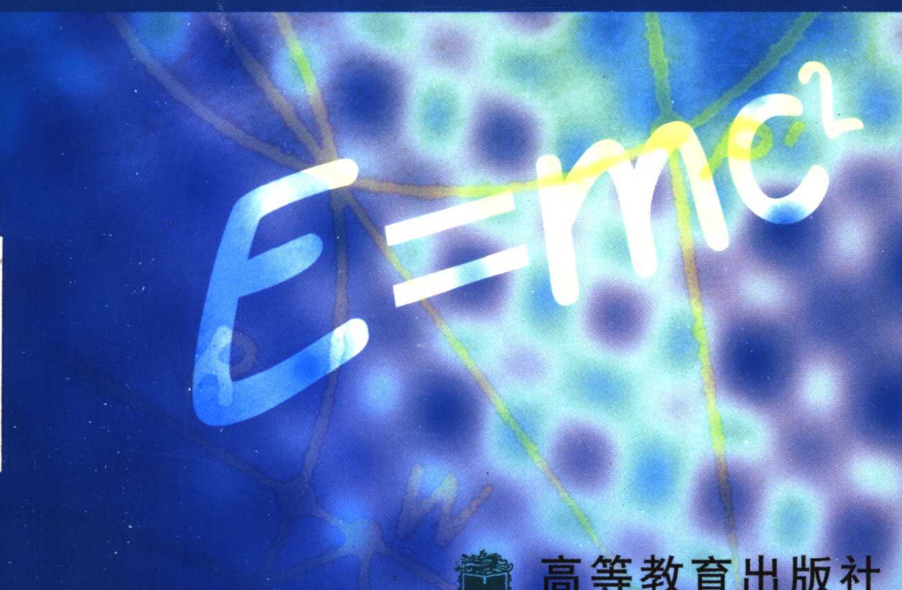
PHYSICS

高等学校教学参考书

物理学基本教程
（第二版）
习题分析与解答

李行一　主编



高等教育出版社

高等学校教学参考书

物理学基本教程

（第二版）

习题分析与解答

李行一　主编

李行一　贾惠凯　王安安　伏云昌　编

高等教育出版社

内容提要

本书是与张达宋教授主编的《物理学基本教程（第二版）》相配套的习题分析与解答．书中对教材中所有的习题进行了详细的分析，力图通过分析，使学生对相关的物理规律有更深的认识，拓宽解题思路；并通过讨论使学生进一步明确计算结果的物理意义．

本书可供使用《物理学基本教程（第二版）》的师生作为教学参考书使用，也可供其他高等院校工科专业的师生和社会读者参考．

图书在版编目（CIP）数据

物理学基本教程（第二版）习题分析与解答/李行一主编．—北京：高等教育出版社，2003．12

ISBN 7-04-012974-4

Ⅰ．物… Ⅱ．李… Ⅲ．物理学-高等学校-解题 Ⅳ．O4-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 088111 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010－64054588
社　　址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800－810－0598
邮政编码	100011	网　　址	http://www.hep.edu.cn
总　　机	010－82028899		http://www.hep.com.cn
经　　销	新华书店北京发行所		
印　　刷	涿州市星河印刷厂		
开　　本	850×1168　1/32	版　　次	2003年12月第1版
印　　张	13.875	印　　次	2003年12月第1次印刷
字　　数	350 000	定　　价	20.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

前　　言

本书是为张达宋主编的《物理学基本教程(第二版)》一书中的习题编写的分析与解答．主教材与第一版相比，更新了约三分之一的习题．依据《高等学校工科本科大学物理课程教学基本要求(1995年修订版)》，删去了一些过于简单或较为繁琐的习题，增加了一些切合实际和反映现代科技发展的题目．

本书习题的分析部分着重说明习题的编选思想，通过解题要达到的目的，以及解题的思路和方法，以期达到举一反三的效果．通过解题，一方面希望加深对物理学基本概念和规律的理解，养成严密的逻辑思维和推理的习惯，了解物理学在工程技术和实际生活中的应用，另一方面，也可以拓宽思路，建立物理学各分支之间的联系，启发和激励创新能力．由于物理习题往往有不止一种解答方式和途径，我们在题解中给出的只不过是其中一种或两种方式．

本书第一章至第七章由李行一编写；第八章至第十章由王安安编写；第十一章至第十八章由贾惠凯编写；第十九章至二十一章由伏云昌编写．全书由李行一统稿．

虽然做题解时总想给出较为简捷和清晰的方法，但由于编者知识和水平所限，错漏难免，而且还会有更好的解题途径，希望读者提出宝贵意见．

编者

2003年4月

于昆明理工大学

策划编辑　陶　铮
责任编辑　董洪光
封面设计　王凌波
责任绘图　朱　静
版式设计　马静如
责任校对　俞声佳
责任印制　陈伟光

郑重声明

目　　录

第一章　质点运动学

1－1　质点做直线运动，运动方程为

$$x = 12t - 6t^2$$

其中 t 以 s 为单位，x 以 m 为单位，求：(1) $t = 4$ s 时，质点的位置、速度和加速度；(2)质点通过原点时的速度；(3)质点速度为零时的位置；(4)做出 $x-t$ 图、$v-t$ 图和 $a-t$ 图．

分析：运动学的问题有两类，一类是已知运动方程，用微分方法求速度和加速度，另一类是已知加速度及初始时刻的速度及位置，用积分方法求速度和运动方程．位移、速度和加速度都是矢量，但在直线运动情况下，常用标量方程代替矢量方程，用标量的正负号表示矢量的方向．直线运动质点的位置、速度和加速度都可以表示为时间的函数 $x(t)$、$v(t)$ 和 $a(t)$，因此可以用 $x-t$ 图、$v-t$ 图和 $a-t$ 图直观形象地给出运动状况和变化过程．

解：(1) 根据直线运动情况下的定义，可得质点的位置、速度和加速度分别为

$$x = 12t - 6t^2 \tag{1}$$

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = 12 - 12t \tag{2}$$

$$a = \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = -12 \tag{3}$$

当 $t = 4$ s 时，代入数字后得

$$x = 12 \times 4\ \mathrm{m} - 6 \times 4^2\ \mathrm{m} = -48\ \mathrm{m}$$

$$v = 12\ \mathrm{m/s} - 12 \times 4\ \mathrm{m/s} = -36\ \mathrm{m/s}$$

$$a = -12\ \mathrm{m/s^2}$$

(2) 当质点通过原点时，$x=0$，代入运动方程，得

$$12t - 6t^2 = 0$$

因此可得质点通过原点的时间分别为 $t_1=0$，$t_2=2\ \mathrm{s}$，代入(2)式后得

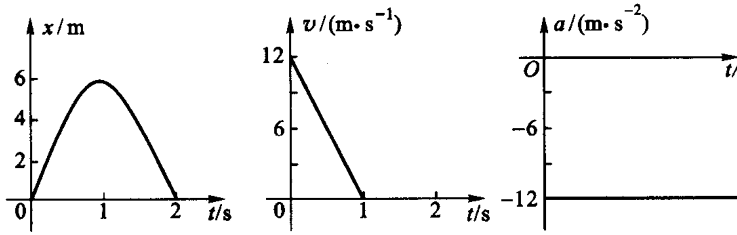
$$v_1 = 12\ \mathrm{m/s},\quad v_2 = -12\ \mathrm{m/s}$$

(3) 将 $v=0$ 代入(2)式，得

$$12 - 12t = 0$$

即质点速度为零时 $t=1\ \mathrm{s}$，再代入(1)式，得其位置为

$$x = 12\ \mathrm{m} - 6\times 1\ \mathrm{m} = 6\ \mathrm{m}$$



题 1-1 图

(4) 根据(1)式、(2)式和(3)式，描述该质点运动的 $x-t$ 图、$v-t$ 图和 $a-t$ 图如图所示.

1-2 一质点在 xy 平面内运动，在某一时刻它的位置矢量 $\boldsymbol{r}=(-4\boldsymbol{i}+5\boldsymbol{j})\ \mathrm{m}$，经 $\Delta t=5\ \mathrm{s}$ 后，其位移 $\Delta\boldsymbol{r}=(6\boldsymbol{i}-8\boldsymbol{j})\ \mathrm{m}$，求：(1)此时刻的位矢；(2)在 Δt 时间内质点的平均速度.（$\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$ 分别为 x、y 方向的单位矢.）

分析：当质点在平面上做二维运动时，通常取 xOy 坐标系，用 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$ 分别表示 x、y 方向的单位矢. 位矢、速度和加速度沿 x、y 方向的分量也可以表示为时间的函数 $x(t)$、$v_x(t)$ 和 $a_x(t)$ 以及 $y(t)$、$v_y(t)$ 和 $a_y(t)$，于是当已知运动方程时，可以用微分方法分别求 x、y 方向速度和加速度的分量，当已知加速

度及初始时刻的速度及位置时，可以用积分方法分别求 x、y 方向速度和运动方程.

解：(1) 据题意，在 $t+\Delta t$ 时刻，该质点的位矢为

$$\boldsymbol{r}_1=\boldsymbol{r}+\Delta\boldsymbol{r}=(-4\boldsymbol{i}+5\boldsymbol{j})\ \mathrm{m}+(6\boldsymbol{i}-8\boldsymbol{j})\ \mathrm{m}=(2\boldsymbol{i}-3\boldsymbol{j})\ \mathrm{m}$$

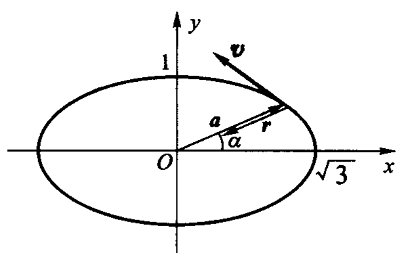
(2) 在 Δt 时间内质点的平均速度为

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{6\boldsymbol{i}-8\boldsymbol{j}}{5}\ \mathrm{m/s}=(1.2\boldsymbol{i}-1.6\boldsymbol{j})\ \mathrm{m/s}$$

1-3 质点在 xy 平面上运动，运动方程为

$$x=\sqrt{3}\cos\frac{\pi}{4}t,\qquad y=\sin\frac{\pi}{4}t$$

其中 t 以 s 为单位，x、y 以 m 为单位. (1)求质点运动轨道的正交坐标方程并在 xy 平面上绘出质点的轨道；(2)求出质点的速度和加速度表示式，由此求出质点在轨道上运动的方向并证明质点的加速度指向坐标原点；(3)求 $t=1$ s 时质点的位置和速度与加速度的大小和方向.



题 1-3 图

分析：从质点运动轨道的参数方程中消去 t，就得到轨道的正交坐标方程. 当质点做曲线运动时，速度方向沿曲线的切线方向，加速度方向则始终指向曲线凹的一侧. 计算过程中通常都先求出速度和加速度的 x、y 方向的分量，再确定速度和加速度的大小和方向.

解：(1) 质点的运动方程为

$$x=\sqrt{3}\cos\frac{\pi}{4}t \tag{1}$$

$$y=\sin\frac{\pi}{4}t \tag{2}$$

将(1)式两边同除以$\sqrt{3}$并平方后与(2)式的平方相加，得正交坐标方程为

$$\frac{x^2}{3}+y^2=1$$

上式表明质点的运动轨道是一个椭圆，如图所示.

(2) 由(1)式和(2)式可得质点速度和加速度的 x、y 方向分量分别为

$$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-\frac{\sqrt{3}}{4}\pi\sin\frac{\pi}{4}t \tag{3}$$

$$v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=\frac{\pi}{4}\cos\frac{\pi}{4}t \tag{4}$$

$$a_x=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=-\frac{\sqrt{3}}{16}\pi^2\cos\frac{\pi}{4}t \tag{5}$$

$$a_y=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=-\frac{\pi^2}{16}\sin\frac{\pi}{4}t \tag{6}$$

则质点速度为

$$\boldsymbol{v}=-\frac{\sqrt{3}}{4}\pi\sin\frac{\pi}{4}t\,\boldsymbol{i}+\frac{\pi}{4}\cos\frac{\pi}{4}t\,\boldsymbol{j}$$

当 $t=0$ 时，由运动方程(1)式和(2)式，得知质点位于横坐标上$\sqrt{3}$的位置，由(3)式和(4)式，知 $v_x=0$，$v_y=\frac{\pi}{4}>0$，即表明质点在椭圆上沿逆时针方向运动.

质点加速度为

$$\boldsymbol{a}=-\frac{\sqrt{3}}{16}\pi^2\cos\frac{\pi}{4}t\,\boldsymbol{i}-\frac{\pi^2}{16}\sin\frac{\pi}{4}t\,\boldsymbol{j}$$

由(1)式和(2)式得 t 时刻质点的位矢为

$$\boldsymbol{r}=\sqrt{3}\cos\frac{\pi}{4}t\,\boldsymbol{i}+\sin\frac{\pi}{4}t\,\boldsymbol{j} \tag{7}$$

位矢 $\boldsymbol{r}$ 与 x 轴的夹角 φ 由下式确定：

$$\tan\varphi=\frac{y}{x}=\frac{\sqrt{3}}{3}\tan\frac{\pi}{4}t$$

而加速度 $\boldsymbol{a}$ 与 x 轴的夹角 α 则由下式确定：

$$\tan\alpha=\frac{a_y}{a_x}=\frac{\sqrt{3}}{3}\tan\frac{\pi}{4}t$$

即有 $\tan\alpha=\tan\varphi$，注意到在曲线运动中加速度始终指向曲线凹的一侧，则得 $\alpha=\varphi+\pi$，表明 $\boldsymbol{a}$ 与 $\boldsymbol{r}$ 方向相反，指向原点，如图所示.

(3) 当 $t=1$ s 时，由(1)式至(6)式得

$$x=\frac{\sqrt{6}}{2}\text{ m},\qquad y=\frac{\sqrt{2}}{2}\text{ m}$$

$$v_x=-\frac{\sqrt{6}}{8}\pi\text{ m/s},\qquad v_y=\frac{\sqrt{2}}{8}\pi\text{ m/s}$$

$$a_x=-\frac{\sqrt{6}}{32}\pi^2\text{ m/s}^2,\qquad a_y=-\frac{\sqrt{2}}{32}\pi^2\text{ m/s}^2$$

速度的大小

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\frac{\sqrt{2}}{4}\pi\text{ m/s}$$

速度 $\boldsymbol{v}$ 与 x 轴的夹角 θ 则由下式确定：

$$\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=-\frac{\sqrt{3}}{3}$$

注意到此时 $v_x<0$，$v_y>0$，则

$$\theta=\arctan\left(-\frac{\sqrt{3}}{3}\right)=\frac{5}{6}\pi$$

加速度的大小

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=\frac{\sqrt{2}}{16}\pi^2\text{ m/s}^2$$

对于夹角 α 有

$$\tan\alpha=\frac{a_y}{a_x}=\frac{\sqrt{3}}{3}$$

又因 $a_x<0$，$a_y<0$，则

$$\alpha=\arctan\frac{\sqrt{3}}{3}=\frac{7}{6}\pi$$

1－4 质点沿直线运动，其速度 $v=t^3+3t^2+2$，如果 $t=2$ 时，$x=4$，求 $t=3$ 时质点的位置、速度和加速度.（其中 v 以 m/s 为单位，t 以 s 为单位，x 以 m 为单位）

分析： 质点做直线运动时，已知速度，用微分方法可以求出加速度；而用积分方法可以求出任意时刻的位置，其中积分常数利用初始时刻的位置确定. 也可以用分离变量方法分别对位置和时间积分，直接求出某时刻质点的位置，即

$$\int_{x_1}^{x_2}\mathrm{d}x=\int_{t_1}^{t_2}v(t)\,\mathrm{d}t$$

得

$$x_2=x_1+\int_{t_1}^{t_2}v(t)\mathrm{d}t$$

其中 x_1 为初始时刻 t_1 质点的位置，x_2 为所要求的时刻 t_2 质点的位置.

解： 速度表示式对 t 积分，得

$$x=\int v\,\mathrm{d}t=\frac{1}{4}t^4+t^3+2t+x_0$$

将 $t=2$ s 时，$x=4$ m 代入上式，得积分常量 $x_0=-12$ m，则

$$x=\frac{1}{4}t^4+t^3+2t-12$$

速度表示式对 t 求导数，得

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=3t^2+6t$$

因此 $t=3$ s 时质点的位置、速度和加速度分别为

$$x = \frac{1}{4} \times 3^4\ \text{m} + 3^3\ \text{m} + 2 \times 3\ \text{m} - 12\ \text{m} = 41.25\ \text{m}$$

$$v = 3^3\ \text{m/s} + 3 \times 3^2\ \text{m/s} + 2\ \text{m/s} = 56\ \text{m/s}$$

$$a = 3 \times 3^2\ \text{m/s}^2 + 6 \times 3\ \text{m/s}^2 = 45\ \text{m/s}^2$$

1-5 质点沿直线运动，加速度 $a = 4 - t^2$，如果当 $t = 3$ 时，$x = 9$，$v = 2$，求质点的运动方程.（其中 a 以 m/s^2 为单位，t 以 s 为单位，x 以 m 为单位，v 以 m/s 为单位）

分析：质点沿直线运动，仅当加速度为常量时才能应用熟知的匀加速运动公式. 若加速度是时间的函数，就要用积分方法求速度和运动方程，其中积分常数由初始时刻的速度及位置确定.

解：加速度表示式对 t 积分，得

$$v = \int a\ \mathrm{d}t = -\frac{1}{3}t^3 + 4t + v_0$$

$$x = \int v\ \mathrm{d}t = -\frac{1}{12}t^4 + 2t^2 + v_0 t + x_0$$

将 $t = 3$ s 时，$x = 9$ m，$v = 2$ m/s 代入以上二式，得积分常数 $v_0 = -1$ m/s，$x_0 = 0.75$ m，则

$$v = -\frac{1}{3}t^3 + 4t - 1$$

$$x = -\frac{1}{12}t^4 + 2t^2 - t + 0.75$$

1-6 质点以不变的速率 5 m/s 运动，速度的方向与 x 轴间夹角等于 t 弧度（t 为时间的数值），当 $t = 0$ 时，$x = 0$，$y = 5$ m，求质点的运动方程及轨道的正交坐标方程，并在 xy 平面上描画出它的轨道.

分析：当质点做恒定速率的曲线运动时，由于速度方向在改变，即为变速运动. 如果已知速度方向的变化规律，通常取 xOy 坐标系，将速度的 x、y 方向分量表示为时间的函数 $v_x(t)$ 和 $v_y(t)$，分别用微分和积分的方法可以计算出质点沿 x、y 方向的加速度和位置，从而确定质点的运动方程和轨道的正交坐标方

程.

解: 设质点的速度为$\boldsymbol{v}$，与 x 轴间夹角为 t 弧度，则速度的分量为

$$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=v\cos t,\qquad v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=v\sin t$$

以上两式分别分离变量后积分，得

$$x=v\sin t+C_1,\qquad y=-v\cos t+C_2$$

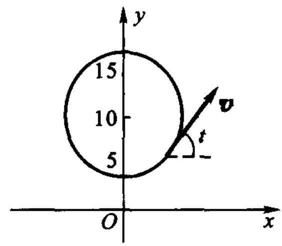
初始条件为 $t=0$ 时，$x=0$，$y=5\ \mathrm{m}$，代入以上两式后，得

$$C_1=0,\qquad C_2=10\ \mathrm{m}$$

因此运动方程为

$$x=5\sin t,\qquad y=-5\cos t+10$$

从中消去 t，得质点运动轨道的正交坐标方程为



题 1－6 图

$$x^2+(10-y)^2=25$$

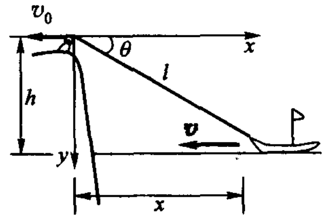
这是圆心在 y 轴上 10 m 处的圆，半径为 5 m，如图所示.

1－7 在离水面高度为 h 的岸上，有人用绳子拉船靠岸，人以v_0 的速率收绳，求当船离岸边的距离为 s 时，船的速度和加速度.

分析: 根据矢量分解与合成的法则，物体任一时刻的速度都可以按平行四边形方法或三角形方法分解为分量，并利用几何关系确定速度与分量之间的相互关系. 应用这种方法，必须首先确定物体速度方向和沿什么方向进行分解. 在本题中，船的速度是沿水平方向，收绳速率是指绳长 l 的减短率，或者船速度沿绳长方向的分量. 收绳速率不变，但绳长方向与水平方向之间的夹角 θ 则随时间变化，如题 1－7 图所示. 因此，可以将船速度分解为沿绳长方向和垂直于绳长方向的两个分量，但是这两个方向是随时间变化的. 于是可以得到船速 v 与收绳速率的关系为

$$v_0 = v\cos\theta$$

利用几何关系可以得到下面的(1)式. 这样的算法固然简单，但是很容易误将船速 v 作为收绳速率 v_0 的分量考虑，所以对于初学者来说，还是按照下面的取直角坐标系，从位置坐标计算速度分量的方法，思路较为清晰.



题 1-7 图

解: 选如图所示的直角坐标系，设 t 时刻绳长为 l，船的速度为 $\boldsymbol{v}$ ，则此时船的 x、y 方向坐标分别为

$$x = \sqrt{l^2 - h^2}, \qquad y = h$$

由速度定义得

$$v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t} = 0$$

$$v = v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \frac{l}{\sqrt{l^2 - h^2}}\frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t}$$

因绳长 l 随时间减小的速率等于人的收绳速率，即 $-\dfrac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t} = v_0$，则当 $x = s$ 时，船的速度为

$$v = -\frac{l}{\sqrt{l^2 - h^2}}v_0 = -\frac{\sqrt{s^2 + h^2}}{s}v_0 \tag{1}$$

其中负号表明船的速度方向沿 x 轴的负向.

又由加速度的定义得

$$a_y = \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = 0$$

$$a = a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(-\frac{l}{\sqrt{l^2 - h^2}}v_0\right) = -\frac{h^2}{(l^2 - h^2)^{3/2}}v_0^2$$

当 $x = s$ 时，加速度为

$$a = -\frac{h^2}{s^3}v_0^2$$

其中负号表明船的加速度方向也沿 x 轴的负向，且船做变加速直线运动.

1-8 当物体以非常高的速度穿过空气时，由空气阻力产生的反向加速度大小与物体速度的平方成正比，即 $a = -kv^2$，其中 k 为常量. 若物体不受其他力作用沿 x 方向运动，通过原点时的速度为 v_0，试证明在此后的任意位置 x 处其速度为

$$v = v_0 e^{-kx}$$

分析：当加速度不是时间的显函数，而是速度的函数时，不能直接对时间积分求得速度，而应利用加速度和速度的定义，分离变量后再对不同的变量积分计算. 在动力学中，常碰到变力作用下的质点运动问题，将会用到类似的方法，经过较多的应用实践，该方法也是不难掌握的.

证：根据加速度的定义，得

$$\frac{dv}{dt} = a = -kv^2$$

因 $a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx}\frac{dx}{dt} = v\frac{dv}{dx}$，代入上式，分离变量，整理后得

$$\frac{1}{v}dv = -k dx$$

应用初始条件 $x=0$ 时，$v = v_0$，上式两边分别对 v 和 x 积分：

$$\int_{v_0}^{v}\frac{1}{v}dv = -\int_0^x k dx$$

得

$$\ln\frac{v}{v_0} = -kx$$

即有

$$v = v_0 e^{-kx}$$

1-9 一枝气枪竖直向上发射，发射速度为 29.4 m/s，若