新编普通物理题解

周逊选
黄伯坚　编

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

新编普通物理题解/周逊选 黄伯坚 编
武汉:华中理工大学出版社, 2000年10月
ISBN 7-5609-2298-8

Ⅰ. 新…
Ⅱ. ①周… ②黄…
Ⅲ. 普通物理学-解题
Ⅳ. O4-44

新编普通物理题解 周逊选 黄伯坚 编

责任编辑:周 筠 陈晓娟 封面设计:潘 群
责任校对:郭有林 责任监印:张正林

出版发行:华中理工大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经 销:新华书店湖北发行所

录 排:武汉正佳彩色输出中心
印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开本:850×1168 1/32 印张:17.75 字数:432 000
版次:2000年10月第1版 印次:2001年4月第2次印刷 印数:6 001—12 000
ISBN 7-5609-2298-8/O·216 定价:20.80元

内 容 简 介

本书是根据程守洙、江之永编写的《普通物理学》(第四版)的内容和系统编写的,大部分题目也选自该书。全书共二十四章,每章分为“内容提要”和“习题解答”两部分。对于比较复杂的习题,指出了解题思路,进行了必要的讨论。

本书可作为工科院校、电视大学、成人高等教育物理课程的辅助教材。

前　言

在学习大学物理的各个环节中，解答习题无疑是一个重要环节，它有助于我们牢固掌握物理学的基本理论，培养独立思考的习惯，训练解决问题的能力，同时，它也是检验学习成绩的一种主要方式。本书的编写，希望能为读者在解答习题过程中提供一种参考，对读者学习大学物理能有所裨益。

程守洙、江之永编《普通物理学》（第四版）是我国高等院校工科专业广泛使用的一种物理教材，其中所选习题与物理基本理论配合紧密，难易适度。本书除少量题目精选自其他教材外，绝大部分题目选自该书。本书的章节顺序、所采用的符号均与该书一致。

本书每一章在“习题解答”前面都编写了“内容提要”，为解答该章习题提供基本的概念、公式和数据，以便查找。但要掌握该章的主要内容，还应认真阅读教材。

由于编者水平有限，书中难免有不恰当、甚至错误之处，敬请读者不吝指正。

编　者

1999 年 10 月

目　　录

第一篇　力学的物理基础

第二篇　机械振动和机械波

第三篇　分子物理学和热力学

第四篇　电学

第五篇　波动光学

第六篇　近代物理学基础

第一篇

力学的物理基础

第一章　质点运动学

一　内容提要

1．参照系和坐标系：

描述物体运动时用做参考的其他物体称为参照系。

为了定量地说明物体对参照系的位置，需要在该参照系上建立固定的坐标系。

2．位置矢量：

在参照系上选一点 O 向质点所在位置 P 所引的有向线段 $\boldsymbol{r}$ $(=\overrightarrow{OP})$。

运动方程：

表示质点位置随时间变化的函数式称为运动方程，可以写作

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)$$

位移矢量：

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t+\Delta t)-\boldsymbol{r}(t)$$

一般　$|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta r$

运动叠加：

在直角坐标系中

$$\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}+z(t)\boldsymbol{k}$$

3．速度和加速度：

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$$

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

在直角坐标系中

$$\boldsymbol{v}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}$$

$$\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k}$$

自然坐标系中 $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_n+\boldsymbol{a}_t=\dfrac{v^2}{\rho}\hat{n}+\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\hat{t}$

(1) 匀加速运动:

$$\boldsymbol{a}=\text{常矢量}$$

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

(2) 抛体运动:

$$a_x=0,\ a_y=-g$$

$$v_x=v_0\cos\theta,\ v_y=v_0\sin\theta-gt$$

$$x=v_0\cos\theta\cdot t,\ y=v_0\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$$

(3) 圆周运动:

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_n+\boldsymbol{a}_t,\ a_n=\frac{v^2}{R}=R\omega^2,\ a_t=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=R\beta$$

(4) 角量描述:

角速度 $\omega=\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$

角加速度 $\beta=\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$

4. 相对运动:

相对位移 $\Delta\boldsymbol{r}_{\text{人对车}}+\Delta\boldsymbol{r}_{\text{车对地}}=\Delta\boldsymbol{r}_{\text{人对地}}$

相对速度 $\boldsymbol{v}_{\text{人对车}}+\boldsymbol{u}_{\text{车对地}}=\boldsymbol{v}_{\text{人对地}}$

二 习题解答

1-1 一质点作直线运动,其运动方程为 $x=2+2t-t^2$,式中 t 以秒计,x 以米计。试计算从时刻 $t=0$ 到 $t=4\mathrm{s}$ 时间间隔内质点位移的大小和它走过的路程。

解 本题需注意在题设时间内运动方向发生了变化。

位移大小为

$$
\begin{aligned}
|\Delta x| &= |x|_{t=4} - x|_{t=0}| \\
&= |2+2\times4-4^2-2|\ \mathrm{m} \\
&= 8\ \mathrm{m}
\end{aligned}
$$

对 x 求极值

$$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=2-2t=0$$

可得 $t=1$ s，即质点在 $t=0$ 到 $t=1$ s 内沿 X 正向运动，然后反向运动。

分段计算

$$
\begin{aligned}
\Delta x_1 &= x|_{t=1} - x|_{t=0} \\
&= (2+2\times1-1-2)\mathrm{m} = 1\ \mathrm{m} \\
|\Delta x_2| &= |x|_{t=4} - x|_{t=1}| \\
&= |(2+2\times4-4^2)-(2+2-1)|\ \mathrm{m} \\
&= |-9|\ \mathrm{m} = 9\ \mathrm{m}
\end{aligned}
$$

路程为 $$\Delta x_1 + |\Delta x_2| = 10\ \mathrm{m}$$

1-2 (1) 一人自原点出发，25 s 内向东走 30 m，又 10 s 内向南走 10 m，再 15 s 内向西北走 18 m。试求合位移的大小和方向。

(2) 求每一分位移中的平均速度；对合位移求平均速度，并对全路程求平均速率。

(3) 位移和路程有何区别？在什么情况下两者的量值相等？平均速度和平均速率如何区别？在什么情况下两者的量值相等？

解 本题涉及位移、路程与平均速度等概念，要注意位移与平均速度的矢量性。用矢量形式运算较为简捷。

据题意，建立 XOY 平面直角坐标系，向东为 X 轴正方向，向北为 Y 轴正方向。

(1) 从原点起，该人的位置矢量分别为

$$\boldsymbol{r}_0=0,\qquad \boldsymbol{r}_1=30\boldsymbol{i}$$

$$\boldsymbol{r}_2 = \boldsymbol{r}_1 + (-10\boldsymbol{j}) = 30\boldsymbol{i} - 10\boldsymbol{j}$$

$$\begin{aligned}\boldsymbol{r}_3 &= \boldsymbol{r}_2 + 18\cos45^\circ(-\boldsymbol{i}) + 18\sin45^\circ\boldsymbol{j} \\ &= (30 - 9\sqrt{2})\boldsymbol{i} + (9\sqrt{2} - 10)\boldsymbol{j}\end{aligned}$$

合位移

$$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_3 - \boldsymbol{r}_0 = (30 - 9\sqrt{2})\boldsymbol{i} + (9\sqrt{2} - 10)\boldsymbol{j}$$

得

$$|\Delta\boldsymbol{r}| = \sqrt{(30 - 9\sqrt{2})^2 + (9\sqrt{2} - 10)^2}\ \mathrm{m} = 17.5\ \mathrm{m}$$

$$\begin{aligned}\theta &= \operatorname{arctg}\frac{\Delta y}{\Delta x} = \operatorname{arctg}\frac{9\sqrt{2} - 10}{30 - 9\sqrt{2}} \\ &= \operatorname{arctg}(0.1579) = 9^\circ\end{aligned}$$

合位移方向为东偏北 9°。

(2) 25 s 内的平均速度

$$\bar{\boldsymbol{v}}_1 = \frac{\Delta\boldsymbol{r}_1}{\Delta t_1} = \frac{\boldsymbol{r}_1 - \boldsymbol{r}_0}{\Delta t_1} = \frac{30}{25}\boldsymbol{i}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}} = 1.20\boldsymbol{i}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

大小为 $1.20\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$,方向向东。

10 s 内的平均速度

$$\begin{aligned}\bar{\boldsymbol{v}}_2 &= \frac{\Delta\boldsymbol{r}_2}{\Delta t_2} = \frac{\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1}{\Delta t_2} = \frac{-10\boldsymbol{j}}{10}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}} \\ &= -1.00\boldsymbol{j}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}\end{aligned}$$

大小为 $1.00\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$,方向向南。

15 s 内的平均速度

$$\begin{aligned}\bar{\boldsymbol{v}}_3 &= \frac{\Delta\boldsymbol{r}_3}{\Delta t_3} = \frac{\boldsymbol{r}_3 - \boldsymbol{r}_2}{\Delta t_3} = \frac{-9\sqrt{2}\boldsymbol{i} + 9\sqrt{2}\boldsymbol{j}}{15}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}} \\ &= 0.6\sqrt{2}(-\boldsymbol{i} + \boldsymbol{j})\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}\end{aligned}$$

大小为 $\sqrt{(-0.6\sqrt{2})^2 + (0.6\sqrt{2})^2}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}} = 1.20\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$,方向西北。

合位移对应的平均速度

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{(30-9\sqrt{2})\boldsymbol{i}+(9\sqrt{2}-10)\boldsymbol{j}}{50}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

大小为$\frac{17.5}{50}=0.35\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$,方向东偏北 9°。

全路程平均速率为

$$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{30.0+10.0+18.0}{50.0}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}=1.16\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

(3) 位移表示在某时间间隔内质点位置的改变,为矢量,是终点与始点位置矢量之差。其量值等于始末两点间的直线距离,方向由始点指向终点;路程表示质点经历路径的总长度,是标量。

在曲线运动中位移与路程的量值一般不等,仅在时间间隔趋近于零时才相等。在方向不变的直线运动中,位移与路程的量值相等。

某时间间隔内质点的平均速度,是这段时间内质点位移与这段时间的比值,是矢量。某时间间隔内质点的平均速率,是这段时间内质点运动的路程与这段时间的比值,是标量。

在曲线运动中平均速度与平均速率的量值一般不等,只有当时间间隔趋近于零时,质点的平均速度与平均速率在量值上才可视为相等。

1-3　一质点沿 OY 轴作直线运动,它在 t 时刻的坐标是

$$y=4.5t^2-2t^3$$

式中 y 以米计,t 以秒计。试求:

(1) $t=1\sim2$ s,$1\sim1.5$ s,$1\sim1.1$ s,$1\sim1.01$ s 内质点的位移和平均速度;

(2) $t=1$ s 末和 2 s 末的瞬时速度;

(3) 第 2 s 内质点所通过的路程;

(4) 第 2 s 内质点的平均加速度以及 $t=1$ s 末和 2 s 末的瞬时加速度;

(5) 解说这质点的运动情况和速率变化情况(在 0~3 s 内)。

解 (1) 据题意，质点在 t 时刻与 $t+\Delta t$ 时刻的位置分别为

$$y=4.5t^2-2t^3$$

$$y+\Delta y=4.5(t+\Delta t)^2-2(t+\Delta t)^3$$

所以 $t\sim t+\Delta t$ 时间间隔内的位移为

$$\Delta y=9t\Delta t+4.5(\Delta t)^2-6t^2\Delta t-6t(\Delta t)^2-2(\Delta t)^3$$

平均速度为

$$\bar{v}_y=\frac{\Delta y}{\Delta t}=9t+4.5\Delta t-6t^2-6t\Delta t-2(\Delta t)^2$$

分别将已知条件代入，得

$1\sim2$ s 内：$\Delta y=-0.5$ m　$\bar{v}_y=-0.5\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

$1\sim1.5$ s 内：$\Delta y=0.875$ m　$\bar{v}_y=1.75\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

$1\sim1.1$ s 内：$\Delta y=0.283$ m　$\bar{v}_y=2.83\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

$1\sim1.01$ s 内：$\Delta y=0.0299$ m　$\bar{v}_y=2.99\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

(2) 当时间趋近于零时，平均速度的极限值为瞬时速度，据此有

$$v_y=\lim_{\Delta t\to0}\frac{\Delta y}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=9t-6t^2$$

代入已知条件得

$$v_y|_{t=1}=(9\times1-6\times1^2)\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}=3\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

$$v_y|_{t=2}=(9\times2-6\times2^2)\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}=(-6)\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

(3) 令 $v_y=9t-6t^2=0$

得　$t=1.5$ s

可见在 2 s 内速度方向发生变化，即有

$$\begin{aligned}s_{1\sim2}&=s_{1\sim1.5}+s_{1.5\sim2}\\&=|(4.5\times1.5^2-2\times1.5^3)-(4.5\times1^2-2\times1^3)|\ \mathrm{m}\\&\quad+|(4.5\times2^2-2\times2^3)-(4.5\times1.5^2-2\times1.5^3)|\ \mathrm{m}\\&=|0.875|\ \mathrm{m}+|-1.375|\ \mathrm{m}=2.25\ \mathrm{m}\end{aligned}$$

(4) $t\sim t+\Delta t$ 内速度增量为

$$\Delta v_y=[9(t+\Delta t)-6(t+\Delta t)^2]-(9t-6t^2)$$

$$=9\Delta t-12t\cdot\Delta t-6\Delta t^2$$

平均加速度

$$\bar{a}_y=\frac{\Delta v_y}{\Delta t}=9-12t-6\Delta t$$

第 2 秒内即 $t=1\ \mathrm{s}, \Delta t=(2-1)\mathrm{s}=1\ \mathrm{s}$,有

$$\bar{a}_y=(9-12\times1-6\times1)\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}=-9\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

瞬时加速度

$$a_y=\lim_{\Delta t\to0}\frac{\Delta v_y}{\Delta t}=\frac{dv_y}{dt}=9-12t$$

$$a_y|_{t=1}=(9-12\times1)\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}=-3\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

$$a_y|_{t=2}=(9-12\times2)\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}=-15\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

以上负加速度表示加速度沿 Y 轴负方向。

(5) 质点的运动情况为

$$y=4.5t^2-2t^3$$

$$v_y=9t-6t^2\begin{cases}>0 & (0<t<1.5\ \mathrm{s})\\ =0 & (t=1.5\ \mathrm{s})\\ <0 & (t>1.5\ \mathrm{s})\end{cases}$$

$$a_y=9-12t\begin{cases}>0 & (0<t<0.75\ \mathrm{s})\\ =0 & (t=0.75\ \mathrm{s})\\ <0 & (t>0.75\ \mathrm{s})\end{cases}$$

可见在 $0<t<0.75$ s 时,$v_y>0, a_y>0$,质点向 Y 轴正方向作加速运动,速率增加,但增加得愈来愈慢。在 $t=0.75$ s 时,$v_y=3.375\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}, a_y=0$,质点沿 Y 轴正方向运动。在 $0.75\ \mathrm{s}<t<1.5$ s时,$v_y>0, a_y<0$,质点继续沿 Y 轴正方向作减速运动,其速率减得愈来愈快。在 $t=1.5$ s 之后,$v_y<0, a_y<0$,质点从 $y=1.875$ m沿 Y 轴负方向作加速运动。

1-4 一质点在 XOY 平面内运动,运动方程为

$$x=2t,\quad y=19-2t^2$$

式中 x、y 以米计，t 以秒计。

(1) 计算并图示质点的运动轨道；

(2) 写出 $t=1$ s时刻和 $t=2$ s时刻质点的位置矢量，并计算这一秒内质点的平均速度；

(3) 计算 1 s 末和 2 s 末质点的瞬时速度和瞬时加速度；

(4) 在什么时刻，质点的位置矢量与其速度矢量恰好垂直？这时，它们的 x、y 分量各为多少？

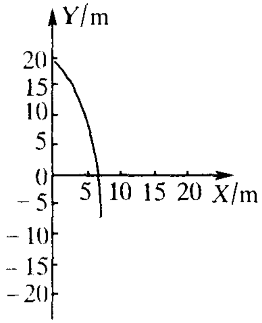

图 1-1

(5) 在什么时刻，质点离原点最近？算出这一距离。

(6) 在运动方程中，使时间 t 取负值，所得结果如何解释？

解 (1) 由质点的运动方程消去时间参量 t，可得质点运动轨道方程为

$$y=19-2\left(\frac{x}{2}\right)^2$$
$$=19-\frac{x^2}{2}\quad (x>0)$$

见图 1-1。

(2) $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$ 分别为沿 X 轴方向、Y 轴方向的单位矢量，质点位置矢量为

$$\boldsymbol{r}(t)=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}=2t\boldsymbol{i}+(19-2t^2)\boldsymbol{j}$$
$$t=1\text{ s},\quad \boldsymbol{r}(1)=(2\boldsymbol{i}+17\boldsymbol{j})\text{ m}$$
$$t=2\text{ s},\quad \boldsymbol{r}(2)=(4\boldsymbol{i}+11\boldsymbol{j})\text{ m}$$

平均速度为 $\bar{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\boldsymbol{r}(2)-\boldsymbol{r}(1)}{\Delta t}=(2\boldsymbol{i}-6\boldsymbol{j})\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

其大小为$\sqrt{2^2+(-6)^2}=6.32\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$，方向与 X 轴成 θ 角，

$$\theta=\text{arctg}\left(\frac{-6}{2}\right)=-71°33'54''。$$

(3) 瞬时速度为

$$v(t)=\frac{dx}{dt}i+\frac{dy}{dt}j=(2i-4tj)\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

$t=1$ s 时，$v(1)=(2i-4j)\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$，其大小为$\sqrt{2^2+(-4)^2}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}=4.47\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$，方向与 X 轴成 θ 角，

$$\theta=\mathrm{arctg}(-2)=-63°26'5''。$$

$t=2$ s 时，$v(2)=(2i-8j)\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$，其大小为$\sqrt{2^2+(-8)^2}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}=8.25\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$，方向与 X 轴成 θ 角

$$\theta=\mathrm{arctg}(-4)=-75°57'50''。$$

瞬时加速度为 $$a(t)=\frac{dv}{dt}=-4j$$

其大小为 $a=4\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$，方向指向 Y 轴负方向。

(4) 因为 $$r\cdot v=|r||v|\cos\theta$$

所以 $$r\perp v\ 时\quad \cos 90°=0$$

而 $$r\cdot v=2t\cdot 2+(19-2t^2)(-4t)$$

即 $$4t(2t^2-18)=0$$

所以 $$t=0,\quad t=3\ \mathrm{s},\quad t=-3\ \mathrm{s}(舍去)$$

$t=0$ 时　$r=19j,\quad x=0,\quad y=19$ m

$v=2i,\ v_x=2\ \mathrm{m\cdot s^{-1}},\quad v_y=0$

$t=3$ s 时　$r=6i+j,\quad x=6$ m, $\quad y=1$ m

$v=2i-12j,\quad v_x=2\ \mathrm{m\cdot s^{-1}},\quad v_y=-12\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

(5) 质点位置矢量值为

$$r=|r|=\sqrt{x^2+y^2}=\sqrt{(2t)^2+(19-2t^2)^2}$$

取极值，令$\frac{dr}{dt}=0$，有 $$8t(1-19+2t^2)=0$$

得：$t=0,t=3$ s, $t=-3$ s(舍去)。

因为 $r(0)=19$ m, $\quad r(3)=6.08$ m

$$r(0)>r(3)$$

所以为 $t=3$ s 时，质点的位置(6,1)离原点最近，其距离