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　豪　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合编《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

普通物理学是理工科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

第一章　质点运动

一、运　动　学

I. 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

$$\mathbf{r}=\mathbf{r}_0+\mathbf{v}_0t+\frac{1}{2}\mathbf{a}t^2$$

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 $\mathbf{v}$

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

平均速度描述质点在一定时间间隔 Δt 内运动状态的粗略情况，方向即为 $\Delta\mathbf{r}$ 的方向。

瞬时速度 $\mathbf{v}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t}=\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ (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

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

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

加速度 $\mathbf{a}$

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

瞬时加速度 $\mathbf{a}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t}=\frac{d\mathbf{v}}{dt}$ (1.3)

在平面运动情况下，可写成

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

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

在自然坐标系中，可以写成

$$\mathbf{a}=a_n\mathbf{n}+a_t\boldsymbol{\tau} \tag{1.5}$$

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

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

$$\left.\begin{array}{ll}\text{匀速直线运动方程} & x=x_0+vt\\ \text{匀变速直线运动方程} & x=x_0+vt+\dfrac{1}{2}at^2\\ \text{匀变速平面运动方程} & \mathbf{r}=\mathbf{r}_0+\mathbf{v}_0t+\dfrac{1}{2}\mathbf{a}t^2\end{array}\right\} \tag{1.7}$$

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 $\mathbf{v}_0$ 方向的匀速直线运动($\mathbf{v}_0 t$) 和竖直方向自由落体运动$\left(\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2\right)$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 $\mathbf{r}$、$\mathbf{v}$、$\mathbf{a}$.

设有一质点相对参照系 S' 的运动速度为 $\mathbf{v}$，而参照系 S' 相对参照系 S 以速度 $\mathbf{u}$ 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 $\mathbf{V}$ 为

$$\mathbf{V}=\mathbf{v}+\mathbf{u} \tag{1.8}$$

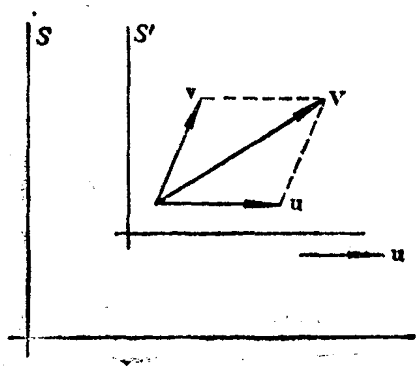


图 1-1

III. 解题示例

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

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

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

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

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

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

$t=3$ 秒 $\quad x_3=32.5\ \mathrm{m}$

$v_3=0$

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

$t=6$ 秒 $\quad x_6=10\ \mathrm{m}$

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

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

$t=8$ 秒 $\quad x_8=-30\ \mathrm{m}$

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

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

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

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

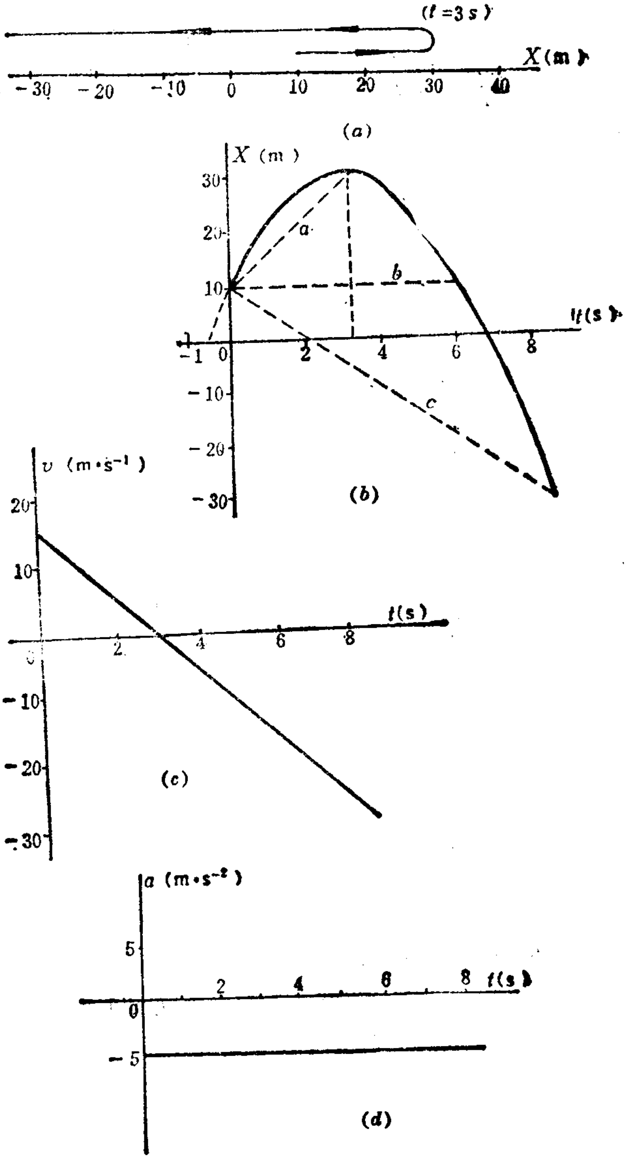


图 1-2

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

(3) 由 $x=10+15t-2.5t^2$得

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

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

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 $t=6.6\ \mathrm{s}$ 和 $t=-0.6\ \mathrm{s}$

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 $a=-5\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$,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，我们决不能在没有完全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

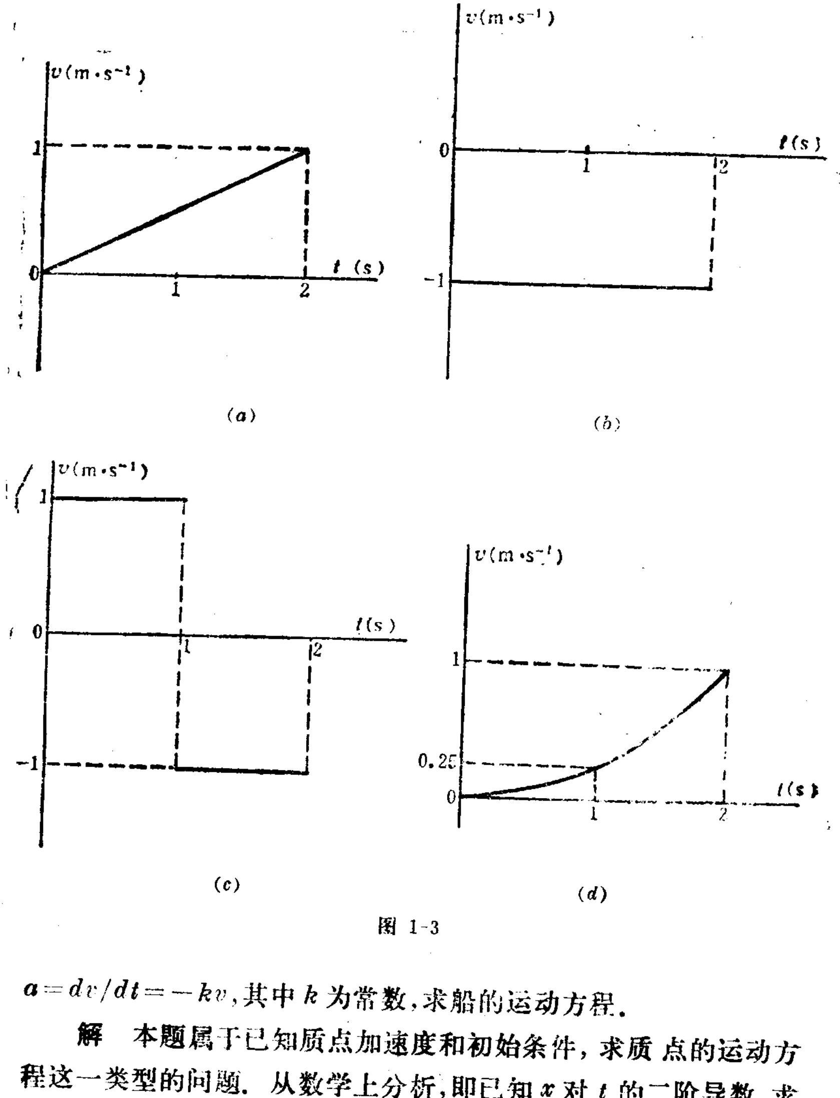


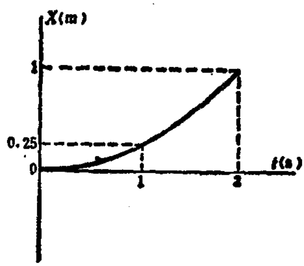
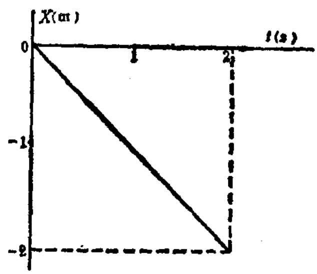
图 1-3

$a=dv/dt=-kv$，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	$a=\frac{dv}{dt}=\frac{1}{2}\quad m\cdot s^{-2}$	$a=0$
运动性质	匀变速直线运动	沿负 X 方向的匀速直线运动
$v(t)$	$v=v_0+at=\frac{1}{2}t(m\cdot s^{-1})$	$v=-1.0\ m\cdot s^{-1}$
0—2秒内 v-t 图上面积	$x=\frac{1}{2}\times 2\times 1.0=1.0\ m$	$x=-2.0m$(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