中学生物理课外读物

曲线运动　万有引力

岳燕宁　编

人民教育出版社

中学生物理课外读物

曲线运动　万有引力

[illegible]燕宇　编

·

人民教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

北京顺义永利印刷厂印刷

·

开本 787×1092　1/32　印张 4.75　字数 101,000

1989年2月第1版　1989　2月第1次印刷

印数　　1—141,0

ISBN 7-107-10134-x

G·950　定价 1.30 元

内容提要

曲线运动是常见的、重要的运动形式，远至宇宙中天体的运动，近至生产及生活中的各类机械、交通工具、体育运动、玩具、游戏……无不与曲线运动规律有关。人们还通过研究天体的运动进而认识了一种宇宙间普遍存在的力——万有引力，本书对高中物理中这部份内容进行归纳整理，适当拓宽、加深，对难点进行剖析；并以生动的笔触分析了许多常见的曲线运动中的物理原理，如投篮、跳高、杂技节目、各种交通工具的转弯问题等等；还介绍了人类对宇宙认识的进程，许多科学家的重大贡献以及航天、登月等一系列宇航的成就及展望。

书中还结合对问题的分析介绍了多种思考问题的方法和思路，以生动的事例说明养成科学态度的重要性。

书中推荐了一些有趣、易做的小实验和练习题(有答案)供读者选用。

本书文笔流畅、说理清楚，适合高中学生和具有高中文化程度的青年阅读，也可供中学和中师教师参考。

目　录

第一章 抛体运动

一、平抛运动 运动的独立性原理

抛体运动是一种常见的曲线运动．下面我们先研究一种最简单的抛体运动——平抛运动．

图 1-1 是一幅闪光照片，其中一个球做平抛运动，另一个球做自由落体运动．从照片中可以看出：做平抛运动的小球在竖直方向的运动与做自由落体运动的小球具有相同的规律性．做平抛运动的小球在水平方向的运动则是匀速运动．因此，我们可以把平抛运动当作水平方向的匀速直线运动（速度保持平抛的初速度 v_0）与竖直方向的自由落体运动的合运动．为什么可以这样理解呢？我们的思路是这样的：做平抛运动的小球具有水平的初速度和恒定不变的重力加速度．我们设想：如果没有重力加速度，仅有水平的初速度，那么，由惯性定律，小球将在水平方向上做匀速直线运动；如果没有初速度而有恒定不变的重力加速度 g，那么，小球将在竖直方向做自由落体运动．现在既有初速度 v_0，又存在重力加速度 g，那么，小球就应该同时进行水平和竖直两个方向的运动．

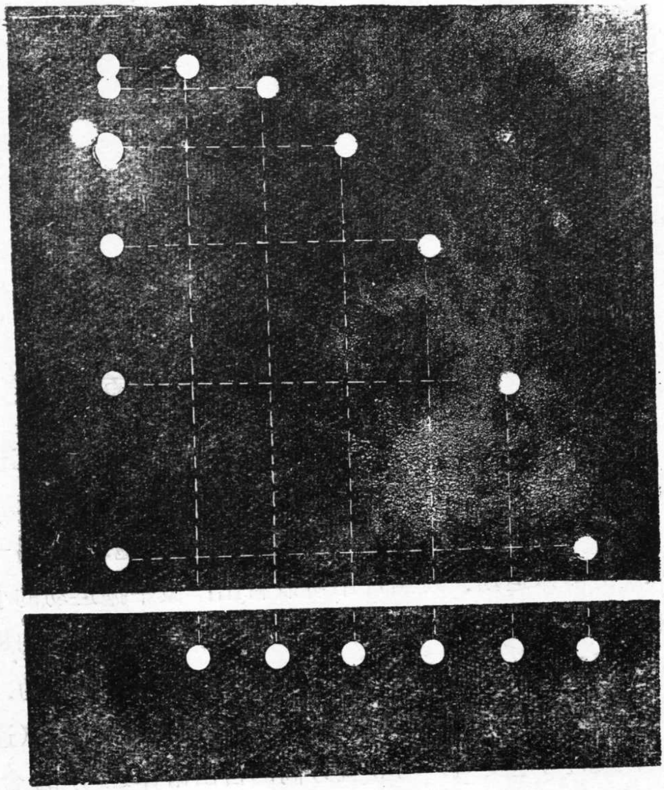

图 1-1

把一个较为复杂的曲线运动等效于两个较为简单的直线运动，这对我们研究问题提供了很大的方便. 这种等效的思维方法我们今后还要常用到它.

闪光照片中显示了做平抛运动的小球在竖直方向的运动与自由落体运动规律相同，这说明做平抛运动的物体在竖直方向的运动并不因为水平方向的运动而产生变化. 同样，平

抛运动的物体在水平方向保持初速 v_0 不变而做匀速运动，也说明了水平方向的运动不因为竖直方向存在加速度而受到影响。其他许许多多实验都证明：**一个物体同时参加两个或更多的运动，这些运动都具有独立性，其中任何一个运动并不因为有另一个运动的存在而有所改变，合运动就是这些互相独立的运动的叠加**。这就是**运动的独立性原理**或**运动的叠加原理**。

下面，我们用数学方法研究平抛运动。如图 1-2 所示，O 为抛出点，Ox 轴与 Oy 轴分别代表水平方向和竖直方向。经过时间t，水平方向与竖直方向的位移分别是：

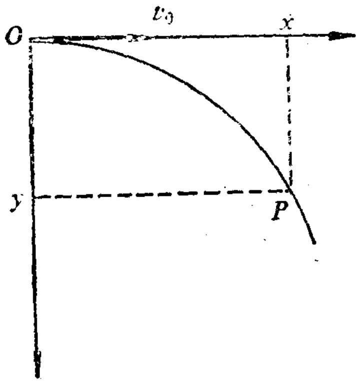

图 1-2

$$x = v_0 t, \qquad (1)$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2. \qquad (2)$$

由(1)式得 $t = \frac{x}{v_0}$，代入(2)式得：

$$y=\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0}\right)^2, \quad y=\frac{gx^2}{2v_0^2}.$$

从解析几何知识知道，这是一个抛物线方程。

【例题】 如图 1-3 所示，枪管 AB 水平地对准小球 C，子弹射出枪口的瞬间，C 球同时自由落下，已知 $BC=100$米。若 C 球落下 20 米时被子弹击中，求：

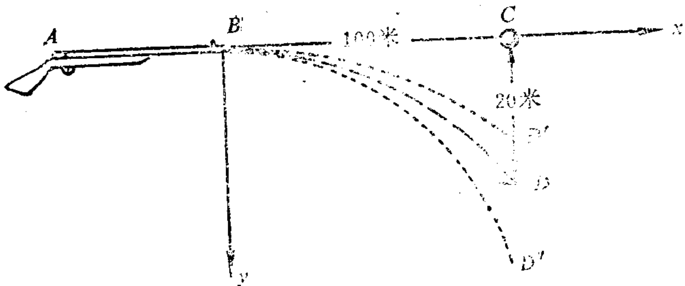

图 1-3

（1） 子弹离开枪口时速度多大？

（2） 若子弹出口的速度不等于 50 米/秒，子弹能否击中球 C？

（3） 若小球 C 不是自由落下，而是以 10 米/秒的初速度与子弹同时同方向水平抛出，子弹的初速度仍为50米/秒，那么，子弹将在何处击中小球 C？ （g 取 10 米/秒^2）

【解】 （1） 子弹飞出枪口后在重力的作用下做平抛运动。平抛运动在竖直方向的分运动是自由落体运动，而球 C 也与子弹同时做自由落体运动，因此，小球与子弹在竖直方向上的运动是“同步”的，即在任何时刻都在同一水平线

上。在子弹击中小球时，子弹与小球在 x 方向（水平方向）上坐标应该相同，就是说子弹水平位移应该达到 100 米。设子弹出口后经过时间 t 击中小球，此时小球下落距离为 h。

$$\because \quad h=\frac{1}{2}gt^2 \qquad \therefore \quad t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 20}{10}}\text{秒}=2\text{秒}.$$

子弹出口速度 v_0 可由下式求得：

$$x=v_0t, \qquad v_0=\frac{x}{t}=\frac{100}{2}\text{米/秒}=50\text{ 米/秒}.$$

（2）假如子弹出口速度不是 50 米/秒，能否击中小球呢？根据上面的分析，子弹与小球在竖直方向总是同步的，至于 x 方向，只要达到时间 $t=\frac{s}{v_0}$（s 是枪口与小球初始位置的距离）总是可以达到同一位置的。当然，击中时小球位置可能不同。如图 3 所示，当 $v_0>50$ 米/秒时，击中点在 D 点以上（例如 D' 点）；当 $v_0<50$ 米/秒时，击中点在 D 点之下（例如 D'' 点）。

（3）如果小球 C 也做平抛运动，子弹也一定会击中小球，因为在 y 方向上子弹与小球总是同步的，在 x 方向，当子弹的水平位移比小球的水平位移大 100 米时，也达到了同一位置。（如图 1-4）

即：$(v_B-v_C)\cdot t=BC,$

$$t=\frac{BC}{v_B-v_C}=\frac{100}{50-10}\text{秒}=2.5\text{ 秒}.$$

击中点的坐标为：

$$x=v_Bt=50\times 2.5\text{ 米}=125\text{ 米},$$

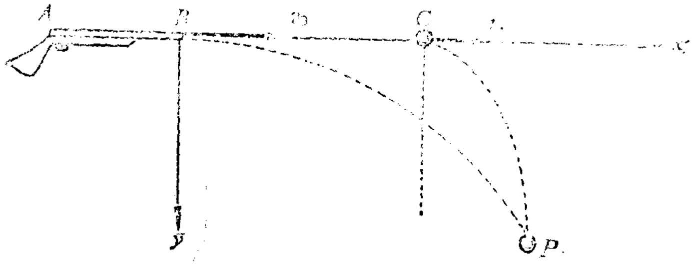

图 1-4

$$y=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times10\times2.5^2\text{米}=31.25\text{米}.$$

这里，我们没有考虑小球和枪口原来的高度。如果在子弹击中小球之前，球已落地，自然子弹不能击中小球了。

二、斜抛运动

如图 1-5，在 O 点以初速 v_0 沿与水平方向成 θ 角的方向抛出一小球，它的运动是斜抛运动。怎样研究这种比较复杂的曲线运动呢？我们同样可以用等效的思维方法，把斜抛运动当做两个直线运动的合运动。

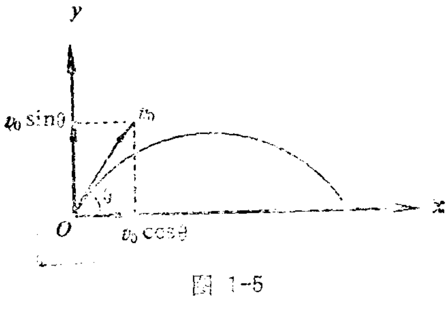

图 1-5

1. 斜抛运动是水平方向上的匀速直线运动与竖直方向上的竖直上抛运动的合运动。

在图 1-5 中，Ox 代表水平方向，Oy 代表竖直方向，把初速度 v_0 分解为水平与竖直两个分速度 v_{0x}，v_{0y}。小球在 x 方向应是什么运动呢？根据运动的独立性原理，在考虑水平方向运动时，可以不考虑竖直方向的运动。在水平方向小球应以速度 $v_0 \cdot \cos\theta$ 做匀速直线运动。同样，在考虑竖直方向运动时，可以不考虑水平方向的运动，在竖直方向，小球既然存在向上的初速度 $v_0 \cdot \sin\theta$ 和恒定的向下的重力加速度 g，那么，它一定是以 $v_0 \cdot \sin\theta$ 为初速度做竖直上抛运动。

我们还可以通过一个想象的实验来形象地理解这个问题。

如图 1-6 所示，在一个沿水平轨道匀速前进的车厢里，一个人竖直向上抛出一个小球。车厢里的人认为小球是做竖直上抛运动，因为他感受不到车厢的运动。但是，地面的观察者看到的却是小球在做斜抛运动。实际上地面的观察者可以认为小球参与了两个分运动——水平方向的匀速运动和竖直方向的上抛运动。

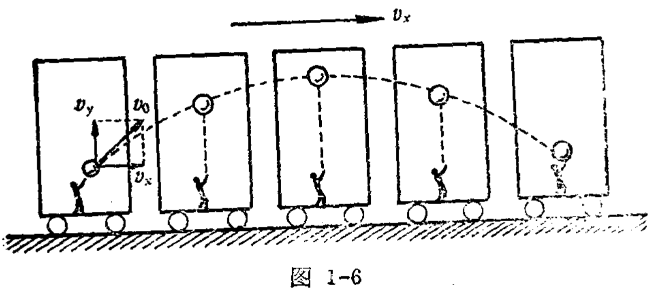

图 1-6

下面，我们按照这样的观点来定量地研究斜抛运动的规律。

（1）**位移公式**。在抛出后 t 秒米，水平与竖直方向的位移为：

$$x=v_0\cdot\cos\theta\cdot t, \tag{3}$$

$$y=v_0\cdot\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2. \tag{4}$$

（2）**速度公式**。经过 t 秒后，运动的水平分速度和竖直分速度分别为：

$$v_x=v_0\cdot\cos\theta,$$

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

合速度应为：$v=\sqrt{v_x^2+v_v^2}$

$$=\sqrt{(v_0\cdot\cos\theta)^2+(v_0\cdot\sin\theta-gt)^2}.$$

v 与 v_x 方向的夹角为 α，则：

$$\mathrm{tg}\,\alpha=\frac{v_0\cdot\sin\theta-gt}{v_0\cdot\cos\theta}.$$

（3）**轨迹方程**。由（3）式得 $t=\dfrac{x}{v_0\cdot\cos\theta}$，代入（4）式，得：

$$y=v_0\cdot\sin\theta\cdot\left(\frac{x}{v_0\cdot\cos\theta}\right)-\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0\cdot\cos\theta}\right)^2$$

$$=x\cdot\mathrm{tg}^{\theta}-\frac{g}{2v^2\cdot\cos^2\theta}\cdot x^2.$$

根据解析几何知识可知道，这是一个抛物线方程。

（4）**飞行时间**。设从抛出起到最高点，经历时间为 t_1。

由竖直方向的运动知：

$$v_y = v_0 \cdot \sin\theta - g t_1 = 0, \qquad 得\ t_1 = \frac{v_0 \cdot \sin\theta}{g},$$

整个飞行时间为 $t = 2t_1 = \dfrac{2v_0 \cdot \sin\theta}{g}$。

(5) **射高**．轨迹最高点的高度叫射高，以 H 表示．

$$H = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v^2 \cdot \sin^2\theta}{2g}.$$

在初速度 v_0 不变的条件下，改变抛射角 θ，射高也跟着改变。当 $\theta = 90°$ 时，射高最大，为：

$$H_{max} = \frac{v^2}{2g}.$$

(6) **射程**．抛体落回到与抛出点同一高度时的水平位移叫射程，用 S 表示。

$$S = v_0 \cdot \cos\theta \cdot t = v_0 \cdot \cos\theta \cdot \frac{2v_0 \cdot \sin\theta}{g} = \frac{v^2 \cdot \sin 2\theta}{g}. \qquad (5)$$

可见射程与 v_0 的平方成正比，而且与 θ 角有关．在 v_0 不变的条件下，改变 θ，就可以改变射程．什么情况下射程最大呢？当 $\theta = 45°$ 时，$\sin 2\theta$ 有最大值 1．从(5)式还可以看出，对应 $\sin 2\theta$ 的某个值，θ 有两个值，且互为余角．所以以相同的速度 v_0 而不同的角度 θ 射出的物体，可以有相同的射程，而这两个 θ 角互为余角（参见图1-7）。

(7) **加速度**．物体做斜抛运动时，仅受一个重力的作用。有的同学有一种误解，认为斜抛运动中，物体除重力外

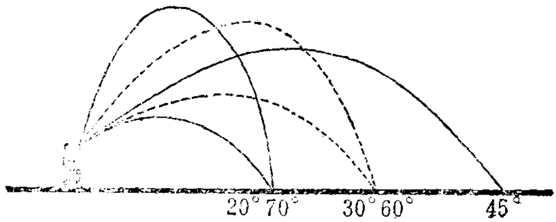

图 1-7

还受一个"抛射力"的作用，例如，在推铅球时，铅球出手后，推力还在起作用，这是不正确的。推力本质上是弹力，而弹力是以接触为前提的。铅球出手后，与手脱离了接触，又何来弹力呢？做斜抛运动的物体只受重力作用，因此存在一个恒定不变的重力加速度 g，所以说斜抛运动是一种匀变速运动（即加速度的大小及方向都恒定不变的运动）。

从图 1-8 中我们还可以看出在抛体上升阶段，重力加速

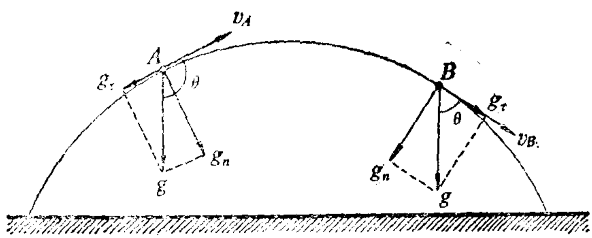

图 1-8

度与即时速度方向夹角大于90°，我们把重力加速度g分为切向和法向两个分量g_τ和g_n，法向分量g_n起改变速度方向的作用，切向分量g_τ起改变速度大小的作用，因为切向分量g_τ与速度反向，所以在上升阶段速率减小；反之，在下降阶段，重力加速度的切向分量与速度同向，因此速率越来越大。

2. **斜抛运动也可以看作是沿初速度方向的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动的合运动。**

我们知道，一个力分解为两个分力，方法不是唯一的。同样，一个运动分解为两个分运动，方法也不是唯一的。应该如何分解，要看对研究问题是否方便。下面我们看看如何把斜抛运动沿抛出方向和竖直方向分解。

设小球以初速v_0沿与水平方向成θ角抛出。小球具有初速度v_0和恒定的加速度g。我们设想，如果小球只具有初速度v_0而不具有加速度g，那么，小球该沿初速度方向做匀速运动；如果小球只具有加速度g而不具有初速度v_0，那么，它应该做自由落体运动。现在同时具有初速度和加速度，那么，它应该既沿抛出方向做速度为v_0的匀速直线运动，又沿竖直方向做自由落体运动。

下面我们用这种方法做出斜抛运动的轨迹。（如图1-9）。

抛出1秒末，小球沿抛出方向匀速前进$S_1 = v_0 t = v_0 \times 1$，同时，又落下$h_1 = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}g$，结果真实的位置在$A$点（不要误解为先运动到$A'$点再降落至$A$点），2秒末在抛出方向