



普通物理

习题指导书

祝瑞琪 叶善专 等编

高等教育出版社

普通物理习题指导书

祝瑞琪 叶善专
薛 兼 舒素珍 陈未名 合编

高等教育出版社

1986

本书是配合高等工业学校现行普通物理学教科书，以原上海交通大学等十校物理教研组编《普通物理学习题集》（1961年版）中“习题指导书”为基础，针对当前物理教学中实际情况，重新编写的。

全书按物理运动形式分为十一章，每章先扼要总结有关基本概念和公式，接着列举典型例题，章末附有少量习题。

本书适用于高等工业学校物理师生，也可供各类高等学校物理师生参考，供具有高中文化水平的读者自学。

本书由唐炳华审阅，经沈汝源复审，并推荐出版。

普通物理习题指导书

祝瑞琪 叶善专 等编

高等教育出版社 出版

新华书店北京发行所发行

北京顺义县印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 11.875 字数 297000

1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷

印数 00,001—5 360

ISBN 7-04-000526-3/O·170

定价 3.15 元

前 言

普通物理学是理工院校各专业的一门重要基础课。在学习物理的过程中，习题是理论教学的一个重要辅助环节。为了帮助大学生更好地学习普通物理学，我们在《普通物理学习题集》（上海交通大学等十校合编，1961年人民教育出版社出版）中所附“习题指导书”的基础上，编写了这本物理辅助教材。本书对普通物理中的一些典型习题作了较为详尽的分析，以帮助学生巩固和加深所学基本理论、扩大知识面，并培养学生运用所学的理论分析和解决问题的能力。我们在教学实践中，总结解题步骤和方法如下：

首先明确题意。仔细分析题目中的每一句话和每一个已知条件，辨明题目中哪些是已知量，哪些是未知量。

其次确定解题途径。将所学原理和概念与题目中给出的条件联系起来，加以分析，从而确定较简捷的解题途径和方法。

第三列出文字符号式。按已确定的解题途径，写出解题所依据的原理，列出以文字符号所代表的各物理量之间的关系式，然后进行运算、化简，最后得出由一个或几个已知量的文字符号所表示出的待求量的等式。用文字符号解题，物理意义清楚，而且可以避免计算重复，又便于检查计算结果。如果解题一开始或中途就代入数字，往往容易出错。

第四检查和分析解题结果。首先核对等式两边的量纲是否一致，其次可以将某些特定的数值代入文字公式，分析其结果是否符合实际情况。

第五算出结果。将已知的各量采用统一的单位制代入公式进行数字运算。计算结果除应写出单位外，还应注意有效数字的位数。

在解完一道题后，可以通过下述两种方法检查自己是否已掌握与习题有关的概念、原理和定律。一种方法是将习题“逆过来”解一遍。例如，在原习题中，已知 a 求 b ，那末在检查时，可以另拟题为已知 b 求 a 。另一种方法是将已知条件稍作变动，讨论这一变动对结果的影响。

在编写过程中，我们有以下几方面的考虑：

1. 选择内容时，考虑了与工科院校现行普通物理学教科书的配合。

2. 为了培养学生分析和解决问题的能力，我们还注意到解题思路的分析和指导，注意同一类型题目的综合和概括以及学生常犯错误的剖析。为了启发学生思考，我们有意提出了一些“为什么？”这些问题，读者经过思考一般都是能够回答的。

3. 注意理论与实际的联系。书中尽量收集一些与理论联系密切的实际题目。例题的数据及分析也力求符合实际情况。

4. 解题时所需的数学知识，仅限高等数学课程的内容。

5. 为了便于读者掌握物理课程中的重点，本书在每一部分之前备有学习要求和内容提要，之后备有少量习题，书末附有答案。

全书分11章。第1章叶善专执笔，第2、3、4、5章薛豪执笔，第6、7、11章祝瑞琪执笔，第8、9章舒素珍执笔，第10章陈未名执笔。最后由祝瑞琪、叶善专负责统稿。

编 者

1987年5月于南京工学院

目 录

前言	1
第一章 质点运动	1
一、运动学	1
二、牛顿运动定律	21
三、功与能 动量与冲量 守恒定律	39
第二章 刚体转动	61
第三章 机械振动和机械波	80
一、机械振动	80
二、机械波	96
第四章 气体分子运动论	110
第五章 热力学基础	122
第六章 静电学	137
一、电场强度	137
二、电势	159
三、静电场中的导体和电介质 电容	177
第七章 直流电	197
第八章 电流的磁场	211
第九章 电磁感应	239
第十章 波动光学	262
一、光的干涉	262
二、光的衍射	279
三、光的偏振	291
第十一章 近代物理学基础	304
一、狭义相对论基础	304
二、热辐射 波和粒子	317

三、量子力学初步	329
四、原子核物理	343
附录	352
表一、常用物理常数	352
表二、有关地球、月球、太阳的数据	353
表三、元素的原子量 (原子质量单位)	353
表四、某些稳定同位素和放射性同位素的原子量 (原子质量单位) 和半衰期 τ	355
答案	359

第一章 质点运动

一、运 动 学

1. 要求

1. 掌握描写质点运动状态和状态变化的基本物理量及其物理概念:位置矢量 $\mathbf{r}$ 、位移 $\Delta\mathbf{r}$ 、速度 $\mathbf{v}$ 以及加速度 $\mathbf{a}$ 。明确 $\mathbf{r}$ 、 $\mathbf{v}$ 、 $\mathbf{a}$ 的矢量性、相对性和瞬时性;

2. 明确运动方程的意义,学会由运动方程计算 $\mathbf{r}$ 、 $\mathbf{v}$ 、 $\mathbf{a}$ 的方法;

3. 学会用图示法描写质点运动,掌握直线运动的 $x-t$ 图, $v-t$ 图, $a-t$ 图和各图线之间的关系;

4. 掌握匀变速平面运动方程的矢量表示式

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2$$

并能根据运动叠加原理,应用矢量计算方法求解运动学问题。

II. 内容提要

1. 基本概念

位置矢量 $\mathbf{r}$ 及位移 $\Delta\mathbf{r}$

从坐标原点到质点某时刻位置所引的矢量为位置矢量。在直角坐标系中位置矢量 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ 。质点在 Δt 时间内位置的变化,以自始点指向终点的有向线段 $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ 表示, $\Delta\mathbf{r}$ 称为质点的位移。

速度 $\mathbf{v}$

$$\text{平均速度 } \bar{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

平均速度描述质点在一段时间间隔 Δt 内运动状态的粗略情况, 方向即为 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向。

$$\text{瞬时速度 } \mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.1)$$

瞬时速度描写质点在某一瞬时的运动状态, 其方向沿质点在该点处路径的切线方向, 并指向质点前进的一侧。

质点在 XOY 平面中运动, 可写成

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} \\ &= v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} \\ v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\ \operatorname{tg}\theta &= \frac{v_y}{v_x} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

θ 为 $\mathbf{v}$ 同其在 X 轴上的分矢量 v_x 之间的夹角。

加速度 $\mathbf{a}$

$$\text{平均加速度 } \bar{\mathbf{a}} = \frac{\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

$$\text{瞬时加速度 } \mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1.3)$$

在平面运动情况下, 可写成

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} \\ &= a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} \\ a &= \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \\ \operatorname{tg}\theta &= \frac{a_y}{a_x} \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

θ 为 $\mathbf{a}$ 同其在 X 轴上的分矢量 a_x 之间的夹角。

在自然坐标系中, 可以写成

$$\mathbf{a} = a_n \mathbf{n} + a_t \boldsymbol{\tau} \quad (1.5)$$

式中 $\boldsymbol{\tau}$ 为切线方向的单位矢量, $\mathbf{n}$ 为法线方向的单位矢量.

法向加速度
$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

式中 ρ 为质点所在点的曲率半径.

切向加速度
$$a_t = \frac{dv}{dt}$$

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{a_n}{a_t}$$

θ 为 $\mathbf{a}$ 与切线方向的夹角.

2. 运动方程

运动物体的位置随时间变化的关系, 即位置矢量 $\mathbf{r}$ 与时间 t 的函数关系式, 称为质点的运动方程. 在平面运动情况下, 有

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{r} &= \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} \\ \text{或} \quad \begin{cases} x &= x(t) \\ y &= y(t) \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{匀速直线运动方程} \quad x &= x_0 + vt \\ \text{匀变速直线运动方程} \quad x &= x_0 + vt + \frac{1}{2}at^2 \\ \text{匀变速平面运动方程} \quad \mathbf{r} &= \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2}\mathbf{a}t^2 \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

由质点的运动方程, 可以求得任一时刻质点的位置、速度和加速度. 反之, 若已知 $\mathbf{a}(t)$ 或 $\mathbf{v}(t)$ 以及初始条件, 通过积分可以求得质点的运动方程 $\mathbf{r}(t)$.

3. 运动叠加原理

一个运动可以看成由几个同时进行的各自独立的运动叠加而成, 称为运动的叠加原理或运动的独立性原理.

因此, 像抛体运动这类匀变速平面运动, 可看成两个同时进行

的各自独立的直线运动的叠加。例如，可以将抛体运动看成：(1) 水平方向匀速直线运动和竖直方向匀变速直线运动的叠加；(2) 任意两个方向的匀变速直线运动的叠加；(3) 初速 v_0 方向的匀速直线运动($v_0 t$) 和竖直方向自由落体运动($\frac{1}{2}gt^2$) 的叠加。所以，根据这一原理，可以选择最简便的分解方法求解运动学有关问题(详见例题 5)。

4. 相对运动

描写任何运动都应该选择一定的参照系，用不同的参照系描述同一运动的质点，将有不同的 r 、 v 、 a 。

设有一质点相对参照系 S' 的运动速度为 v ，而参照系 S' 相对参照系 S 以速度 u 作匀速直线运动，如图 1-1 所示，则质点相对参照系 S 的运动速度 V 为

$$V = v + u \quad (1.8)$$

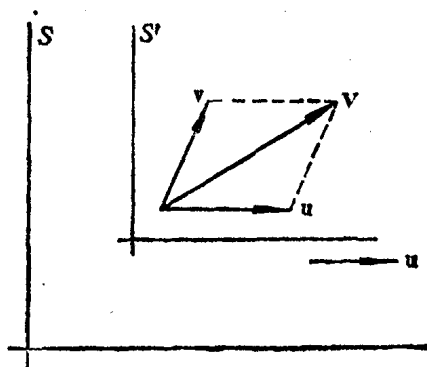


图 1-1

III. 解题示例

例题 1 已知质点直线运动的方程 $x = 10 + 15t - 2.5t^2$ (米)，求：

(1) $t = 0, 3, 6, 8$ 秒时质点的位置、速度、加速度；

(2) 0—3 秒, 0—6 秒和 0—8 秒等时间内的平均速度;

(3) 画出质点运动的 $x-t$, $v-t$, $a-t$ 的曲线图;

(4) 质点通过 $x=0$ 处的时刻.

解 请读者首先根据运动方程, 粗略判断该质点的运动情况, 然后再作如下运算.

本题属于已知运动方程, 求 x 、 v 、 a 等物理量的这一类型问题. 我们可以根据这些量的定义, 直接由方程 $x=10+15t-2.5t^2$ 对时间 t 求一阶和二阶微商而求解.

$$v = \frac{dx}{dt} = 15 - 5t \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -5 \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$(1) \quad t=0 \quad x_0=10 \text{ m}$$

$$v_0=15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (\text{正} X \text{ 方向})$$

$$a_0=-5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (\text{负} X \text{ 方向})$$

$$t=3 \text{ 秒} \quad x_3=32.5 \text{ m}$$

$$v_3=0$$

$$a_3=-5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (\text{负} X \text{ 方向})$$

$$t=6 \text{ 秒} \quad x_6=10 \text{ m}$$

$$v_6=-15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (\text{负} X \text{ 方向})$$

$$a_6=-5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (\text{负} X \text{ 方向})$$

$$t=8 \text{ 秒} \quad x_8=-30 \text{ m}$$

$$v_8=-25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (\text{负} X \text{ 方向})$$

$$a_8=-5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (\text{负} X \text{ 方向})$$

$$(2) \quad 0-3 \text{ 秒} \quad \bar{v} = \frac{x_3 - x_0}{t_3 - t_0} = 7.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (\text{正} X \text{ 方向})$$

$$0-6 \text{ 秒} \quad \bar{v} = \frac{x_6 - x_0}{t_6 - t_0} = 0$$

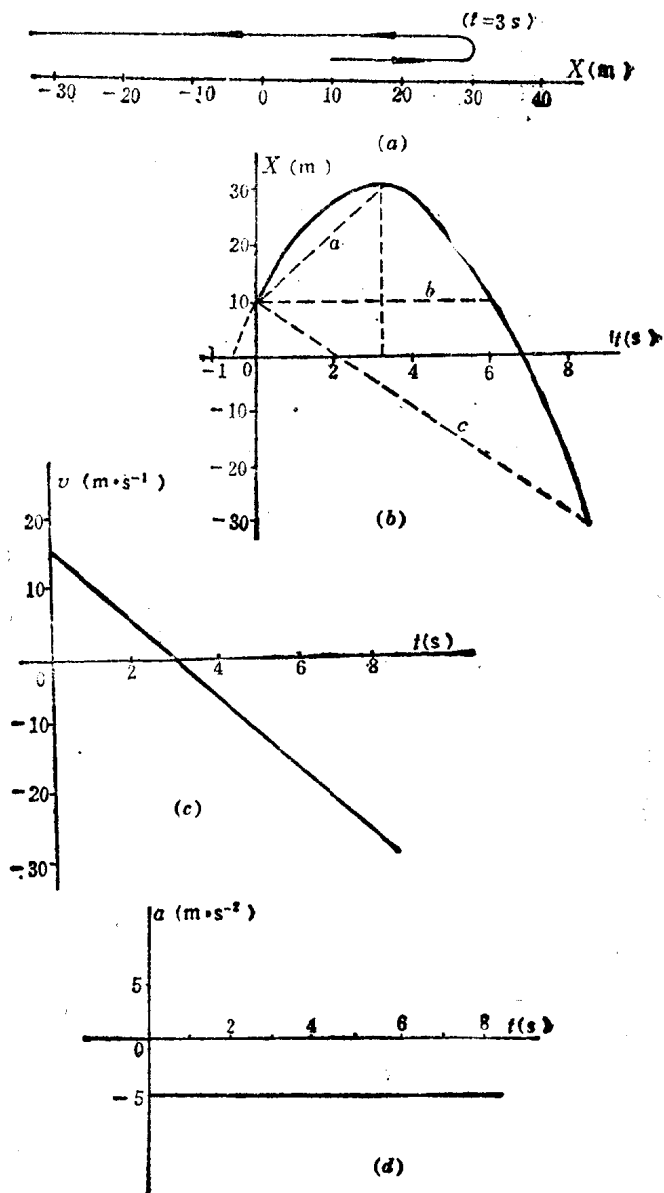


图 1-2

$$0-8 \text{ 秒} \quad \bar{v} = \frac{x_8 - x_0}{t_8 - t_0} = -5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (\text{负 } X \text{ 方向})$$

(3) 由 $x = 10 + 15t - 2.5t^2$ 得

$$v = 15 - 5t \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$a = -5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

可以画出质点的 $x-t$, $v-t$, $a-t$ 等图线, 如图 1-2 所示, 其中图 (a) 为质点运动的径迹.

(4) 当 $x=0$ 时, 由运动方程得

$$10 + 15t - 2.5t^2 = 0$$

解得

$$t = 6.6 \text{ s} \quad \text{和} \quad t = -0.6 \text{ s}$$

讨论

(1) 请设想一个能按上述运动方程而运动的物理机构.

(2) 题中解得 $a = -5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 负号表示什么意义? 是否表示质点一定作匀减速直线运动?

(3) 图 1-2 的 $x-t$ 图上三根虚线 (a、b、c) 的斜率, 是否分别表示质点在 0—3 秒, 0—6 秒, 0—8 秒的平均速度的大小? 为什么? 它们的方向是否也可以从三根虚线的斜率来确定?

(4) 本题最后求得质点通过 $x=0$ 处有两个 t 值, 其中有一负值, 是否可以认为时间没有负值, 因此应该舍去? 是否可以认为凡属方程解得的两个 t 值都应该保留? 为什么?

注 读者在回答题(4)之前, 请考虑这一事实: 我们在解题时, 总是要利用一些初始条件, 即 $t=0$ 时质点的位置和速度等. 但这并没有告诉我们质点过去的任何运动情况. 例如, 设想一个物体从离地面高度为 h 的位置处, 由静止开始自由下落, 则有初始条件 $v=0, y=h$. 但是, 根据这一初始条件, 物体可能是由于人们把它拿到离地面高度为 h 的位置处, 然后由静止让它自由下落; 也可能是把物体上抛到达离地面高为 h 的最高点处, 然后开始下落. 在这二种情况中, 物体在初始条件 $t=0$ 时, $v=0, y=h$ 之后的运动

情况是完全相同的。在解这一问题时，求物体通过某一高度位置时的 t 值就有正负两个值，那么，对应上述物体的两种情况，就有不同的结论。属于上述第一种运动情况， t 为负值显然是不符合事实的，应该舍去。如果属于上述第二种运动情况， t 的正负两个值都是适用的。总之，我们决不能在完全没有弄清某一个量的物理意义之前，就轻易舍去。

例题 2 已知四个质点从 $t=0, x=0$ 处开始作彼此独立的直线运动，其 $v-t$ 图由图 1-3 所示，图 1-3 (d) 所示曲线为抛物线。

(1) 根据 $v-t$ 图，定性画出各质点的 $x-t$ 和 $a-t$ 图线，并说明各质点的运动性质。

(2) 在 $t=2$ 秒末时，哪一个质点距离原点最远？

解 在求解本题时应掌握：

(1) $x-t$ 图和 $v-t$ 图的曲线上任一点的斜率，分别表示质点在 t 时刻的速度和加速度的大小； $v-t$ 图上曲线与 t 轴间的面积，表示在 t 时刻质点离原点的位移 $x = \int v dt$ ，本例题中即为离原点的距离。（如果是 $a-t$ 图，那么曲线与 t 轴间的面积表示什么？）

(2) 在直线运动中，当坐标轴的正向确定后，可以根据上述曲线斜率的正负值，确定速度和加速度的方向。

(3) 若已知某一种曲线图形，就可利用上述关系，逐一画出对应的其他曲线。

现将本例题的计算结果列于表 1-1。

通过本例题的计算和讨论，我们知道，由质点的 $x-t$ 图， $v-t$ 图， $a-t$ 图，就可以了解该质点的整个运动情况。即从图线可以确定该质点在任一时刻 t 的位置矢量、速度和加速度。所以，图示法是描述质点运动的方法之一。

例题 3 一艘正在直线上行驶的汽船，当速度为 v_0 时，关闭发动机，得到一个与船速方向相反、大小与船速成正比的加速度，即

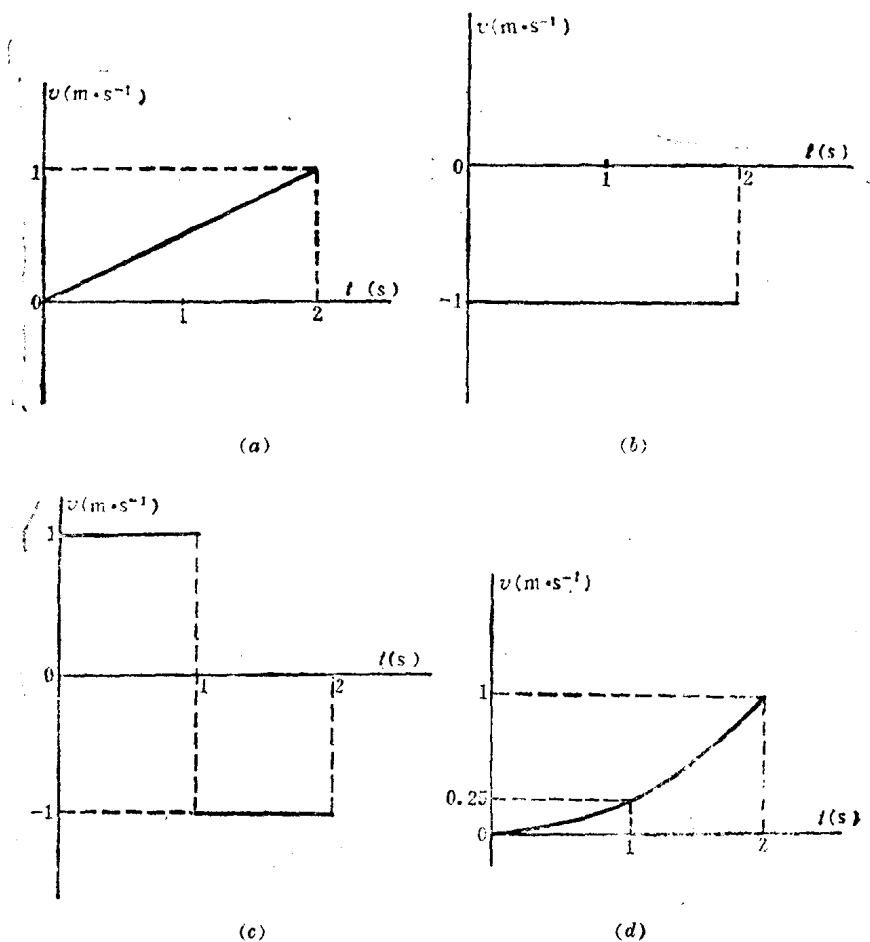


图 1-3

$a = dv/dt = -kv$, 其中 k 为常数, 求船的运动方程。

解 本题属于已知质点加速度和初始条件, 求质点的运动方程这一类型的问题。从数学上分析, 即已知 x 对 t 的二阶导数, 求 x 与 t 的函数关系式。

由题意

表 1-1

质 点	A	B
$v-t$ 图上的斜率	$a = \frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$a = 0$
运动性质	匀变速直线运动	沿负X方向的匀速直线运动
$v(t)$	$v = v_0 + at = \frac{1}{2}t (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$v = -1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
0—2秒内 $v-t$ 图 上面积	$x = \frac{1}{2} \times 2 \times 1.0 = 1.0 \text{ m}$	$x = -2.0 \text{ m}$ (离原点最远)
$x-t$ 图	$x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{4}t^2$	$x = -1.0t$
$a-t$ 图		