物理素质教育读物

物理基础概要

高中物理概念、规律和方法

胡一志　编著

中国矿业大学出版社

物理素质教育读物

物理基础概要

高中物理概念、规律和方法

胡一志 编著

中国矿业大学出版社

责任编辑　孙树朴　褚建萍

物理基础概要

高中物理概念、规律和方法

胡一志　编著

中国矿业大学出版社出版发行

新华书店经销　中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092　1/16　印张 18.5　字数 450 千字

1998 年 6 月第一版　1998 年 6 月第一次印刷

印数:1～5100 册

ISBN　7-81040-836-4

O·64　　定价:17.60 元

前 言

物理是一门基础学科，高中所学的物理知识(包括物理概念、物理规律和物理方法)，是进一步学习高深物理知识和其他科学技术的基础，也是参加社会生产和生活必须具备的基础知识。因此，我们应当努力学好它。

由于物理知识跟社会生产和生活实际联系密切，而自然界所发生的物理现象形形色色，所遵循的物理规律也不尽相同，因而许多学生反映物理这门学科难学，认为物理概念不易搞清，物理规律难以掌握，应用物理知识解决实际问题感到很棘手。为了帮助他们排忧解难，笔者以提高学生基本素质为目的，编写了《物理基础概要》这本知识性读物。

本书是根据现行高中物理教学大纲和"物理高考说明"，按照力学、热学、电学、光学和原子物理这个顺序编写而成的。全书共十七章，每章又分若干个专题。内容详略得当，深入浅出，明白易懂。书中列举大量针对性很强的例题，帮助读者辨明物理概念，理解物理规律，掌握学习物理的方法，提高分析和解决实际问题的能力。

本书适合广大高中学生和社会青年自学，也可供中学和中等专业学校物理教师参考。书中标有"※"的内容，为国家教育部规定降低教学要求的高中物理教学内容，供学有余力者选读。

在此书编写的过程中，得到了江苏省淮阴中学领导的支持和帮助；本书的立意和编写，受益于淮阴中学物理教学实践和全体高中物理教师提出的许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中错误在所难免。在使用过程中如发现不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

1998 年 4 月

目　录

第一章 质点的运动

一 描述质点运动的有关基本概念

1. 时刻和时间

时刻是某一瞬时，在时间坐标轴上对应的是一点。例如，在图 1-1 中，A 点对应的是 2 s 末或第 2 s 末或第 3 s 初这一相同时刻，而 B 点对应的是 3.5 s 末这一时刻。

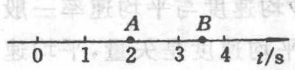

图 1-1

时间是两个时刻之间的间隔，在时间坐标轴上，它对应的是一条线段。例如在图 1-1 中，标有 1、2 两点之间的这一线段表示的是第 2 s 内这段时间。A、B 两点之间线段表示的是 2 s 末到 3.5 s 末这段 1.5 s 时间。

时刻是状态量，时间是过程量。

2. 位置、位移和路程

位置是运动质点在空间或在平面上所处的地点。可以用建立在此空间或平面上的直角坐标系的坐标来表示，如图 1-2 中质点由 A 点沿曲线$\overparen{AMB}$运动到 B 点时，初始位置是 $A(x_1, y_1)$，终了位置是 $B(x_2, y_2)$。

位移就是运动质点位置的变化，其大小是从运动质点的起始位置到终了位置的距离，其方向是从起始位置指向终了位置。如在图 1-2 中一质点沿曲线由 A 点运动到 B 点，其位移大小 $s=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$，方向与 x 轴正方向之间夹角的正切 $\mathrm{tg}\,\varphi=\dfrac{y_2-y_1}{x_2-x_1}$，故夹角 $\varphi=\mathrm{arctg}\,\dfrac{y_2-y_1}{x_2-x_1}$。由此可见，位移是从起始 位置 A 到终了位置 B 的有向线段$\boldsymbol{AB}$。

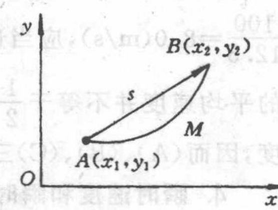

图 1-2

路程是质点的运动轨迹的长度。在图 1-2 中，就是曲线$\overparen{AMB}$的长度。

由上述可知，位置是状态量与时刻对应；位移和路程是过程量，与时间相对应。但位移是矢量，路程是标量。

［例 1］ 一质点，沿半径为 R 的圆周运动一周又回到原来的出发点，在此过程中，其位移和路程的最大值是下列答案中的哪一个？

(A) $2R, 2\pi R$　　(B) $0, 2R$　　(C) $0, 2\pi R$　　(D) $2\pi R, 2\pi R$

解　当质点沿圆周运动半周时其位移最大，为 $2R$。当质点运动一周回到出发点时经历路程最大，为 $2\pi R$。应当选(A)项。

3. 平均速度和平均速率

平均速度是物体在某段时间内所通过的位移 s 与通过这段位移所用时间 t 的比值，即

$$\bar{v}=\frac{s}{t}$$

［**例 2**］ 一物体在一条直线上向一个方向运动，在前半段位移上的平均速度是 4 m/s，在后半段位移上的平均速度是 6 m/s，则物体在整个这段位移上的平均速度是多大？

解 $\bar{v}=\frac{s}{t_1+t_2}=\frac{s}{\frac{0.5s}{v_1}+\frac{0.5s}{v_2}}=\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}=\frac{2\times4\times6}{4+6}=4.8(\mathrm{m/s})$。

由此例可见：(1) 平均速度与位移和这段位移所用的时间有关系。(2) 在通常情况下，平均速度不能理解为速度的平均值。只有对于匀变速直线运动，平均速度才有 $\bar{v}=\frac{v_0+v_t}{2}$ 关系式成立。

平均速率是物体所通过的路程跟通过这段路程所用时间的比值，即 $\bar{v}_{速率}=\frac{l}{t}$。

几点说明：(1) 因为在一般场合下，在相同时间内同一质点所通过的位移大小和路程并不相等(只有在质点沿直线向单一方向运动时才有 $s=l$)。所以平均速度与平均速率一般来说大小是不相等的，因而平均速率并不是平均速度的大小。(2) 平均速度是矢量，平均速率是标量。(3) 平均速度能表示质点在某段时间内运动的平均快慢程度和运动方向，而平均速率只能表示质点运动的平均快慢程度，并不表示其运动方向。

［**例 3**］ 某同学在 100 m 赛跑中，以 6 m/s 的速度从起点冲出，经过 50 m 处的速度是 8.2 m/s，在他跑完全程所用时间的中间时刻 6.25 s 末时的速度为 8.5 m/s，最后以 8.4 m/s 的速度通过终点，则他在这 100 m 运动过程中的平均速度大小是下列答案中的哪一个？

(A) 8.2 m/s　　(B) 8.5 m/s　　(C) 7.2 m/s　　(D) 8.0 m/s

解 中间时刻是 6.25 s 末，所以跑完 100 m 所用的时间 $t=6.25\times2=12.5(\mathrm{s})$。$\bar{v}=\frac{s}{t}=\frac{100}{12.5}=8.0(\mathrm{m/s})$，应当选(D)项。因为此人在全过程中不是做匀变速运动，所以在全过程中的平均速度并不等于 $\frac{1}{2}(v_0+v_t)$，也不等于中间时刻的即时速度，更不等于中间位置时的速度，因而(A)、(B)、(C)三项不对。

4. 瞬时速度和瞬时速率(分别简称之为速度和速率)

运动质点在某一时刻(或某一位置上)的速度叫做瞬时速度。瞬时速度的大小叫做瞬时速率。

瞬时速度不仅能表示物体在某一时刻运动的快慢程度，而且能表示物体的运动方向。速度的方向就是物体的运动方向，总是沿轨迹的切线方向。而速率只能表示物体的运动快慢程度，而不能表示物体的运动方向。这是因为速度是矢量，速率是标量。

［**例 4**］ 如图 1-3 所示，在距地面高度为 h 处，以相同的速率抛出三个小球，球 1 是做竖直上抛运动，球 2 是做平抛运动，球 3 是做竖直下抛运动，当这三个球着地时，速度相同的是哪几个球？速率相同的是哪几个球？不计空气阻力。

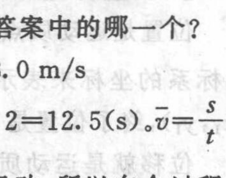

图 1-3

解 设每个球初速度的大小为 v_0，着地速度的大小为 v_t，对于竖直上抛运动 $v_t=\sqrt{v_0^2-2gs}=\sqrt{v_0^2-2g(-h)}=\sqrt{v_0^2+2gh}$；对于平抛

运动 $v_t=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+2gh}$，对于竖直下抛运动 $v_t=\sqrt{v_0^2+2gh}$，因而三个球的着地速率都相同。但是，球 1 和球 3 的着地速度方向都是竖直向下的，而球 2 的着地速度方向是斜向右下方的，所以，着地速度相同的是球 1 和球 3。

［例 5］ 做匀速圆周运动的物体在圆周上各点处的速度是否相同，速率是否相同？

解 速度不同而速率相同。速度不同是因物体在圆周上各点处速度方向不同。

5. 加速度

物体在某段时间内速度的增量 $\Delta \boldsymbol{v}(\Delta \boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1)$ 跟这段时间的比值叫做加速度，即 $\boldsymbol{a}=\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}=\frac{\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1}{\Delta t}$。加速度是用来表示运动质点速度变化快慢的物理量。它是矢量，其方向与 Δv 方向一致，而与 $\boldsymbol{v}_1$ 和 $\boldsymbol{v}_2$ 的方向无必然的联系。

这里应注意：(1) 加速度是由速度的增量和时间这两个因素共同决定的。不能说速度变化大，其加速度就大，也不能说物体在很短的时间内加速其加速度一定大。因为这都只考虑了一个因素，而没有同时考虑速度变化与时间这两个因素。(2) 在计算加速度时，应注意 $\boldsymbol{a}$ 和 $\boldsymbol{v}$ 的方向性。

［例 6］ 一物体从 h 高处自由下落，与水平钢板撞击后反弹起来，仍能升高 h，设撞击时间是 t，求在撞击过程中球的加速度。

解 物体自由下落运动的末速度，就是撞击过程的初速度 $v_1=\sqrt{2gh}$。物体在撞击之后上升的初速度，就是撞击过程的末速度 $v_2=\sqrt{2gh}$。选竖直向下为坐标轴正方向，则 $a=\frac{v_2-v_1}{t}=\frac{-\sqrt{2gh}-\sqrt{2gh}}{t}=-\frac{2\sqrt{2gh}}{t}$。

这表明加速度的大小是 $\frac{2\sqrt{2gh}}{t}$，负号表示加速度的方向与选定的坐标轴方向相反，是竖直向上的。

［例 7］ 关于速度和加速度，下列说法哪些是正确的？

(A) 速度是描述物体位置变化快慢的物理量

(B) 某物体做匀速运动的速度是 -4 m/s，表明该物体的位置在每秒钟内沿坐标轴负方向移动 4 m

(C) 加速度是描述物体速度变化快慢的物理量

(D) 某物体以 3 m/s^2 的加速度做匀加速直线运动时，在第 n 秒初的速度比第 $(n-1)$ 秒末的速度大 3 m/s

解 就匀速运动来说，速度是位移 s 跟所用时间 t 的比值，而位移就是物体位置的变化，所以速度是描述物体位置变化快慢的物理量，对于其它运动，情况也是如此，故(A)正确。显然，(B)、(C)两项也是正确的。因为第 $(n-1)$ 秒末和第 n 秒初指的是同一时刻，第 $(n-1)$ 秒末的速度就是第 n 秒初的速度，所以(D)不正确。

该题应当选(A)、(B)、(C)三项。

二 质点的运动规律

1. 匀速直线运动的规律

$$v=\text{恒量}\ c \qquad s=vt$$

特点：(1) 其速率不变，运动方向恒定；(2) 在任一段时间内，位移大小等于路程。

2. 匀变速直线运动的规律

$$v_t=v_0+at \qquad s=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \qquad v_t^2-v_0^2=2as$$

若把匀变速直线运动当成匀速直线运动来处理，则

$$\bar{v}=\frac{v_0+v_t}{2} \qquad s=\bar{v}t$$

对于自由落体运动、竖直上抛和竖直下抛运动都可以看成是匀变速直线运动的特例。

自由落体运动：$v_0=0$，$a=g$，此时

$$v_t=gt \qquad s=\frac{1}{2}gt^2 \qquad v_t^2=2gs$$

$$\bar{v}=\frac{v_t}{2} \qquad s=\bar{v}t$$

竖直上抛运动：$a=-g$，此时

$$v_t=v_0-gt \qquad s=v_0t-\frac{1}{2}gt^2 \qquad v_t^2-v_0^2=-2gs$$

$$\bar{v}=\frac{v_0+v_t}{2} \qquad s=\bar{v}t$$

上升到最大高度所用时间为 $t_{上}=t_{下}=\dfrac{v_0}{g}$；从抛出到落回原处所用时间为 $t=\dfrac{2v_0}{g}$；能够到达的最大高度为 $h=\dfrac{v_0^2}{2g}$。

3. 匀速圆周运动

质点与轨道圆心的连线所转过的角度 φ 与所用时间 t 的比值叫做角速度，即

$$\omega=\frac{\varphi}{t}$$

质点所经过的弧长 s 与所用时间 t 的比值，叫做匀速圆周运动线速度的大小，即 $v=\dfrac{s}{t}$。线速度的方向总是沿轨道的切线方向。

线速度和角速度都是用来描述做匀速圆周运动的质点运动快慢的物理量。它们之间的关系是 $v=r\omega$，式中 r 是轨道半径。

沿着轨道半径指向圆心的加速度叫做向心加速度，其大小 $a=\dfrac{v^2}{r}=r\omega^2$。

做匀速圆周运动的物体沿圆周运动一周所需的时间叫做周期，其大小 $T=\dfrac{2\pi r}{v}=\dfrac{2\pi}{\omega}$。

注意：(1) 匀速圆周运动不是匀速运动。虽其速率不变，但速度方向时刻在变化，始终沿轨道切线方向。匀速圆周运动实际是变速运动。(2) 匀速圆周运动也不是匀变速曲线运动。因为其加速度大小虽不变，但加速度的方向时刻在变化。

［例 1］ 有长为 5 m 的铁链，悬其上端，若从悬点放开让它做自由落体运动，求这根链条经过悬点正下方 25 m 处所需的时间？取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$。

解 设链子下端落至 $h=25$ m 处所用时间为 t_1，上端落至 $h=25$ m 处所用时间为 t_2，铁链长度为 $l=5$ m，则

$$(h-l)=\frac{1}{2}gt_1^2 \qquad t_1=\sqrt{\frac{2(h-l)}{g}}=\sqrt{\frac{2(25-5)}{10}}=2(\mathrm{s})$$

$$h=\frac{1}{2}gt_2^2 \qquad t_2=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 25}{10}}=\sqrt{5}\,(\mathrm{s})$$

铁链通过悬点正下方 25 m 处所用时间 $t=t_2-t_1=\sqrt{5}-2=0.24(\mathrm{s})$。

［例 2］ 一摩托车做直线运动，从静止开始以 $a_1=1.6\ \mathrm{m/s^2}$ 的加速度加速行驶了一段距离后，做了一段匀速运动，又以 $a_2=6.4\ \mathrm{m/s^2}$ 的加速度做匀减速运动，直到停止，共行驶了 1.6 km，历时 130 s。则(1) 车子的最大速度是多少？(2) 如果 a_1 和 a_2 的值不变，走完这段路程的最短时间是多少？在这种情况下最大速度又是多大？

解 (1) 设车子加速行驶时间为 t_1，匀速行驶时间为 t_2，减速行驶时间为 t_3，最大速度为 v_{m}，则

$$\begin{cases} t_1+t_2+t_3=130 \\ \dfrac{1}{2}a_1t_1^2+(a_1t_1)t_2+\left[(a_1t_1)t_3+\dfrac{1}{2}a_2t_3^2\right]=1600 \\ v_{\mathrm{m}}=a_1t_1=-a_2t_3 \end{cases}$$

将 $a_1=1.6\ \mathrm{m/s^2}$，$a_2=-6.4\ \mathrm{m/s^2}$ 代入上述三式可得 $t_3^2-52t_3+100=0$。解得

$$\begin{cases} t_3=2\ \mathrm{s} \\ t_1=4t_3=8\ \mathrm{s} \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} t_3=50\ \mathrm{s} \\ t_1=4t_3=200\ \mathrm{s} \end{cases} \text{（这组解应舍去）}$$

车子的最大速度 $v_{\mathrm{m}}=a_1t_1=1.6\times 8\ \mathrm{m/s}=12.8\ \mathrm{m/s}$。

(2) 要使车子所用时间最短，则必须加速到最大速度后，立即减速，走完全程立即停下来，此时

$$\begin{cases} v'_{\mathrm{m}}=a_1t_1=-a_2t_2 \\ \dfrac{1}{2}v'_{\mathrm{m}}t_1+\dfrac{1}{2}v'_{\mathrm{m}}t_2=1.6\times 10^3 \end{cases}$$

由两式化简得

$$\frac{1}{2}a_1t_1^2-\frac{1}{2}a_2t_2^2=1.6\times 10^3$$

将 $a_1=1.6\ \mathrm{m/s^2}$，$a_2=-6.4\ \mathrm{m/s^2}$ 代入可求得 $t_1=40$ s，$t_2=10$ s。

故最短时间 $t_{\min}=t_1+t_2=40+10=50(\mathrm{s})$，最大速度 $v'_{\mathrm{m}}=a_1t_1=1.6\times 40=64(\mathrm{m/s})$。

［例 3］ 一物体以 15 m/s 的速度竖直上抛，求：(1) 该物体落回原处所用的时间。(2) 该物体在抛出后第 2 s 内所通过的位移和路程。不计空气阻力，$g=10\ \mathrm{m/s^2}$。

解 (1) 物体落回原处所用时间 $t=\dfrac{2v_0}{g}=\dfrac{2\times 15}{10}=3(\mathrm{s})$。

(2) 2 s 内位移为 $s_2=v_0t_2-\dfrac{1}{2}gt_2^2=15\times 2-\dfrac{1}{2}\times 10\times 2^2=10(\mathrm{m})$；1 s 内位移为 $s_1=v_0t_1-$

$\frac{1}{2}gt_1^2=15\times1-\frac{1}{2}\times10\times1^2=10(\mathrm{m})$。所以第 2 s 内位移为

$$\Delta s=s_2-s_1=10-10=0$$

物体上升的最大高度为 $h=\frac{v_0^2}{2g}=\frac{15^2}{2\times10}=11.25(\mathrm{m})$，故第 2 s 内通过的路程为

$$l=2(h-s_1)=2(11.25-10)=2.5(\mathrm{m})$$

［例 4］ 在有大雾的天气里，一小汽艇执行紧急任务，以速度 v_0 急速行驶，突然发现正前方有一座岛屿，经测量艇离岛的距离是 d，岛的左边缘到艇的原航向距离是 l_1，岛的右边缘到艇的原航向距离是 l_2（如图 1-4 所示），而且 $l_1<d<l_2$。为了化险为夷，在采取下列紧急措施中，汽艇的加速度至少是多大？在这些过程中化险为夷要多长时间？

(1) 航向不变，采取紧急刹车使汽艇做匀减速直线运动；

(2) 速率不变，改变航向，使它做匀速圆周运动从左边避开岛屿；

(3) 速率不变，改变航向，使它做匀速圆周运动从右边避开岛屿。

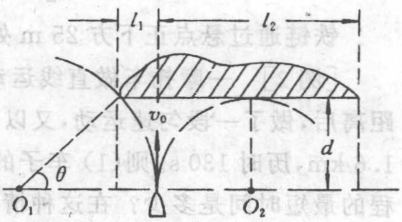

图 1-4

解 (1) 假设航向不变时，为避免危险的最小加速度为 $a_{\min}$，则 $v_t^2-v_0^2=2a_{\min}s$。当艇行至岛边缘时速度等于 0，故

$$0-v_0^2=2a_{\min}d \qquad a_{\min}=-\frac{v_0^2}{2d}$$

化险为夷所用的时间

$$\left(\frac{v_0+0}{2}\right)t=d \qquad t=\frac{2d}{v_0}$$

(2) 向左转时，轨道圆心 O_1 必在速度的垂直方向上，如图 1-4 所示。设半径为 R，则

$$R^2=d^2+(R-l_1)^2 \qquad R=\frac{d^2+l_1{}^2}{2l_1}$$

此时化险为夷所需要的加速度至少为

$$a_{\min}=\frac{v_0^2}{R}=\frac{2l_1v_0^2}{d^2+l_1{}^2}$$

因为 $\sin\theta=\frac{d}{R}=\frac{2l_1d}{d^2+l_1{}^2}$，$\theta=\arcsin\frac{2l_1d}{d^2+l_1{}^2}$，则 θ 角所对的弧长等于 $R\theta=R\arcsin\frac{2l_1d}{d^2+l_1{}^2}$，故化险为夷所用时间为

$$t=\frac{R\theta}{v_0}=\frac{d^2+l_1{}^2}{2l_1v_0}\arcsin\frac{2dl_1}{d^2+l_1{}^2}$$

(3) 向右拐时，只有在圆周半径为 d 时所需加速度最小，此时

$$a_{\min}=\frac{v_0^2}{d}$$

化险为夷所用时间为

$$t=\frac{\frac{1}{4}\times 2\pi d}{v_0}=\frac{\pi d}{2v_0}$$

［例 5］ 物体 A 在物体 B 的正上方离 B 高 h 处，当 B 从地面以初速度 v_0 竖直上抛时，A 同时自由下落。问 B 上抛初速度 v_0 应满足怎样的条件，才能在它下降过程中与 A 相遇？

解 若两球是在 B 上升到最大高处时相遇，此时应满足

$$h=(v_0t-\frac{1}{2}gt^2)+\frac{1}{2}gt^2=v_0t \qquad t=\frac{v_0}{g}$$

得

$$v_0=\sqrt{gh}$$

若两球同时着地，此时应满足

$$\sqrt{\frac{2h}{g}}=\frac{2v'_0}{g} \qquad v'_0=\sqrt{\frac{gh}{2}}$$

要使 B 在下降过程中与 A 相遇，则 v_0 必须比 $\sqrt{gh}$ 小，而比 $\sqrt{\frac{gh}{2}}$ 大，即

$$\sqrt{\frac{gh}{2}}<v_0<\sqrt{gh}$$

［例 6］ 摩托车的最大行驶速度为 25 m/s，要想由静止开始在 2 min 内，沿一条平直的公路追上在它前面 1 km 正在以 15 m/s 的速度匀速行驶的汽车，最小加速度是多大？

解 假设摩托车在追上汽车之前一直是在做匀加速直线运动，设其最小加速度为 a，则 $\frac{1}{2}at^2=d+v_{汽}t$。所以 $a=\frac{2(d+v_{汽}t)}{t^2}=\frac{2(1000+15\times 120)}{120^2}=\frac{7}{18}(\text{m/s}^2)$。但 $v_t=at=\frac{7}{18}\times 120=46\frac{2}{3}(\text{m/s})>25$ m/s，故摩托车在追赶过程中不是一直做匀加速运动，而是先做匀加速运动，当速度达到最大速度 25 m/s 时改做匀速直线运动。设摩托车匀加速运动的时间是 t_1，最小加速度为 a，则

$$at_1=v_m \qquad \frac{1}{2}at_1+v_m(t-t_1)=d+v_{汽}t$$

将有关数据代入两式得

$$at_1=25 \qquad \frac{1}{2}at_1^2+25(120-t_1)=1000+15\times 120$$

由两式解得最小加速度为

$$a=1\frac{9}{16}\ \text{m/s}^2$$

三 运动的合成和分解

一个复杂的运动，往往可以看成是两个简单运动的合运动。例如，竖直上抛运动可以看成是竖直向上的匀速直线运动（其速度是 v_0）和竖直向下的自由落体运动的合运动。竖直下抛运动可以看成是竖直向下的匀速直线运动和自由落体运动的合运动。平抛运动可以看成

是水平方向的匀速直线运动(其速度为 v_0)和自由落体运动的合运动。只要对于一些简单运动的运动规律弄清楚了,就可以研究合运动(即复杂运动)的运动规律了。

因为速度、加速度和位移都是矢量,所以运动的合成和分解都应遵循矢量运算法则,即平行四边形定则。分别表示为

$$v=v_1+v_2 \qquad a=a_1+a_2 \qquad s=s_1+s_2$$

即合运动的速度等于两分运动速度的矢量和,合运动的加速度等于两分运动加速度的矢量和,合运动的位移等于两分运动位移的矢量和。

如果两分运动是在一条直线上,则它们的矢量和可化为代数和计算。例如竖直上抛运动,选竖直向上为坐标轴正方向,则

$$v_1=v_0 \qquad v_2=-gt \qquad v=v_1+v_2=v_0-gt$$

$$a_1=0 \qquad a_2=-g \qquad a=a_1+a_2=-g$$

$$s_1=v_0t \qquad s_2=-\frac{1}{2}gt^2 \qquad s=s_1+s_2=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$$

如果两分运动不是在一条直线上,则应采用平行四边形定则。例如平抛运动,如图 1-5 所示,分别为

$$\begin{cases}v_x=v_0\\ v_y=gt\end{cases} \qquad v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+(gt)^2} \qquad \mathrm{tg}\varphi=\frac{v_y}{v_x}=\frac{g}{v_0}t \qquad \varphi=\mathrm{arctg}(\frac{g}{v_0}t)$$

$$\begin{cases}a_x=0\\ a_y=g\end{cases} \qquad a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=g$$

$$\begin{cases}x=v_0t\\ y=\frac{1}{2}gt^2\end{cases} \qquad s=\sqrt{x^2+y^2}=\sqrt{(v_0t)^2+(\frac{1}{2}gt^2)^2}$$

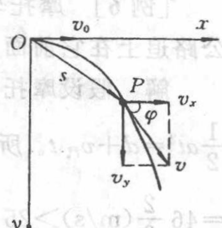

图 1-5

说明:平抛运动在空中运动的时间取决于抛出点离地面的高度,即

$$h=\frac{1}{2}gt^2 \qquad t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

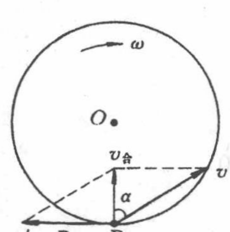

图 1-6

[例 1] 有一个在水平面内以角速度 ω 顺时针匀速转动的转台,半径为 R,圆台边缘 P 处站一个人,此人想举枪打中圆心 O 处的目标,如果子弹的出口速度为 v,不计子弹所受的重力和空气阻力的影响,则枪口应如何瞄准?

解 子弹在 P 处从枪口射出时,相对于地面有一水平向左分速度 $v'=R\omega$,要使子弹出口速度 v 与 v' 的合速度沿半径指向圆心 O,则应像图 1-6 所示那样射出,枪口瞄准方向与半径 OP 夹角 $\alpha=\arcsin\frac{R\omega}{v}$。

[例 2] 一气球从地面以 4 m/s 的速度匀速上升,5 s 末从气球上掉下一个物体,问该物体落到地面需多长时间?若气球在落下该物体后以 1 m/s^2 的加速度匀加速上升,当物体着地时,气球离地面多高?不计空气阻力,$g=10$ m/s^2。

解 气球在 5 s 内上升的高度为 $h=v_0t=4\times5=20$(m)。物体掉下后做竖直上抛运动 $s=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$,将 $s=-h=-20$ m,$v_0=4$ m/s 代入可得物体落到地面所用时间 $t=2.4$ s。在

2.4 s 内气球的位移为 $s'=v_0t+\frac{1}{2}at^2=4\times2.4+\frac{1}{2}\times1\times2.4^2=12.48(\text{m})$，故离地面的高度：$h'=h+s'=20+12.48=32.48(\text{m})$。

[例 3]　如图 1-7 所示，B 点距 O 点竖直高度为 3 m，人以 v_0 匀速将绳子水平向左拉动，求当船头距离河岸边 4 m 时，船头靠岸的速度。

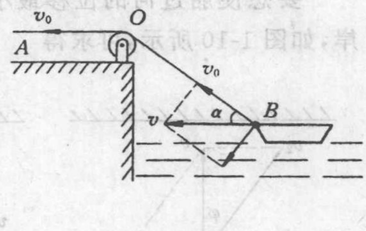

图 1-7

解　船水平靠向岸边的运动，可看成是沿绳子的径向运动和垂直于绳子绕 O 点的转动的合运动，所以靠岸速度 v 可分解为沿绳子和垂直于绳子的两个分速度，如图 1-7 所示。由此可知

$$v=\frac{v_0}{\cos\alpha}\quad 又\quad \cos\alpha=\frac{4}{\sqrt{3^2+4^2}}=\frac{4}{5}$$

故 $v=\frac{5}{4}v_0$，这就是船靠岸的速度。

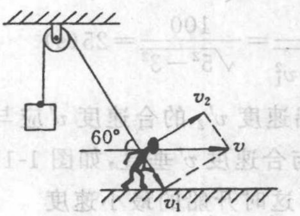

图 1-8

[例 4]　如图 1-8 所示，人拉着绳子沿水平方向以速度 v 匀速向右运动，当绳子与水平方向夹角为 60°时，重物上升的速度是多大？

解　将速度 v 分解为沿绳子方向和垂直绳子方向两个分速度 v_1 和 v_2，其中 v_1 就等于重物上升速度，由图 1-8 可得

$$v_1=v\cos60°=\frac{1}{2}v$$

此时重物上升速度的大小等于 $v_1=\frac{1}{2}v$。

[例 5]　如图 1-9 所示，木块 N 以水平速度 v 匀速向左运动，木块高度为 h。一轻杆长为 l，杆端有一半径为 r 的球。当轻杆与水平方向成 α 角时，球心的速度是多大？

解　木块与杆接触点 P 的运动，可看成是沿杆子方向的运动和杆子绕 O 点的转动的合成运动，所以接触点的水平速度 v 可分解为垂直杆和沿着杆的两分速度 v_1 和 v_2，如图 1-9 所示。由图知

$$v_1=v\sin\alpha\qquad OP=\frac{h}{\sin\alpha}$$

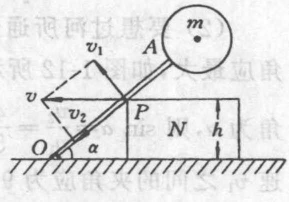

图 1-9

P 点与球心的角速度相同，为 $\omega=\frac{v_1}{OP}=\frac{v_球}{OA+r}$。则球心的速度为

$$v_球=\frac{OA+r}{OP}v_1=\frac{l+r}{\frac{h}{\sin\alpha}}\cdot v\sin\alpha=\frac{l+r}{h}v\sin^2\alpha$$

[例 6]　一条河宽度 d 为 100 m，河水从西向东流动，速度是 $v_1=3$ m/s，则

(1) 今有一艘在静水中航速为 $v_2=5$ m/s 的汽船要渡过河去，如果以此速度开动，要在最短时间内渡过河，船应当向什么方向开动？此时过河所用的最短时间是多长？若要使船过河的位移最小，船应当向什么方向开动？此时过河所用时间又是多长？

(2) 要想使这艘船沿与水流速度成 60°角的直线行驶到对岸，且要求船速最小，这艘船应向什么方向开动？最小船速是多大？

解　(1) 要想过河时间最短，则船相对于河岸的实际速度在垂直于河岸方向上的分速

度应当最大，为了实现目的，这艘船应当一直以垂直河岸方向分速度 v_2 向对岸开动。则过河所用的最短时间是

$$t_{\min}=\frac{d}{v_2}=\frac{100}{5}=20(\mathrm{s})$$

要想使船过河的位移最小，则船实际航行的速度 v(即 v_1 和 v_2 的合速度)应当垂直河岸，如图 1-10 所示，可求得

$$\sin\varphi=\frac{v_1}{v_2}=\frac{3}{5}=0.6$$

$$\varphi=37^\circ$$

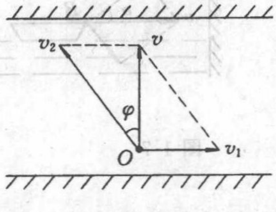

图 1-10

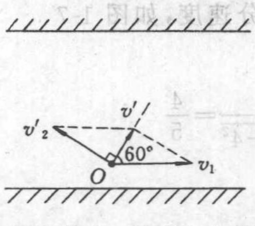

图 1-11

因而，此时船的开动方向应与水的流速方向成 127°夹角。合速度 $v=\sqrt{v_2^2-v_1^2}$，过河所用时间为

$$t=\frac{d}{\sqrt{v_2^2-v_1^2}}=\frac{100}{\sqrt{5^2-3^2}}=25(\mathrm{s})$$

(2) 要想船沿与水流速度成 60°的直线过河，则水速 v_1 与开船速度 v'_2 的合速度 v' 应与水速 v_1 成 60°夹角。要想使开船速度 v'_2 最小，则开船速度 v'_2 应与合速度 v' 垂直，如图 1-11 所示。所以开船的速度方向与水流速度方向之间夹角应为 150°。这时开船的最小速度

$$v'_2=v_1\sin 60^\circ=3\times\frac{\sqrt{3}}{2}=2.6(\mathrm{m/s})$$

[例 7]　一条河宽为 $d=100$ m，若水流速度是 $v_1=5$ m/s，由西向东流动，船在静水中航速 $v_2=4$ m/s。(1) 要想过河所用时间最短，船头应向什么方向开动？所用最短时间是多长？(2) 要想过河所通过的位移最小，船应向什么方向开动？最小位移是多大？

解　(1) 要想过河时间最短，则船头应垂直河岸向对岸开动，与水流速度方向成 90°夹角。最短时间 $t_{\min}=\dfrac{d}{v_2}=\dfrac{100}{4}=25(\mathrm{s})$。

(2) 要想过河所通过的位移最小，则水速 v_1 和船速 v_2 的合速度与水速 v_1 方向之间夹角应最大，如图 1-12 所示。设合速度 v 方向与水速 v_1 之间夹角为 α，则 $\sin\alpha=\dfrac{v_2}{v_1}=\dfrac{4}{5}$，故 $\alpha=53^\circ$，所以船的开动方向与水速 v_1 之间的夹角应为 $90^\circ+\alpha=90^\circ+53^\circ=143^\circ$。

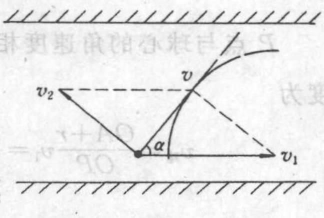

图 1-12

因为分运动和合运动具有等时性，故

$$\frac{d}{v_2\sin(90^\circ-53^\circ)}=\frac{s_{\min}}{\sqrt{v_1^2-v_2^2}}$$

所以最小位移 $s_{\min}=\dfrac{d\sqrt{v_1^2-v_2^2}}{v_2\sin 37^\circ}=\dfrac{100\sqrt{5^2-4^3}}{4\times 0.6}=125(\mathrm{m})$。

[例 8]　在图 1-13 所示的直角坐标系(x 轴水平向右，y 轴竖直向下)中，A、B、C 三点是某一做平抛运动物体轨迹上的三个点，但坐标原点 O 并不是抛出点的位置，g 取 10 m/s²。求(1) 该平抛运动物体的初速度；(2) 抛出点的坐标。

解　(1) 由图 1-13 可知：$x_B-x_A=x_C-x_B=4$ m。由于平抛运动在水平初速度方向上的