



自学辅导丛书

自学物理的钥匙

(高中组)

徐昌权 编著

上海科学技术出版社

目 录

第一章 力学	2
一、机械运动的规律	2
二、牛顿运动定律	31
三、力的平衡	50
四、机械能	57
五、曲线运动	73
六、万有引力定律	80
七、波动和声学	85
八、流体力学	92
第二章 分子物理学和热学	101
一、分子运动论	101
二、物体的性质	107
三、物态的变化	123
四、热机	128
第三章 电学	133
一、电场	133
二、稳恒电流	147
三、磁场和电磁感应	170
四、交流电和电磁振荡	180
第四章 光学	193
一、光的反射和折射	193
二、光的本性	207
第五章 原子结构	212

第一章 力学

一、机械运动的规律

1. 路程、速度和加速度 在这一單元里，我們要講由于物体位置的变化而产生的各种运动形式，統称为机械运动。在物理学中研究机械运动的这一部分叫做力学，它是各种技术的基础。一般講，机械运动是非常复杂的，我們这里只講一种最简单的机械运动——固体的平动。所謂固体的平动，是从物体上所引的任何一条直綫，在运动过程中，总是彼此平行的(圖1)。也就是說，物体上各質点的运动情况是一样的。为着这个原因，我們就把整个物体当作質点来研究它的运动，不管大如星球、小如砂粒，都可以这样处理。

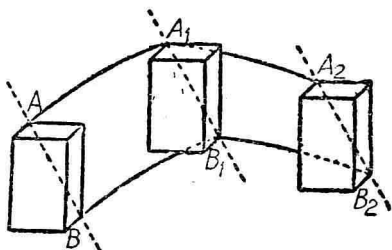


圖 1.

質点的运动可以是直綫运动，也可以是曲綫运动；可以是匀速运动，也可以是变速运动。这些都是本單元里所要講的。但在沒有講之前，先来談談研究这些运动必須弄清的几个物理量。

物体从一个地方运动到另一个地方，我們說物体走了一段路程。和路程相仿的另一个物理量是位移。在直綫运动里，路程和位移有时相同，有时不同。例如某人向东走 10 米，再繼續向东走 8 米，則路程和位移都是 18 米；如这人先向东走 10 米，又向西走 8 米，則他所走的路程是 18 米，而位移只有 2 米(現在的位置与原来的位置相距只有 2 米)。

所以位移有个方向的关系在里边，我們将在本单元第5节标量和矢量里



詳細討論。在曲綫运动里，二者也不一样，例如物体沿曲綫从 A 点运动到 B 点(圖 2)，那末它所走的路程是曲綫 AB ，位移是直綫 AB 。

物体运动的快慢叫做速度，也叫做速率。它們的区别也是个方向关系，我們也要放在标量和矢量一节里談，現在我們統称它做速度。它的意义是：物体所走的路程，跟通过这段路程所用的時間的比。如用 S 代表路程，用 t 代表通过这段路程所用的時間， v 代表速度，則

圖 2.

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

在匀速运动里，速度总是不变，所以它等于單位時間里所走的路程。在变速运动里，物体的运动忽快忽慢，时刻在变，我們就引用平均速度这个概念。所謂平均速度，就是平均起来这物体單位時間里走了多少路程。例如火車第1小时走45公里，第2小时走40公里，第3小时走50公里，那么它的平均速度就是 $\frac{45+40+50}{3} = 45$ 公里/时，就是說火車平均每小时走45公里。又如一塊石头从高空落下，5秒鐘落下了12.25米，那么它的平均速度就是 $\frac{12.25}{5} = 2.45$ 米/秒。所以平均速度也是运动物体所走的路程和走这段路程所化的時間之比。或者說，平均速度等于單位時間里所走的平均路程。

用平均速度的概念来研究变速运动，只能近似地說明它的运动情形。因为物体的速度时刻在变，这一时刻(如第2秒末)的速度，不同于另一时刻(如第2.1秒末)的速度；經過 A 点时的速度，不同于經過另一点 B 时的速度。因之，我們又引用了另一个速度的概念——即时速度。它的含义是运动物体在某一时刻的速度，或者說运动物体在通过某一点时候的速度。

即时速度的概念很重要，但是要在學習了数学里的極限概念之后才

能徹底了解，現在我們不能詳談，不過讀者必須注意，它与匀速运动里的速度或变速运动里的平均速度不同，它們是等于單位時間里所走的路程或平均路程。但即時速度不是这样，譬如我們說某物体的速度第1秒是9.8米/秒，第2秒是17.6米/秒，不是說它第1秒走了9.8米，第2秒走了17.6米，而是說物体在第1秒末这个瞬間的速度是9.8米/秒，第2秒末这个瞬間的速度是17.6米/秒。在第1秒末稍前一点时刻（如0.99秒末）或稍后一点时刻（如1.01秒末），它就不是用这个9.8米/秒的速度运动。在第2秒末稍前一点时刻（如1.99秒末）或稍后一点时刻（如2.01秒末），也不是用这个17.6米/秒的速度运动。我們也可以这样想：假使运动物体从第1秒末开始不再做变速运动，而是做匀速运动，那末在以后的时刻里，每秒鐘將走9.8米。如从第2秒末开始做匀速运动，那么在以后的时刻里，每秒鐘將走17.6米，所以某时刻的即時速度，也可以看做是从这时刻起做匀速运动的速度。

我們以后要講各种变速运动，还要对即時速度举例說明。在習慣上，我們不再写即時速度，而只写速度，但它总是指即時速度，希望讀者注意。

現在我們来談談加速度(用 a 代表)。在变速运动里，速度总在不断变化。但速度的变化也有快有慢，我們就用加速度这个物理量来表示速度改变的快慢。它的意义是：速度的变化，跟發生这种变化所用的時間的比。为着簡單起見，我們假定速度按一定規律改变，不是忽大忽小，而是不断地增加或不断地减小，而且單位時間里增加或减小的速度数值相同，这种运动叫做匀加速运动或匀减速运动。例如某运动物体的速度第1秒是5米/秒，第2秒是7米/秒，第3秒是9米/秒，每秒增加2米/秒，是匀加速运动。在这样簡化的条件下，加速度就等于單位時間里速度的变化(增加或减少)。因此，如某物体在某一时刻 t_1 的速度(指即時速度，下同)是 v_1 ，到另一时刻 t_2 变为 v_2 ，則它的加速度是

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

这种简化，只是为着适合单位时间里速度的变化是相同的这些运动形式。如果不是这样，那就要引用即时加速度的概念。即时加速度是指这一时刻的速度的变化，或指经过某一点时候的速度的变化，它不是高中物理学范围以内的事，我们不再叙述。

从上面加速度的公式里，我们可以看出加速度的单位是 $\frac{\text{米/秒}}{\text{秒}}$ ，简写做米/秒²，读做每秒每秒多少米。

2. 两种最基本的运动形式 在自然界里，物体的运动形式是多种多样的，如机械运动、热运动（分子运动）、电子的运动等。在力学里，我们只讲机械运动，就是物体的位置发生变化的运动。这类运动也有好多种，我们现在先讲两种最基本的运动形式。然后用这两种基本运动为基础，研究其他各种比较复杂的机械运动。

我们要研究各种运动的规律，先要知道什么叫做运动规律。运动规律就是表示运动物体在任何时刻的速度和路程的关系式，也就是路程、速度、加速度和时间的关系。它可以用数学公式来表示，也可以用图线来表示。

第一种最基本的运动是匀速直线运动，简称匀速运动。我们知道，匀速运动的速度总是不变的，因此，如运动开始时的速度为 v_0 ，则以后任何时刻的速度 v 总是等于 v_0 ，即

$$v = v_0 \quad (2)$$

速度既然总是不变，则 1 个单位时间里所走的路程是 $v_0 \times 1$ ，2 个单位时间里所走的路程是 $v_0 \times 2$ ，... t 个单位时间里所走的路程 S 一定是

$$S = v_0 t \quad (3)$$

方程式(2)和(3)就是匀速运动的规律。

 严格讲，匀速运动的定义应该是：在任何相等时间里，物体所走的路程总是相等的。比如说，某物体在第 1 秒里走了 10 米，以后每 1 秒里都走 10 米，这是否就是匀速运动呢？我们把相等时间缩短，看看每 $\frac{1}{2}$ 秒、每 $\frac{1}{5}$ 秒、每 $\frac{1}{100}$ 秒……里怎样，如果它们分别走了 5 米、

2 米、0.1 米……，那末它是匀速运动無疑。如果它在第 1 个 $\frac{1}{5}$ 秒里走 2 米，第 2 个 $\frac{1}{5}$ 秒里走 1.9 米，第 3 个 $\frac{1}{5}$ 秒里走 2.1 米，那它就不是匀速运动了，所以我們要注意任何相等時間这句话。当然現在我們討論的匀速运动没有这么严格。

第二种是初速度等于零的匀加速运动。在这种运动里，加速度不变，但速度（即时速度）則时刻在变。假定加速度为 a ，由于加速度是單位时间里增加的速度，又因初速度等于零，所以：

$$\text{第 1 个單位時間末的速度} = 0 + a = a = a \times 1$$

$$\text{第 2 个單位時間末的速度} = a + a = 2a = a \times 2$$

$$\text{第 3 个單位時間末的速度} = 2a + a = 3a = a \times 3$$

$$\text{第 4 个單位時間末的速度} = 3a + a = 4a = a \times 4$$

.....

$$\text{第 } t \text{ 个單位時間末的速度} = a \times t$$

$$\therefore v = at \quad (4)$$

初速度等于零的匀加速运动是一种速度按一定規律变化的变速运动，初速度等于零， t 时刻的速度是 v ，所以平均速度是 $\frac{0+v}{2} = \frac{v}{2}$ 。在 t 时刻里所走的路程 S 應該等于平均速度乘上時間，所以：

$$S = \frac{v}{2} \times t$$

用(4)代入得

$$S = \frac{1}{2} at^2 \quad (5)$$

公式(4)和(5)就是初速度等于零的匀加速运动規律。如从公式(4)(5)消去 t ，得

$$v^2 = 2aS$$

讓我們举个例来复習一下。从靜止开始运动的物体，如在 6 秒鐘内走了 270 厘米；前 3 秒鐘是做匀加均运动，后 3 秒鐘是用第 3 秒末的即时速度为速度做匀速运动。求物体在第 1 秒里所走的路程和第 1 秒末的

速度，以及后 3 秒做匀速运动时的速度。

按照题目的意思，这个物体在 6 秒鐘內做了两种形式的运动。前 3 秒鐘是做初速度等于零的匀加速运动，后 3 秒鐘是做匀速运动（这时的速度用第 3 秒末的即时速度）。假设前 3 秒走 S_1 厘米，后 3 秒走 S_2 厘米，则

$$S_1 + S_2 = 270$$

前 3 秒既做初速度等于零的匀加速运动，设加速度为 a ，则

$$S_1 = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} a \times 3^2 = 4.5a$$

第 3 秒末的速度是

$$v_3 = at = a \times 3 = 3a$$

后 3 秒做匀速运动，速度就是第 3 秒末的即时速度 v_3 ，所以

$$S_2 = v_3 t = 3a \times 3 = 9a$$

把 S_1 和 S_2 代入第一式得

$$4.5a + 9a = 270$$

$$\therefore a = 20 \text{ 厘米/秒}^2$$

加速度 a 求出后，我们就可以求题目里所提的问题，即

$$\text{第 1 秒內所走的路程} = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 1^2 = 10 \text{ 厘米，}$$

$$\text{第 1 秒末的速度} = at = 20 \times 1 = 20 \text{ 厘米/秒，}$$

$$\text{第 3 秒末的速度，即后 3 秒做匀速运动的速度}$$

$$= at = 20 \times 3 = 60 \text{ 厘米/秒。}$$

我們希望讀者注意：（1）解題時不要急於求答案，因為一般題目，總不是直接代公式就可解決的，應該一步一步地按着題意，尋求題目的關鍵。讀者很容易了解，上例的關鍵就是加速度，加速度求出後，題目里問的問題就容易解決了。（2）希望讀者溫習一下即時速度的意義。從這個例子里，可以很明顯地看出，第 1 秒的即時速度決不等於第 1 秒里所走的路程；另一方面，第 3 秒末的即時速度就是從這一瞬間起做勻速運動的速度。

在初速度等于零的匀加速运动里，有一种叫做自由落体运动，例如一块石子从高空落下来的运动。它和一般的匀加速运动有点不同，因为在一般运动里，加速度要跟着运动物体所受的力的大小而改变（第二單元里要講）。但在自由落体运动里，加速度总是不变的；任何物体，在任何时间，只要它們在同一地方运动，加速度总是一样的；即使在不同地方，相差也不大。这个加速度叫做重力加速度，用 g 来代表。平均講，它的大小是 980 厘米/秒²。

因此，自由落体运动的規律和初速度等于零的匀加速运动規律相同，只是用 g 代替 a ，所以

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

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

这里 S 是物体在时间 t 内竖直落下的距离。从 (6) (7) 消去 t 得

$$v^2 = 2gs。$$

3. 初速度不等于零的匀加速直綫运动 用上面两种最基本的运动做基础，我們可以推导其他各种运动的規律。本节要講三种。

第一种是初速度不等于零的匀加速直綫运动。我們可以把它分做兩部分来看：一部分是用初速度等于 v_0 做匀速运动，另一部分是用初速度等于零，以不变的加速度 a 做匀加速运动；兩部分沿同一直綫，向同一方向运动。这两部分运动的并合，就是初速度不等于零的匀加速直綫运动。所以它的运动規律應該是：

$$v = v_0 + at \quad (8)$$

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (9)$$

从 (8) (9) 消去 t 得

$$v^2 = v_0^2 + 2aS$$

讀者很容易看出，(8) 是 (2) (4) 之和，(9) 是 (3) (5) 之和。这种把比較复杂的运动，看做两个基本运动的合成，叫做运动的合成。

第二种是初速度不等于零的匀减速直綫运动。我們同样可以把它看

做是兩種基本運動沿同一直線，在相反方向上的并合，所以它的運動規律是

$$v = v_0 - at \quad (10)$$

$$S = v_0 t - \frac{1}{2} at^2 \quad (11)$$

从(10) (11)消去 t 得

$$v^2 = v_0^2 - 2aS$$

(8) (9) 和 (10) (11) 兩組公式，實際上是一樣的，只差了一個符號。因為在前面一組里，兩種基本運動的方向是相同的，後面一組里方向相反。前者，速度和路程都不斷增加，所以是兩種基本運動加起來；后者，則速度逐漸減小，相等時間里所走的路程也逐漸減小，所以是兩種基本運動相減。

第三種是豎直上拋運動，像豎直投擲石子的運動。實際上它是初速度不等于零的勻減速直線運動，只是像自由落體運動一樣，不管豎直上拋的物體是石子也好，皮球也好，或其他任何物體，它們的加速度都是重力加速度 g ，所以用 g 代替(10) (11)中的 a ，就得到豎直上拋運動的規律。

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

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

从(13) (12)消去 t 得

$$v^2 = v_0^2 - 2gS$$

上面講的三種運動形式，實際上都可歸結為初速度不等于零的勻加速直線運動。因為勻減速運動可以看做是加速度為 $(-a)$ 的勻加速運動，即負加速度。豎直上拋運動可以看做是加速度為 $(-g)$ 的勻加速運動，現在我們舉兩個例來復習一下。

例1. 用速度 18 米/秒開行著的火車，使在 15 秒鐘內停止。求火車的加速度和它在這段時間內通過的路程。

〔解〕 題目說火車本來用 18 米/秒的速度行駛，經 15 秒鐘停止了，

可見這是初速度不等於零的勻減速運動。這裡，初速度 $v_0 = 18$ 米/秒，15 秒末的速度是零，所以用公式(10)得

$$0 = 18 - a \times 15$$

$$\therefore a = \frac{6}{5} \text{ 米/秒}^2 \text{ (負加速度)}$$

再用公式(11)得

$$S = 18 \times 15 - \frac{1}{2} \times \frac{6}{5} \times 15^2 = 135 \text{ 米}$$

例2. 橡皮球由 7.8 米的高處落下，觸地後豎直向上跳起，上跳的速度是着地時的速度的 $\frac{3}{4}$ 。問球能跳多少高？它由開始降落到第二次觸地要經過多少時間？

[解] 這是自由落體運動和豎直上拋運動的混合題。第一步是自由落體運動。設球從 7.8 米(780 厘米)高處落到地面的時間為 t_1 ，着地時的速度為 v_1 ，則用公式(7)得

$$780 = \frac{1}{2} \times 980 t_1^2$$

$$\therefore t_1 = \frac{1}{7} \sqrt{78} \text{ 秒}$$

用公式(8)得

$$v_1 = 980 \times \frac{1}{7} \sqrt{78} = 140 \sqrt{78} \text{ 厘米/秒}$$

第二步是豎直上拋運動，它上跳的初速度是 $\frac{3}{4} v_1 = \frac{3}{4} \times 140 \sqrt{78} = 105 \sqrt{78}$ 厘米/秒。皮球要上升到速度等於零時，不再上升。設皮球上升到最高的時間為 t_2 ，上升的高度為 h ，則用公式(10)和(11)得

$$0 = 105 \sqrt{78} - 980 t_2$$

$$\therefore t_2 = \frac{3}{28} \sqrt{78} \text{ 秒}$$

$$h = 105 \sqrt{78} \times \frac{3}{28} \sqrt{78} - \frac{1}{2} \times 980 \left(\frac{3}{28} \sqrt{78} \right)^2 = \frac{1755}{4} = 439 \text{ 厘米。}$$

第三步，皮球既不再上升，於是又回落下來，第二次觸地，又變成

自由落体运动。設这次落下来经过的时间是 t_3 ，則用公式 (7) 得

$$\frac{1755}{4} = \frac{1}{2} \times 980 t_3^2$$

$$\therefore t_3 = \frac{3}{28} \sqrt{78} \text{ 秒}$$

所以。从开始降落到第二次触地要经过的时间

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{1}{7} \sqrt{78} + \frac{3}{28} \sqrt{78} + \frac{3}{28} \sqrt{78} = \frac{10}{28} \sqrt{78} = 3.15 \text{ 秒}.$$

从这两个例子里，我們希望讀者注意：(1) 复习一下自由落体运动和豎直上抛运动中的加速度 g ，和一般匀加速运动里的加速度 a 。(2) 像例 2 那样是两种速动的混合題，非常普遍。做習題时，特别是这类混合題，必須先想通它的运动过程，然后一步一步按不同的运动形式，用不同的运动規律来做。(3) 例 2 里的 t_2 和 t_3 是相等的，这不是偶然的相等而是一定相等的，就是說豎直上抛到最高点的时间总等于从最高点再下落到出發点的时间，簡單点講，就是上抛时间等于下落时间，讀者也可以用豎直上抛运动的两个公式来証明它。(4) 做例 2 时，我們不把 t_1 、 v_1 等的方根开出来。这是因为开出来是近似值，一步一步都用近似值，会影响最后結果，而且也会造成計算过程中的麻煩。

4. 平抛和斜抛运动 斜抛石子的运动叫做斜抛运动。如在高处沿水平方向投擲石子的运动，則叫做平抛运动，它們都是曲綫运动。我們也可用运动的合成来解它們。

平抛运动，可以看做是沿水平方向用初速度 v_0 为速度的匀速运动和豎直向下的自由落体运动的合成，所以它的运动規律是：

$$\left. \begin{aligned} v_{\text{水平}} &= v_0 & v_{\text{豎直}} &= gt \\ S_{\text{水平}} &= v_0 t & S_{\text{豎直}} &= \frac{1}{2} gt^2 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中 $v_{\text{水平}}$ 、 $S_{\text{水平}}$ 是水平方向的速度和路程； $v_{\text{豎直}}$ 、 $S_{\text{豎直}}$ 是豎直方向的速度和路程。

讓我們举个例來說明：作出从 125 米高处用 30 米/秒的速度水平抛出的物体的运动軌迹。并求物体落到地面处离抛出处的水平距离和落地

時間。重力加速度 g 可用 10 米/秒²。

先作运动物体的轨迹。按題意和 $v_0 = 30$ 米/秒，代入上述公式得

$$S_{\text{水平}} = 30t$$

$$S_{\text{豎直}} = \frac{1}{2} \times 10t^2 = 5t^2$$

使 $t = 0, 1, 2 \dots$ 代入，得下表

t (秒)	0	1	2	3	4	5
$S_{\text{水平}}$ (米)	0	30	60	90	120	150
$S_{\text{豎直}}$ (米)	0	5	20	45	80	125

根据这只表，我們来作它的轨迹圖（用 1.75 厘米代表 30 米，如图 3）。物体原在 O 点。第 1 秒鐘，它沿水平方向走到 A 点， $OA = 30$

米，同时又豎直向下走了 5

米， $AA_1 = 5$ 米，所以第 1

秒末物体实际上是在 A_1 点。

第 2 秒鐘物体沿水平方向走

到 B 点， $AB = 30$ 米，即

$OB = 60$ 米，同时又豎直向

下走了 $BB_1 = 20$ 米，所以

第 2 秒末物体实际上走到

B_1 点。依此类推，第 3 秒末

物体走到 C_1 点，第 4 秒末在

D_1 点，第 5 秒末在 E_1 点。

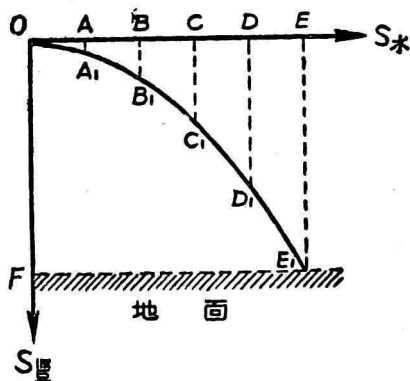


圖 3.

这时 $EE_1 = 125$ 米，按題意物体已落到地面。把 $O, A_1, B_1 \dots$ 联結起来就是运动物体的轨迹圖。

从圖上可以看出，物体落到地面处离抛出处的水平距离 $= FE_1 = 150$ 米，落地時間是 5 秒。

不用圖而用上面的公式也可以求。因为从題目里知道 $S_{\text{斜}} = 125$ 米，所以用 $S_{\text{斜}} = \frac{1}{2}gt^2$ ，就可以求出落地時間 t ，即

$$125 = \frac{1}{2} \times 10t^2$$

$$\therefore t = 5 \text{ 秒}$$

再用 $S_{\text{水平}} = v_0 t$ 得

$$S_{\text{水平}} = 30 \times 5 = 150 \text{ 米}$$

現在來談斜拋運動，它也可以看成是沿斜綫以初速度 v_0 作為速度的勻速運動和豎直向下的自由落體運動的合成。所以它的運動規律是

$$\left. \begin{array}{l} v_{\text{斜}} = v_0 \\ v_{\text{豎}} = gt \end{array} \right\} \begin{array}{l} S_{\text{斜}} = v_0 t \\ S_{\text{豎}} = \frac{1}{2}gt^2 \end{array} \quad (15)$$

讓我們舉個例來說明。用 45 米/秒的初速度跟水平面成 45° 的投射角把一個物體斜向上拋，試作出這個物體的運動軌跡（取 $g = 10$ 米/秒²）。

用上面公式， $v_0 = 45$ 米/秒，得

$$S_{\text{斜}} = 45t \quad S_{\text{豎}} = \frac{1}{2} \times 10t^2 = 5t^2$$

用 $t = 0, 1, \dots$ 代入，得下表

t (秒)	0	1	2	3	4	5	6	7
$S_{\text{斜}}$ (米)	0	45	90	135	180	225	270	315
$S_{\text{豎}}$ (米)	0	5	20	45	80	125	180	245

根據這隻表，我們就可以作出它的軌跡圖（用 1 厘米代表 45 米如圖 4，本圖不很準確，讀者可自畫）。物體原在 0 點。第 1 秒鐘它沿斜綫走到 A 點， $OA = 45$ 米，同時又豎直向下走了 5 米， $AA_1 = 5$ 米，所以實際上第 1 秒末它是在 A_1 點上。同樣，第 2 秒它沿斜綫又走了 45 米到 B 點，即 $AB = 45$ 米， $OB = 90$ 米，但同時它又豎直向下走了 20 米，

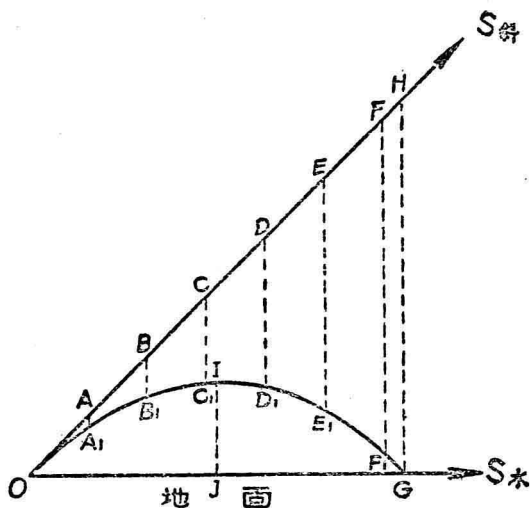


圖 4.

$BB_1=20$ 米，所以第 2 秒末它实际上是在 B_1 点。这样一步一步做下去，就得到第 3 秒末物体在 C_1 点，第 4 秒末在 D_1 点，…… 联结这些点，就得到它的运动轨迹。

从圖上也可求出：(1) 物体落地时间。量 $FH=0.35$ 厘米，从圖上知道，1 厘米代表 1 秒 (即 OA , $AB\cdots$)，所以落地时间是 $6+0.35=6.35$ 秒。(2) 出发点到落地处的水平距离，就是 OG ，量 $OG=4.5$ 厘米，所以是 $45\times 4.5=202.5$ 米。(3) 物体到达的最高度，就是 IJ ，量 $IJ=1.2$ 厘米，所以是 $45\times 1.2=54$ 米。

講了下一节之后，我們还要举例說明。

5. 标量和矢量 第 1 节里談到路程和位移、速率和速度的时候，我們曾說过位移和速度都有个方向关系在里面。实际上，以后我們談到的許多物理量，有的有方向关系，有的没有方向关系。有方向关系的物理量叫做矢量，如位移、速度、力等。没有方向关系的叫做标量，如速率、时间、路程等。所謂有方向关系，就是說这种物理量，我們不但要

曉得它的大小，也要

如果你只說个

天風很大，每小时有多少公里。那叫人們怎么利用或防备它呢？又如你告訴問路人某地离这里3公里，你叫他向西去找，还是向东去找？可見有些物理量，必須要曉得了它的大小和方向，才能算完全曉得，不可缺一。

同性質的标量可以用算术方法加減起来，例如今天你做了5小时工作，昨天做了6小时，前天做了4小时，那你三天里一起做了 $5+6+4=15$ 小时工作。

同性質的矢量，那就不能这样加減，因为它们有方向关系在里边，例如一只船在河里行，水流的速度是2米/秒，自西向东，搖船的速度也是2米/秒，自南向北。你說这两个速度可以簡單地加減起来嗎？当然不應該的，讀者可想想看这只船將向什么方向行駛？

矢量的加減在物理学里是一个重要問題，本节要介紹一些初步的概念和方法，希望讀者注意。

先做一个簡單的实际。用根繩，一端拴一重物，另一端固定在桌面上，如图5中 AA_1 。用鉛笔杆扣着

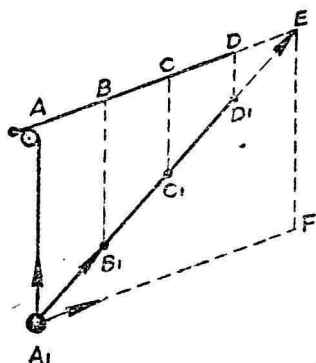


圖 5.

繩子沿 $ABCD$ 移过去，看見重物沿 $A_1B_1C_1D_1$ 的方向走。引長 AD 和 A_1D_1 相交于 E ，作 A_1F 平行于 AE ， EF 平行于 AA_1 ，我們看見重物走的方向 A_1E 是平行四边形 $AEFA_1$ 的对角綫。重物的移动有两个方向，一个是 AE 方向，另一个是豎直向上，即 A_1A 方向。这两个方向上的移动的合成，就成为在 A_1E 方向上的移动。

許多实验都証明：同性質的两个矢量的合成，就是以这两个矢量为边而作的平行四边形的对角綫。

讓我們举个例來說明。小汽艇在靜水里的速度是12千米/时，河中

水流的速度是6千米/时，兩者的方向作 60° 的夾角，求它們合速度的大小和方向。

先來談談圖解法。用1厘米代表2千米/时。作 $OA=3$ 厘米，代表河水的速度。用量角器作 AOB 角等于 60° 。在 OB 上取6厘米，代表小汽艇的速度。作平行四边形 $OACB$ ，則對角綫 OC 就代表合速度的大小和方向了。量 OC 的長，得約8厘米，量 AOC 角得約 41° ，就是說合速度是16千米/时，和河岸作 41° 角(圖6圖已縮小)。

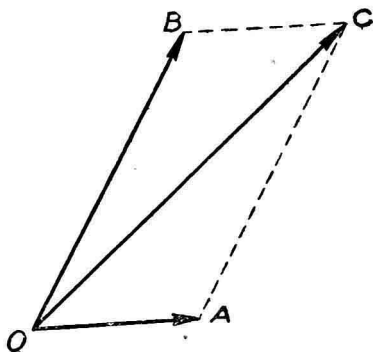


圖 6.

再談談三角法。由於讀者沒有學過三角，先介紹一些簡單的三角和識。一只直角三角

形 ABC 如圖7，其中角 B 是直角，其餘兩角都是銳角。我們把一只銳角的對邊和斜邊之比，叫做這只角的正弦，用 $\sin$ 表示，例如

$$\sin A = \frac{BC}{AC} \quad \sin C = \frac{AB}{AC}$$

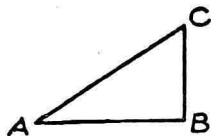


圖 7.

再把它鄰邊和斜邊之比，叫做這只角的余弦，用 $\cos$ 表示，例如

$$\cos A = \frac{AB}{AC} \quad \cos C = \frac{BC}{AC}$$

又把它對邊和鄰邊之比，叫做這只角的正切，用 $\tan$ 表示，例如

$$\tan A = \frac{BC}{AB} \quad \tan C = \frac{AB}{BC}$$

用這三個概念做基礎，我們來推導一些簡單的關係。第一，讀者可以用上面的關係證明：

$$\sin^2 A + \cos^2 A = \left(\frac{BC}{AC}\right)^2 + \left(\frac{AB}{AC}\right)^2 = \frac{BC^2 + AB^2}{AC^2} = \frac{AC^2}{AC^2} = 1$$

同樣可證明， $\sin^2 C + \cos^2 C = 1$