

匀速圆周运动公式：

$$\omega = \text{恒量}, \beta = 0, \Delta\theta = \omega t$$

匀加速圆周运动公式：

$$\beta = \text{恒量}, \omega = \omega_0 + \beta t$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\beta(\theta - \theta_0)$$

角量与线量间的关系：

$$v = R\omega, a_n = R\omega^2, a_t = R\beta$$

7. 刚体的定轴转动。

刚体的概念及刚体的运动形式(略)。

描述刚体的物理量同圆周运动的角量描述;匀速转动和匀加速转动的公式形式分别同于匀速圆周运动和匀加速圆周运动的公式;刚体上任一点的角量与线量间的关系同于圆周运动角量与线量间的关系,但是刚体上不同点对应不同的半径。

8. 运动描述的相对性。

$$\Delta \boldsymbol{r} = \Delta \boldsymbol{r}' + \Delta \boldsymbol{D}$$

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

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

三、学习指导

1. $\boldsymbol{r}$、$\boldsymbol{v}$、$\boldsymbol{a}$ 都是矢量,既有大小,又有方向。合成与分解时,可使用平行四边形法则或三角形法则,也可以在选定的坐标系中以分量的解析式表示。$\boldsymbol{r}$、$\boldsymbol{v}$、$\boldsymbol{a}$ 三者之间的关系是微分关系或积分关系。

2. 要注意位移与路程的区别。位移是矢量,仅与质点的初、终点的位置有关,而与中间的具体路径无关。路程是标量,是质点所经路径的实际长度,它不仅与质点的初、终位置有关,而且还与中间通过的具体路径有关。仅在运动方向不变时,位移在量值上与路程相等。

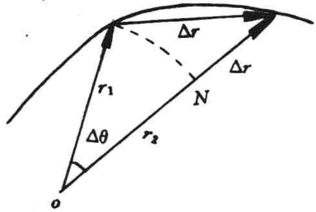

图 1-1

3. 注意区分 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 与 $|\Delta r|$(见图 1-1),$|\Delta \boldsymbol{v}|$ 与 $|\Delta v|$。初学者易犯的错误是把速度的大小 $v=|\mathrm{d}\boldsymbol{r}/\mathrm{d}t|$ 与 $|\mathrm{d}r/\mathrm{d}t|$ 等同起来;把加速度的大小 $a=|\mathrm{d}\boldsymbol{v}/\mathrm{d}t|$ 与 $|\mathrm{d}v/\mathrm{d}t|$ 等同起来。其实二者并不相同。要弄清此问题,关键是区分 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 与 $|\Delta r|$ 及 $|\Delta \boldsymbol{v}|$ 与 $|\Delta v|$。

4. 矢量与该矢量大小使用同一字母,不同之处在于矢量用黑

斜体字母表示；矢量大小为标量，用白斜体字母表示。

四、解题示例

质点运动学的习题有两种基本类型：(1) 已知质点的运动学方程，求解质点的速度、加速度、位移及轨道方程等；(2) 已知质点加速度的表达式，求解质点的速度、运动学方程等。第二种问题是第一种问题的逆问题。前者主要应用微分法，后者主要采用积分法。解题时应注意选取合适的坐标系，以使计算简化。再者，应充分利用矢量的坐标分解法，注意运动的叠加原理。

【例题 1】 有一小球沿斜面向上滚动。小球离开初位置向上滚动的距离与时间 t 的关系为 $S=9t-t^3$。求：(1) 初速度 $v_0=$? (2) 何时开始下滚？

解

$$v=\frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t}=9-3t^2$$

以 $t=0$ 代入上式，可得小球的初速度为

$$v_0=9\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

小球开始返回时，S 取极大值，故

$$v=\frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t}=0$$

即

$$9-3t^2=0$$

所以小球开始下滚的时间为

$$t=1.73\mathrm{s}$$

小结：(1) 本题说明由运动学方程求速度的方法是求一阶导数。(2) 将所给条件转化为数学表达式，这是解题过程中常用的方法。本题将小球沿斜面返回的条件表达为 $v=0$，从而求得了小球返回时已经历的时间。

【例题 2】 已知质点的运动方程为

$$\boldsymbol{r} = A\cos\omega t\boldsymbol{i} + B\sin\omega t\boldsymbol{j}$$

式中 A、B、ω 均为正常数。(1) 求 t 时刻质点的速度和加速度;(2) 质点作什么运动? 求其轨道方程。

解 (1) 这是一道已知运动学方程求速度和加速度的问题。由速度和加速度的定义,得

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} = -A\omega\sin\omega t\boldsymbol{i} + B\omega\cos\omega t\boldsymbol{j}$$

$$\boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} = -A\omega^2\cos\omega t\boldsymbol{i} - B\omega^2\sin\omega t\boldsymbol{j}$$

本题也可以先求$\boldsymbol{v}$ 和 $\boldsymbol{a}$ 的坐标分量,然后求$\boldsymbol{v}$ 和 $\boldsymbol{a}$ 的大小和方向。重解如下:

因

$$x = A\cos\omega t, y = B\sin\omega t$$

故

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -A\omega\sin\omega t$$

$$v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = B\omega\cos\omega t$$

所以速度的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(-A\omega\sin\omega t)^2) + (B\omega\cos\omega t)^2}$$

$$= \sqrt{A^2\sin^2\omega t + B^2\cos^2\omega t} \cdot \omega$$

设$\boldsymbol{v}$ 与 x、y 轴的夹角分别为 α、β,则

$$\cos\alpha = \frac{v_x}{v} = \frac{A\sin\omega t}{\sqrt{A^2\sin^2\omega t + B^2\cos^2\omega t}}$$

$$\cos\beta = \frac{v_y}{v} = \frac{B\cos\omega t}{\sqrt{A^2\sin^2\omega t + B^2\cos^2\omega t}}$$

$$a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = -A\omega^2\cos\omega t$$

$$a_y = \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2} = -B\omega^2\sin\omega t$$

所以加速度大小为

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=\omega^2\sqrt{A^2\cos^2\omega t+B^2\sin^2\omega t}$$

设加速度与 x、y 轴的夹角为 α' 和 β'，则

$$\cos\alpha'=\frac{a_x}{a},\cos\beta'=\frac{a_y}{a}$$

将 a_x、a_y、a 代入上式，可求出 α'、β'，而 α' 和 β' 的大小表达了加速度的方向。

(2) 由运动方程知

$$x=A\cos\omega t,\qquad y=B\sin\omega t$$

两式联立，消去 t，得质点的轨道方程为

$$\frac{x^2}{A^2}+\frac{y^2}{B^2}=1$$

由 x、y 的表达式知，质点在 x 轴方向和 y 轴方向的分运动为两个振动方向相垂直的同频率的简谐振动，合运动是椭圆运动，其轨道方程为椭圆方程。

小结：(1) 质点作平面运动，已知其运动方程求质点的速度和加速度用微分法，其结果可以用矢量式表示，也可以用矢量的坐标分量式分别求导数来进行计算。(2) 由运动方程求轨道方程，只要将 x、y 表达式联立消去 t 即可。

【例题 3】 已知质点的加速度 $\boldsymbol{a}=12\boldsymbol{j}$，在 $t=0$ 时：$\boldsymbol{v}_0=5\boldsymbol{i}$，$\boldsymbol{r}_0=7\boldsymbol{k}$。试求质点的速度 $\boldsymbol{v}$ 和运动方程。

解 由加速度求速度可用积分法。

已知

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{a}=12\boldsymbol{j}$$

所以

$$\mathrm{d}\boldsymbol{v}=12\mathrm{d}t\boldsymbol{j}$$

积分得

$$\boldsymbol{v}=\int 12\boldsymbol{j}\mathrm{d}t=12t\boldsymbol{j}+\boldsymbol{C}$$

式中 $\boldsymbol{C}$ 为积分常矢量。由 $t=0$ 时，$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_0=5\boldsymbol{i}$，可求得 $\boldsymbol{C}=\boldsymbol{v}_0=5\boldsymbol{i}$，于是

$$\boldsymbol{v}=(5\boldsymbol{i}+12t\boldsymbol{j})\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

因为

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{v}=5\boldsymbol{i}+12t\boldsymbol{j}$$

所以

$$\mathrm{d}\boldsymbol{r}=5\boldsymbol{i}\mathrm{d}t+12t\boldsymbol{j}\mathrm{d}t$$

积分得

$$\boldsymbol{r}=\int 5\boldsymbol{i}\mathrm{d}t+\int 12t\boldsymbol{j}\mathrm{d}t=5t\boldsymbol{i}+6t^2\boldsymbol{j}+\boldsymbol{C}_1$$

式中 $\boldsymbol{C}_1$ 为积分常矢量。由 $t=0$ 时，$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_0=7\boldsymbol{k}$，可得 $\boldsymbol{C}_1=\boldsymbol{r}=7\boldsymbol{k}$，于是质点的运动方程为

$$\boldsymbol{r}=(5t\boldsymbol{i}+6t^2\boldsymbol{j}+7\boldsymbol{k})$$

小结：本题说明，当已知加速度和初始条件时，如何用积分法求质点的速度和运动方程。本题也可由每个坐标轴方向的加速度分量及初始条件分别用积分法求质点的速度分量和坐标 x、y、z。

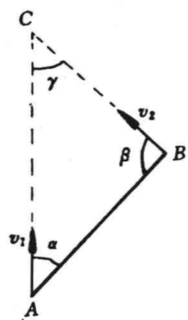

图 1-2

【例题 4】 一军舰以恒定的速度 $\boldsymbol{v}$ 由 A 处驶出(如图 1-2)，同一时刻，一汽艇以恒定速度 $\boldsymbol{v}_2$ 由 B 处驶出。已知 A、B 相距为 l，且 $\boldsymbol{v}$ 的方向与 AB 连线成 α 角。要使汽艇与军舰相遇，问汽艇应朝什么方向驶出？它们开出后经多长时间相遇？

解 设军舰与汽艇相遇于 C 点，$\boldsymbol{v}_2$ 的方向与 AB 连线成 β 角，两者开出后 t 时刻相遇。则

$$\overline{AC}=v_1t,\quad \overline{BC}=v_2t$$

对 ΔABC 应用正弦定理，可得

$$\frac{\overline{BC}}{\sin\alpha} = \frac{\overline{AC}}{\sin\beta}$$

即

$$\frac{v_1 t}{\sin\alpha} = \frac{v_2 t}{\sin\beta}$$

所以

$$\beta = \arcsin(v_2 \sin\alpha / v_1)$$

对 ΔABC 再应用正弦定理,可得

$$\frac{\overline{AB}}{\sin\gamma} = \frac{\overline{AC}}{\sin\beta}$$

即

$$\frac{l}{\sin[180^\circ - (\alpha + \beta)]} = \frac{v_1 t}{\sin\beta}$$

所以

$$t = \frac{l\sin\beta}{v_1 \sin(\alpha + \beta)}$$

小结:本题说明了除了采取坐标分解法求解矢量问题外,有时采用几何法进行运算显得更方便、更简捷一些。

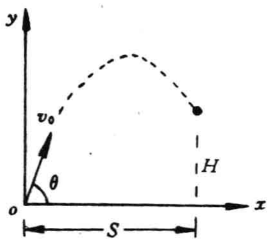

图 1-3

【例题 5】 如图 1-3 所示,要使炮弹正好命中离炮口水平距离 $S=30\text{m}$,高出炮口 $H=15\text{m}$ 的目标,若炮身仰角为 $\theta=60^\circ$,试求:(1) 炮弹出口时的速率;(2) 炮弹命中目标时的速度。

解 (1) 炮弹击中目标时,位移在水平方向上的分量是 30m,在竖直方向上的分量为 15m。设炮弹出口速度为v_0,则炮弹的运动方程为

$$x = v_0 \cos\theta \cdot t$$

$$y = v_0\sin\theta t - gt^2/2$$

将已知数值代入上式，可解得炮弹出口时的速率和击中目标时所经历的时间，分别为

$$v_0 = 21.8\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}, \qquad t = 2.75\mathrm{s}$$

(2) 炮弹的速度沿 x、y 轴的分量为

$$v_x = v_0\cos\theta$$

$$v_y = v_0\sin\theta - gt$$

以已知数值代入上式，得

$$v_x = 21.8 \times \cos60° = 10.09\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

$$\begin{aligned} v_y &= 21.8 \times \sin60° - 9.8 \times 2.75 \\ &= -8.07\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1} \end{aligned}$$

所以击中目标时的速率为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 13.5\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

速度与 x 轴正方向夹角为 α，则

$$\alpha = -\arccos(v_x/v) = -36°9'$$

【例题 6】 某电动机转子半径 $r=0.1\mathrm{m}$，转子转过的角位移与时间的关系为

$$\theta = 2 + 4t^3$$

试求：(1) 当 $t=2\mathrm{s}$ 时，边缘上一点的法向加速度和切向加速度的大小；(2) 当电动机的转角 θ 多大时，其合加速度与半径成 45°角？

解 由转子的角量运动方程

$$\theta = 2 + 4t^3$$

对时间 t 求导数，可得转子的角速度

$$\omega = \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = 12t^2 \tag{1}$$

对时间 t 再次求导数，可得转子的角加速度

$$\beta = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = 24t \tag{2}$$

(1) 以 $t=2\mathrm{s}$ 代入(1)、(2)式得

$$\omega = 48\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\beta = 48\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

根据角量与线量的关系得

$$a_t = \beta r = 48 \times 0.1$$

$$= 4.8\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$a_n = r\omega^2 = 0.1 \times 48^2$$

$$= 2.3 \times 10^2\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

a_t 与 a_n 的方向如图 1-4 所示。

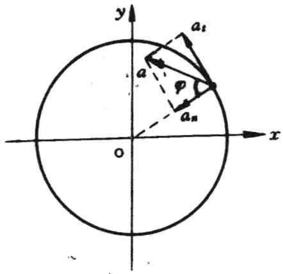

图 1-4

（2）当 $\boldsymbol{a}$ 与 $\boldsymbol{r}$ 成 45°角时，$\boldsymbol{a}$ 也与 $\boldsymbol{a}_n$ 成 45°角，此时

$$\frac{a_t}{a_n} = \frac{a\sin\varphi}{a\cos\varphi} = \text{tg}45° = 1$$

故
$$a_t = a_n$$

又因

$$a_t = r\beta = 24rt$$

$$a_n = r\omega^2 = 144rt^4$$

故

$$24tr = 144t^4r$$

解得

$$t = 0.55\text{s}$$

将 $t=0.55\text{s}$ 代入转子的角量运动方程，得

$$\theta = 2 + 4 \times 0.55^3 = 2.67\text{rad}$$

小结：此题旨在说明如何根据角量运动方程，用微分法求 ω、β，并进而求得 a_n、a_t 等物理量。

【例题 7】 一质点从静止出发沿半径 $R=3\text{m}$ 的圆周运动，切向加速度 $a_t=3\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$。问：(1) 当 $t=2\text{s}$ 时，质点的法向加速度 a_n 等于多大？(2) 2s 内质点经过的路程和角位移为多少？

解 (1) 已知 $a_t=3\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$，由 a_t 的定义式

$$a_t = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

可得

$$\mathrm{d}v = a_t \mathrm{d}t$$

积分，得

$$v = \int_0^t a_t \mathrm{d}t = \int_0^t 3\mathrm{d}t = 3t$$

而

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(3t)^2}{3} = 3t^2$$

当 $t=2\mathrm{s}$ 时

$$a_n = 3 \times 2^2 = 12\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2}$$

(2) 设质点经过的路程为 S(即经过的弧长)。则由

$$v = \frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t}$$

得

$$S = \int_0^t v\mathrm{d}t = \int_0^t 3t\mathrm{d}t = 1.5t^2$$

以 $t=2\mathrm{s}$ 代入上式，得

$$S = 1.5 \times 2^2 = 6\mathrm{m}$$

角位移

$$\theta = \frac{S}{R} = \frac{6}{3} = 2\mathrm{rad}$$

小结：本题旨在说明如何在已知切向加速度和圆周运动的半径时用积分法求质点的速度、法向加速度、路程和角位移等物理量的方法。在运算中应注意掌握角量与线量的关系。

【例题 8】 如图 1-5 所示，两工人通过定滑轮将一重物拉起。若两人拉绳子的速率均为常数 u，试求当两绳夹角为 2θ 时，重物上升的速率为多大?

解 本题可用两种方法求解。

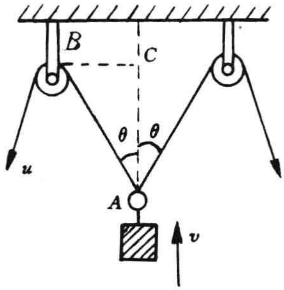

图 1-5

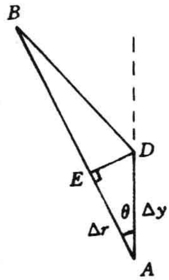

图 1-6

(1) 求导法。

令 $AC=y$,$BC=L$(常量),$AB=r$,显然有关系式

$$L^2+y^2=r^2$$

两边对时间 t 求导数,得

$$2y\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=2r\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} \tag{1}$$

因为

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=-v,\quad \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=-u \tag{2}$$

式中,v 为重物上升的速率,负号表示 y 和 r 随时间 t 的增加而减小。

将(2)式代入(1)式,得

$$v=\frac{r}{y}u=\frac{u}{\cos\theta}$$

(2) 取微元法(见图 1-6)。

设在 t 到 $t+\Delta t$ 时间内,重物从 A 点运动到 D 点,有一小的位移 Δy,则

$$v=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta y}{\Delta t} \tag{3}$$

过 D 点作 $DE\perp AB$,则当 $\Delta t\to 0$ 时有