

上海市物理学会 主编

中学物理辅导讲座

ZHONGXUE
WULI
FUDAO
JIANGZUO

知 识 出 版 社

中学物理辅导讲座

上海市物理学会 主编

知识出版社出版

(上海人民广场大楼)

上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.5 字数 166,000

1980年12月第1版 1980年12月第1次印刷

印数 100,000 册

书号: 13214·10 定价: 0.61 元

前 言

为了提高中学物理的教学质量，帮助在校学生和自学青年学好物理学，我们上海市物理学会普及工作委员会与上海电视台联合举办全市中学生物理电视辅导讲座。本讲座共有十五讲，内容主要依据最近由人民教育出版社出版的全日制十年制学校高中物理课本，偏重于加强物理概念和实验，从中学教学实际出发，作比较深入浅出的讲解与典型示范，着眼于培养学生思考、分析、观察与实验的能力，防止片面纠缠于难题、偏题的解答。主要对象为高中毕业班同学。

为了配合讲座的进行，我们特约请各主讲同志共同编写了《中学物理辅导讲座》这本书，十五讲包括中学物理中力学、振动与波、热学、电磁学、光学、原子物理和物理实验等部分的主要内容。各讲题目详见目录，这里不一一列举。本书由复旦大学物理系贾起民和华东师范大学物理系宓子宏负责全书的定稿，知识出版社杜晓庄担任责任编辑，汪朗煊为本书的出版做了大量工作。由于大家的共同努力，本书终于和读者见面了，在此我谨代表上海市物理学会普及工作委员会与上海电视台对同志们的辛勤劳动表示衷心的感谢。

上海市物理学会普及
工作委员会主任 袁运开

一九八〇年十一月

目 录

第一讲	运动学	市东中学	陈伟彬(1)
第二讲	牛顿运动定律	复旦大学附中	施 纯(18)
第三讲	动量守恒定律和机械能守恒定律	复旦大学	贾起民(34)
第四讲	机械振动和机械波	上海教育学院	汪思谦(49)
第五讲	气态方程和热力学第一定律	控江中学	袁哲诚(62)
第六讲	静电学	七一中学	吴孟明(79)
第七讲	直流电路分析	五四中学	陈 颢(93)
第八讲	电流与磁场	华东师范大学	宓子宏(110)
第九讲	电磁感应	上海师范学院	张梦心(125)
第十讲	平面镜、透镜与光路的控制	青锋中学	张甫楠(138)
第十一讲	光的干涉、衍射和偏振	华东师范大学	宣桂鑫(155)
第十二讲	原子能级和核反应	上海交通大学	张馥宝(173)
第十三讲	如何解答物理习题	徐汇区教师进修学院	周祖方(191)
第十四讲	因陋就简做实验	上海教育学院	王为骥(207)
第十五讲	学生实验	华东师范大学	杨介信(220)

第一讲 运 动 学

市东中学 陈伟彬

运动学是力学中的一个分科，它研究物体空间的位置和速度随时间变化的规律。关于物体运动变化的原因将在动力学中研究。在本讲中，我们把研究的对象——物体看作只有质量而没有大小的点，称为质点。什么情况下才可以把物体当作质点呢？一种是在讨论的问题中物体本身的大小可以忽略不计。例如地球直径跟它和太阳的距离相比，可以忽略，因此在研究地球绕太阳的运动时可把地球当作质点。另一种是物体上所有各点的运动情况可以看作完全一样，如火车在平直轨道上前进，那么研究物体上任何一个点的运动就可了解整个物体的运动状况，这时我们也可以用个质点代替物体。研究物体的运动时，总得选定另外的某一物体作参照物。在未加说明时，通常是把地面作参照物。

一、运动学中的几个物理量

1. 位移

设质点从 A 沿曲线 ABC 运动到 C 点，在这段时间里质点通过的路程是曲线 ABC ，而质点的位移是方向指向 C 的线段 AC [见图1-1(a)]。位移是矢量，而路程是标量。很明显，如质点作直线运动，则路程和位移并不一定是一致的。如在图1-1(b)中，质点从 A 到 C 时，位移为 AC ，路程为 AC ，前者为

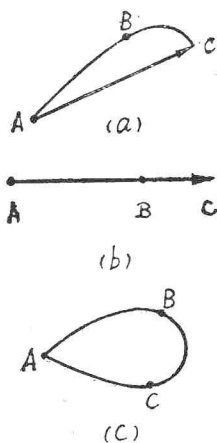


图 1-1

矢量,后者为标量,虽然其量值大小都为 AC ;如质点经 C 回到 B ,则质点运动路程是 $AC + CB$,是一个标量,位移则是 $\mathbf{AC} + \mathbf{CB} = \mathbf{AB}$,是一个矢量,其量值大小却是不相等的。又如质点通过一段路程后回到原出发点,则位移为零,路程则不为零[见图 1-1(c)]。

2. 速度

初中学过匀速运动的速度和变速运动的平均速度。高中应着重搞清即时速度的概念。即时速度是指

质点在某一时刻(或通过某一位置时)的运动快慢程度。如炮弹飞出炮口时的速度和石块落地时撞击地面的速度都是即时速度,而火车从甲站到乙站这段路程上的速度是平均速度。

从理论上分析即时速度可以这样来理解:图 1-2 中,作变速直线运动的质点通过 A 点向右运动。取和 A 邻近的 B 点,量出位移 AB 和时间 t_{AB} ,算出 AB 这段路程上的平均速度 $\bar{v}_{AB}$,它和 A 点的即时速度 v_A 接近但又不等于 v_A 。如改取与 A 更靠近的 C 点,求出的 $\bar{v}_{AC}$ 将和 v_A 更接近。设想取一点无限靠近 A 点的 D 点,则 $\bar{v}_{AD}$ 也将无限接近 v_A ,或者说,我们就可把 $\bar{v}_{AD}$ 当作 v_A 。这里要注意, $\bar{v}_{AD} = AD/t_{AD}$,当 $AD \rightarrow 0$ 时, $t_{AD} \rightarrow 0$,但它们的比值不是零而是趋向于定值 v_A 。



图 1-2

我们还可利用实验来测定物体通过某一点的即时速度,以加深对即时速度的理解。在图 1-3 装置中,跨过定滑轮的细

绳两端连接 M 、 N 两个砝码， M 的重量略大于 N ，它们的重量差刚好能使 M 克服滑轮摩擦和空气阻力而向下作匀速运动。现再在 M 上串一片中心开孔并且外围直径比 M 大的金属片 C ，使 C 和 M 一起向下作匀加速运动。如果要测出 M 通过某一位置 A 时的即时速度，我们可在 A 处放一固定圆环，使 M 通过时 C 被环挡住而脱离 M 及其连线，此后 M 即改作匀速运动。测出这个匀速运动的速度，它的大小就等于 M 通过 A 时的即时速度。

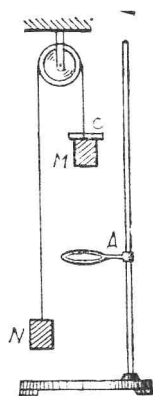


图 1-3

3. 加速度

在变速运动中，速度的变化有快慢的不同。如一辆电车和一辆公共汽车都从车站开出，电车在 20 秒内速度从零增加到 10 米/秒，而公共汽车在 1 分钟内速度从零增加到 10 米/秒，虽然它们速度增加的量都是 10 米/秒，但电车经过的时间短，它的速度变化得比较快，它的加速度就比较大。加速度就是描述物体速度变化快慢程度的一个物理量。

在匀变速运动中，加速度定义为速度的变化跟速度变化所用的时间之比

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} \quad (1)$$

在一般变速运动中，速度的变化跟速度变化所用的时间之比就是这段时间中的平均加速度

$$\bar{a} = \frac{v_t - v_0}{t} \quad (2)$$

如果所取时间 $t \rightarrow 0$ ，则可得到某一时刻的即时加速度。加速度是矢量，方向跟速度变化量 $v_t - v_0$ 方向一致。

加速度的概念比较抽象，我们再通过一些问题的讨论来加深对它的理解。

【问题 1】 物体的速度大，它的加速度是否一定大？物体的速度变化量大，加速度是否一定大？

解：速度、速度的变化量和加速度是概念不同的物理量。加速度并不是“增加的速度”，而是速度变化的快慢程度，即单位时间内速度的变化量。例如作匀速直线飞行的飞机，速度很大，但速度的变化量为零，加速度也为零。可见，物体的速度大，速度的变化量不一定大，加速度也不一定大。又如火车离站后速度从零增加到 25 米/秒，电车离站后速度从零增加到 10 米/秒，火车的速度变化量比电车大。但火车这个加速过程的时间一般是电车加速时间的三、四倍以上，因而火车的加速度比电车小。可见，速度变化大的，加速度不一定大。

【问题 2】 作变速直线运动的物体加速度逐渐减小，它的速度是否也随着减小？当加速度减小到零时，速度是否也变为零？

解：只要加速度的方向跟物体速度的方向相同，物体总是作加速运动。加速度变小只不过是速度增加得慢些，速度仍旧在增加。例如一辆汽车从静止出发，头 10 秒内的平均加速度为 1 米/秒^2 ，它在 10 秒末的速度增加到 10 米/秒。它在第二个 10 秒内的平均加速度减到 0.5 米/秒^2 ，它在这 10 秒内速度又增加 5 米/秒，因而在 20 秒末的速度是 15 米/秒，它在第三个 10 秒内的平均加速度减到 0.1 米/秒^2 ，它在这 10 秒内速度又增加 1 米/秒，因而在 30 秒末的速度是 16 米/秒。汽车速度增加得慢了，但一直在增加着（见图 1-4）。

如果上例中的汽车从 30 秒末开始加速度变为 0，那么以后汽车的速度即不再增加，保持速度为 16 米/秒的匀速直线

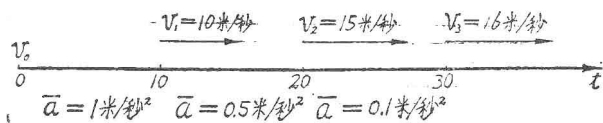


图 1-4

运动。可见,决不能认为加速度减小到零,速度也变为 0。在变速直线运动中,只有当加速度的方向跟物体的速度方向相反时,物体的速度才逐渐减小,作减速运动。

二、匀变速直线运动

匀变速直线运动是最简单的变速运动,它的特点是质点在任何相等的时间内速度变化量都相等,亦即加速度 a 是一个恒量(a 的大小和方向都不变)。

1. 匀变速直线运动的公式

$$\text{速度公式: } v_t = v_0 + at \quad (3)$$

$$\text{位移公式: } s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (4)$$

$$\text{速度跟位移的关系式: } v_t^2 = v_0^2 + 2as \quad (5)$$

匀变速直线运动中,有时还用 $\bar{v} = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)$ 这个关系式,使解题简便。

2. 初速为零的匀加速运动

因为 $v_0 = 0$, 上述三公式可简化为: $v_t = at$, $s = \frac{1}{2} at^2$ 和 $v_t^2 = 2as$ 。

初速为零的匀加速运动有一个特征,即位移跟时间的平方成正比。如用 s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 分别表示质点在 1 秒内(或 1 个单位时间内)、2 秒内、3 秒内、4 秒内的位移,则 $s_1:s_2:s_3:s_4 \cdots = 1^2:2^2:3^2:4^2 \cdots = 1:4:9:16 \cdots$ 。

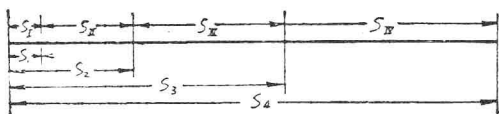


图 1-5

如再用 s_I 、 s_{II} 、 s_{III} 、 s_{IV} 分别表示质点在第 1 秒内、第 2 秒内、第 3 秒内、第 4 秒内的位移，则从图 1-5 可得

$$s_I:s_{II}:s_{III}:s_{IV}\cdots = s_1:(s_2-s_1):(s_3-s_2):(s_4-s_3)\cdots \\ = 1:3:5:7\cdots$$

【例题 1】钢球在斜面上从静止开始向下作匀加速运动，1 秒内通过 0.2 米。求：(1)5 秒内的位移；(2)5 秒末的速度；(3)第 5 秒内的位移；(4)第 5 秒内的平均速度。

解：钢球作初速为零的匀加速运动。 $t_1 = 1$ 秒， $s_1 = 0.2$ 米。

(1) $s_1:s_5 = 1^2:5^2$ ， $s_5 = 25s_1 = 25 \times 0.2$ 米 = 5 米

(2) $s_1 = \frac{1}{2}at^2$ ， $a = 2s_1/t_1^2 = 2 \times 0.2 \text{ 米}/1 \text{ 秒}^2 = 0.4 \text{ 米}/\text{秒}^2$

$v_5 = at_5 = 0.4 \text{ 米}/\text{秒}^2 \times 5 \text{ 秒} = 2 \text{ 米}/\text{秒}$

(3) $s_1:s_5 = 1:9$ ， $s_5 = 9 \times 0.2 \text{ 米} = 1.8 \text{ 米}$ 。也可以先求出 s_4 ，再用 $s_5 - s_4$ 求出 s_5 。

(4) 第 5 秒内的平均速度

$$\bar{v}_5 = s_5/1 \text{ 秒} = 1.8 \text{ 米}/\text{秒}$$

本题比较容易，但也有些同学认为 1 秒内通过 0.2 米，那么 $v = 0.2 \text{ 米}/\text{秒}$ ，因而 $a = v/t = 0.2 \text{ 米}/\text{秒}^2$ 。这种求法之所以错误，是在于不知道他所求出的 v 是 1 秒内的平均速度，而不是 1 秒末的即时速度，不能够用这个 v 代入 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ 公式求 a 。另外，要注意求第 5 秒内平均速度时 t 是 1 秒而不是 5 秒。

3. 匀减速直线运动

匀变速直线运动可分为匀加速直线运动和匀减速直线运动。前者 a 和 v_0 同方向；后者 a 同 v_0 反方向。如果我们把初速度的方向作为速度、位移的正方向，则在匀加速直线运动中加速度 a 为正的量值，在匀减速直线运动中，加速度 a 为负的量值。这样公式(3)、(4)、(5)对匀减速直线运动同样适用，但 a 必须用负值代入。有时把上述三个公式中的“+”号换成“-”号作为匀减速运动的公式，用这种公式时， a 就必须用绝对值代入。

如果物体作匀减速直线运动直到停止，那么可用 $v_t = 0$ 代入公式(3)、(4)、(5)，把公式简化后再运算。

匀减速运动速度减小到零后，可能出现两种情况。一种是加速度不再存在，如汽车在水平道路上淌车，速度减为零时阻力消失，加速度也消失。另一种是加速度继续存在，如物体沿光滑斜面向上匀减速滑动，速度减为零时，由重力的分力产生的加速度仍保持不变，这时物体将由静止向相反方向作匀加速运动。这个匀加速运动的过程也可看作是原来的匀减速运动的继续，仍可用匀减速运动的公式进行计算。要注意公式(4)中的 s 是位移而不是路程。

【例题 2】 以 5 米/秒的速度沿光滑斜坡向上作匀速运动的雪橇上落下一石块，石块在斜坡上运动时的加速度为 -0.5 米/秒²，问在石块落下后 12 秒末石块离雪橇多远？

解：雪橇作的是匀速运动，它在 12 秒内通过的位移是

$$s_1 = v_0 t = 5 \times 12 = 60 \text{ 米}$$

石块作匀减速运动，它在 12 秒内的位移是

$$s_2 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 5 \times 12 - \frac{1}{2} \times 0.5 \times 12^2 = 24 \text{ 米}$$

石块和雪橇相距

$$\Delta s = s_1 - s_2 = 60 - 24 = 36 \text{ 米}$$

讨论：(1)本题中石块沿斜坡向上滑 10 秒后速度已减小为零，此时位移为 25 米，到 12 秒末已沿斜坡向下滑行 2 秒钟，下滑距离为 1 米，结果离出发点为 24 米。上面解题时用公式(4)把 $t = 12$ 秒代入直接求出位移，结果相同。(2)如上面题中的“光滑斜坡”改为“水平冰面”，加速度 -0.5 米/秒^2 是由摩擦力产生的，结果如何？许多同学往往不多思考，仍按上面解法，结果发生错误。这是因石块在水平冰面上作匀减速运动，10 秒末速度减为零后，停止不动了，它的位移 25 米不再改变，因此 12 秒末石块和雪橇相距应为 $60 - 25 = 35$ 米。

三、自由落体运动和竖直方向的抛体运动

1. 自由落体运动

物体只在重力作用下(不受空气阻力等其它外力)从静止开始下落的运动叫自由落体运动。在离地面不太高时，物体下落时的重力加速度 g 可当作不变量。所以自由落体运动是初速为零、加速度为 g 的匀加速运动。取向向下位移为正值，用 h 表示，自由落体运动的公式是

$$v_t = gt \quad (6)$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad (7)$$

$$v_t^2 = 2gh \quad (8)$$

2. 竖直下抛运动

物体有一个向下的初速，在下落过程中只受重力作用(空气阻力不计)，因此它作的是初速不为零、加速度为 g 的匀加速直线运动。它的公式是

$$v_t = v_0 + gt \quad (9)$$

$$h = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (10)$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2gh \quad (11)$$

3. 竖直上抛运动

物体有一个向上的初速,在上升过程中只受重力的作用,在离地面高度不大时,它的运动可看作是加速度为 g 的匀减速直线运动(取 v_0 方向为正, g 取绝对值)。它的公式是

$$v_t = v_0 - gt \quad (12)$$

$$h = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (13)$$

$$v_t^2 = v_0^2 - 2gh \quad (14)$$

竖直上抛运动到达最高点时 $v_t = 0$ (注意这时加速度仍为 g) ,从公式(12)和(14)可得:

竖直上抛物体上升到最高点的时间

$$T = \frac{v_0}{g} \quad (15)$$

竖直上抛物体上升的最大高度

$$H = \frac{v_0^2}{2g} \quad (16)$$

竖直上抛物体达到最高点后立即改作自由落体运动向下回落。很容易证得:它落回原处的时间也等于 $\frac{v_0}{g}$,落回原处的速度大小等于 v_0 ,方向向下。

竖直上抛物体的回落过程也可以看作是原来的竖直上抛运动的继续。时间 t 从上抛开始计算,当物体回落时, $t > \frac{v_0}{g}$,从公式(12)可知 v_t 为负值,这表示回落时速度方向和 v_0 相反。当 $t = \frac{2v_0}{g}$ 时,从公式(13)可算出 $h = 0$,表示物体回落到

原处。当 $t > \frac{2v_0}{g}$ 时，位移 h 出现负值，表示物体已落到抛出点以下（见图 1-6）。因此如已知物体落到抛出点以下某一距离处，要用公式(13)来求抛出后经过的时间，公式中的 h 必须用负值。

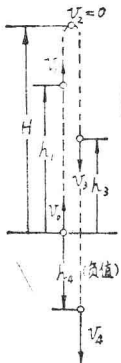


图 1-6

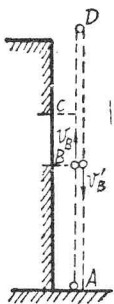


图 1-7

【例题 3】 在靠近楼底的地面上竖直上抛一个小石块，楼上某教室中一学生测得石块经过窗口的时间为 0.2 秒，窗口高 2 米。他又测得石块回落时从窗口底部到地面的时间为 0.4 秒，求石块所达到的最大高度。（ $g = 10$ 米/秒²）

解：图 1-7 中， A 是地面， B 是窗底部， C 是窗顶部， D 是石块上升最高点。

现将石块经过 BC 段的运动看作是初速为 v_B 的竖直上抛运动。用公式(13)

$$h_{BC} = v_B \cdot t_{BC} - \frac{1}{2} g t_{BC}^2$$

代入数字

$$2 = v_B \times 0.2 - \frac{1}{2} \times 10 \times 0.2^2$$

$$v_B = 11 \text{ 米/秒}$$

$$H_{BD} = \frac{v_B^2}{2g} = \frac{11^2}{2 \times 10} = 6.05 \text{ 米}$$

石块回落到 B 时的向下速度 $v'_B = 11$ 米/秒。

石块从 B 到 A 的运动是以 v'_B 为初速的竖直下抛运动，用公式(10)

$$h_{BA} = v'_B \cdot t_{BA} + \frac{1}{2} g t_{BA}^2 = 11 \times 0.4 + \frac{1}{2} \times 10 \times 0.4^2 \\ = 5.2 \text{ 米}$$

所以石块的最大高度

$$H_{AD} = 6.05 + 5.2 = 11.25 \text{ 米}$$

本题还可利用其它解法,例如求出 v_B 后可求石块从 B 上升到 D 的时间,因而也知道了石块从 D 回落到 B 的时间,将此时间和已知条件 0.4 秒相加,即得到从 D 回落到地面的总时间。最后用自由落体运动公式(7)求得 H_{AD} 。

四、运动的合成

当一个物体同时参与两个运动时,这个物体的运动称为这两个运动的合运动,而这两个运动称为分运动。例如船以速度 v_1 (对水)航行,水又以速度 v_2 (对岸)流动时,则船对河岸的运动就是合运动,而船对水的运动和水流的运动是两个分运动。

物理学的研究证明,当一个物体同时参与两个运动时,我们可以把两个分运动分开来考虑,即在研究一个分运动时把另一个分运动当作不存在一样(这叫运动的独立性原理)。最后把两个分运动的位移、速度和加速度按矢量的平行四边形法则相加得到合运动的位移、速度和加速度(图 1-8)。

当两个分运动都是匀速直线运动时,合运动也是匀速直线运动。如果一个分运动是匀速直线运动而另一个是变速直线运动,那么当两个分运动在同一直线上时,合运动是变

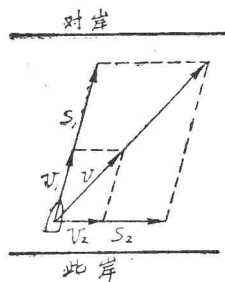


图 1-8

速直线运动；当这两个分运动不在同一直线上时，合运动将是曲线运动，下节的平抛、斜抛运动就是典型例子。

解有关运动合成的习题时，十分重要的是，要掌握分运动和合运动的同时性，即第一个分运动的时间也就是第二个分运动的时间，也是合运动的时间。

【例题 4】河中水流速度为 0.6 米/秒，一条船从 A 点出发，如果保持船身跟河岸垂直的方向航行，则到达河对岸的 C 点，C 在 A 正对面的 B 点下游 180 米处 [见图 1-9(a)]。如要

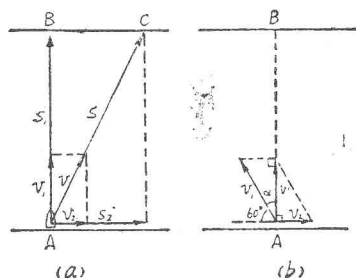


图 1-9

使船渡过河后正好到达 B 点，则应使船航行时船头指向上游和岸成 60° 角的方向 [见图 1-9(b)]。求河宽及两次渡河的时间。

解：本题中船对水的运动和水流的运动是两个分运动，船对岸的运动是合运动。

图 1-9(a) 中的 s_2 是第一次渡河时水流把船带向下游这个分运动的位移，大小等于 BC 。这个分运动的时间

$$t = \frac{s_2}{v_2} = \frac{180}{0.6} = 300 \text{ 秒}$$

因为这个分运动的时间也就是船沿直线 AC 渡河这个合运动的时间，所以船第一次渡河的时间就是 300 秒。

第二次航行时船渡河后正好到达 B 点，说明这时合运动速度 v' 指向 B，亦即 v' 方向跟水流方向 v_2 垂直。作出速度合成的平行四边形，从图 1-9(b) 可看出，因 $\alpha = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ ，所以

$$v_1 = 2v_2 = 2 \times 0.6 = 1.2 \text{ 米/秒}$$

又因两次航行船对水的速度 v_1 是一样的, 故再从图 1-9(a) 得河宽

$$AB = s_1 = v_1 t = 1.2 \times 300 = 360 \text{ 米}$$

再从图 1-9(b) 求出第二次渡河时的合速度 v' 的大小

$$v' = v_1 \cos \alpha = 1.2 \times \cos 30^\circ = 1.04 \text{ 米/秒}$$

所以第二次渡河时间

$$t' = \frac{AB}{v'} = \frac{360}{1.04} = 346 \text{ 秒}$$

请同学们再思考一下: 当船(对水)速度和水流速度不变时, 要使船渡河时间最短, 应如何行驶? 要使船渡河的航程最短, 应如何行驶?

五、平抛物体和斜抛物体的运动

1. 平抛物体的运动

平抛运动可以看作水平方向上的匀速运动和竖直方向上的自由落体运动的合运动。

我们可以根据两个分运动的规律来求出平抛物体在任何时刻的位置和速度。图 1-10 表示, 在抛出后 t 秒末, 物体在水平方向的位移

$$x = v_0 t \quad (17)$$

物体在竖直方向的位移

$$y = \frac{1}{2} g t^2 \quad (18)$$

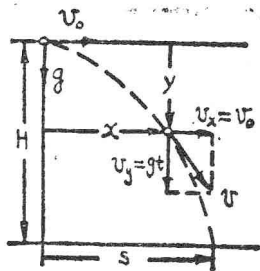


图 1-10

(17)和(18)两式描写了平抛物体在任何时刻的位置。合并两式, 消去 t , 得 $x^2 = \frac{2v_0^2}{g} \cdot y$, 这是一个二次函数式, 表示平抛运动的轨迹是抛物线的一部分。