普通高等教育“十二五”规划教材

应用物理基础（少学时）习题解答

主　编　姚淑娜

副主编　王云志　张义民

059-44
02

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

· 013024625

059-44
02

普通高等教育"十二五"规划教材

应用物理基础（少学时）习题解答

主　编　姚淑娜
副主编　王云志　张义民
参　编　李晓梅　孙会娟
　　　　母小云　吴　萍

北京航空航天大学
藏书
图书馆

机 械 工 业 出 版 社

059-44
02

北航 C1632474

本书是与姚淑娜主编的大学物理教材《应用物理基础（少学时）》（第2版）相配套的教学辅导书，主要内容包括：各章知识要点，简答题、选择题和填空题的答案与提示，计算题的分析和解答，自测模拟练习题及其参考答案。通过对各章物理知识要点的归纳和总结，学生在复习各章内容时能够做到思路清晰，重点突出。通过对基本习题的分析和解答，加强学生对物理基本知识的掌握，提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书适于以《应用物理基础（少学时）》（第2版）为教材或参考书的师生使用，也可供其他高等学校理工科部分专业开设“少学时大学物理课程”的师生作为教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

应用物理基础（少学时）习题解答/姚淑娜主编．—北京：机械工业出版社，2013.1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-40666-2

Ⅰ．①应…　Ⅱ．①姚…　Ⅲ．①应用物理学－高等学校－题解

Ⅳ．①059-44

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第293378号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）

策划编辑：李永联　责任编辑：李永联　任正一

版式设计：霍永明　责任校对：张　媛

封面设计：马精明　责任印制：邓　博

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2013年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm・8印张・176千字

标准书号：ISBN 978-7-111-40666-2

定价：15.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：（010）88361066	教材网：http：//www.cmpedu.com
销售一部：（010）68326294	机工官网：http：//www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649	机工官博：http：//weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　言

本书是与姚淑娜主编的大学物理教材《应用物理基础（少学时）》（第2版）相配套的教学辅导书，主要内容包括如下几个方面：

一、知识要点。通过对各章物理知识要点的归纳和总结，学生在复习各章内容时能够做到思路清晰，重点突出。

二、习题解答。对教材中各章所列的简答题、选择题和填空题给出了答案与提示，对计算题进行了分析和解答。本书注重加强学生对物理基本知识的掌握，提高学生分析问题和解决问题的能力。特别是简答题，基本涵盖了教学中的重点和难点，详尽、清晰地阐明了一些容易混淆的概念，强调了知识细节，是对教材的有效补充。

三、自测模拟练习题。在各篇内容之后，均设置一套自测模拟练习题（在书后附有标准答案和评分标准供参考），既可用于学生的自我检测练习，也可供教师在习题课和复习课中选用。

本书适于以《应用物理基础（少学时）》（第2版）作为教材或参考书的师生使用，也可供其他高等学校理工科部分专业开设“少学时大学物理课程”的师生作为教学的教材或参考书。

本书由姚淑娜担任主编，王云志、张义民担任副主编。姚淑娜负责制定全书的基本框架，并组织编写和统稿。参加编写的人员及其分工如下：

张义民（第1章、各章简答题）、孙会娟（第3章、第4章）、李晓梅（第2章、第5章）、毋小云（第6章）、吴萍（第7章）、姚淑娜（第8章、第9章、第10章）、王云志（第11章、第12章、自测模拟练习题）。

限于编者的水平，书中难免有纰漏和不妥之处，恳请读者不吝赐教。

编　者

于北京

目　　录

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第1篇　机 械 运 动

第1章　质点的运动和力

一、知识要点

1. 描述质点运动的基本物理量

（1）位置矢量　$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}+z\boldsymbol{k}$

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

平面运动的轨迹方程　$y=f(x)$

（2）位移矢量

$$\begin{aligned}\Delta\boldsymbol{r}&=\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A\\&=(x_B-x_A)\boldsymbol{i}+(y_B-y_A)\boldsymbol{j}+(z_B-z_A)\boldsymbol{k}\\&=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k}\end{aligned}$$

（3）速度矢量

$$\begin{aligned}\boldsymbol{v}&=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\\&=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}\\&=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}\end{aligned}$$

（4）加速度矢量

$$\begin{aligned}\boldsymbol{a}&=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}\\&=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k}\\&=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k}\end{aligned}$$

2. 圆周运动

（1）加速度　$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}_n}{\mathrm{d}t}+\frac{\mathrm{d}v_\tau}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{a}_\mathrm{n}+\boldsymbol{a}_\tau$

$\boldsymbol{a}_\mathrm{n}$ 是法向加速度；$\boldsymbol{a}_\tau$ 是切向加速度。

（2）圆周运动的角量描述

角位置　θ

角量表示的运动方程　$\theta(t)$

角位移　$\Delta\theta=\theta_2-\theta_1$

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

角加速度　$\beta=\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$

（3）角量和线量的关系

$\Delta s=r\Delta\theta$

$v=r\omega$

$a_\tau=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=r\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=r\beta$

$a_n=\dfrac{v^2}{r}=r\omega^2$

3. 牛顿运动定律

（1）牛顿第一定律（惯性定律）：任何物体都保持静止或匀速直线运动的状态，直到其他物体所作用的力迫使它改变这种状态为止。

惯性系与非惯性系：牛顿第一定律在其中成立的参考系称为惯性系，所有相对于惯性系静止或匀速直线运动的参考系也是惯性系；牛顿第一定律在其中不成立的参考系或相对于惯性系有加速度的参考系称为非惯性系。

（2）一物体的加速度的大小与其所受的合外力的大小成正比，与物体的质量成反比，加速度的方向与合外力的方向相同。

（3）两个物体之间的作用力 $\boldsymbol{F}$ 与反作用力 $\boldsymbol{F}'$ 大小相等、方向相反，作用在同一条直线上。

4. 力学中几种常见的力

（1）万有引力　$\boldsymbol{F}=-G\dfrac{m_1m_2}{r^2}\boldsymbol{e}_r$

重力　$W=mg=G\dfrac{mm_E}{R^2}$

（2）弹性力

弹簧弹性力　$F=-kx$

（3）摩擦力

静摩擦力　$F_{smax}=\mu_0F_N$

滑动摩擦力　$F_k=\mu F_N$

二、习题解答

【简答题答案】

1. 简述路程和位移的区别。

答：路程和位移的区别有两点：首先，路程是标量，而位移的是矢量；其次，位移的

大小为两个位置间的直线距离，路程则是此两点间的运动轨迹的长度，故位移的大小总是不大于路程，且只有在质点始终向一个方向作直线运动的情况下，二者才相等。

2. 物体运动的速度矢量和加速度矢量是怎样定义的？

答： 平均速度矢量 $\boldsymbol{v}=\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$只能粗略地反映 Δt 时间内质点位置变化的快慢和方向，为了精确地反映质点在每一瞬时或者说每个位置的速度，取 $\Delta t \to 0$ 时 $\boldsymbol{v}$ 的极限，则 $\boldsymbol{v}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\boldsymbol{v}$ $\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$，即质点速度矢量等于其位置矢量对时间的一阶导数。类似地，平均加速度矢量 $\overline{\boldsymbol{a}}=\dfrac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$只能粗略地反映 Δt 时间内质点速度变化的快慢和方向，为了精确地反映质点在每一瞬时或者说每个位置的速度变化情况，取 $\Delta t \to 0$ 时 $\overline{\boldsymbol{a}}$ 的极限，则 $\boldsymbol{a}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\overline{\boldsymbol{a}}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}=$ $\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$，即质点加速度矢量等于其速度矢量对时间的一阶导数，或位置矢量对时间的二阶导数。

3. 运动方程和轨迹方程有什么区别？

答： 运动方程有标量和矢量两种形式，但无论哪种形式，都是时间 t 的函数，任意给定一个时刻 t，都可以代入运动方程，通过计算确定该时刻质点的位置；由运动方程的标量形式消去时间 t，即可得到轨迹方程，它不含时间 t，不随时间变化，在坐标系中，轨迹方程对应的曲线即为质点的运动轨迹。

4. 圆周运动的角速度和角加速度是怎样定义的？

答： 质点作圆周运动时，平均角速度 $\overline{\omega}=\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$只能粗略地反映 Δt 时间内质点位置变化的平均效果，为了精确地反映质点在每一瞬时的位置变化情况，取 $\Delta t \to 0$ 时 $\overline{\omega}$ 的极限，则 $\omega=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\overline{\omega}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$，即质点角速度等于其角坐标对时间的一阶导数。类似地，平均角加速度 $\overline{\alpha}=\dfrac{\Delta\omega}{\Delta t}$只能粗略地反映 Δt 时间内质点角速度变化的平均效果，为了精确地反映质点在每一瞬时或者说每个位置的角速度变化情况，取 $\Delta t \to 0$ 时 $\overline{\alpha}$ 的极限，则 $\alpha=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\overline{\alpha}=$ $\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\omega}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$，即质点角加速度等于其角速度对时间的一阶导数，或角坐标对时间的二阶导数。

5. 切向加速度和法向加速度的表达式是什么？有何物理意义？

答： 质点作曲线运动时，切向加速度反映其速度大小的变化，大小 $a_\tau=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$，方向沿轨道切线，并指向质点前进的一方；法向加速度反映其速度方向的变化，大小 $a_n=\dfrac{v^2}{\rho}$，ρ 为轨道的曲率半径（对于圆周运动，ρ 即为轨道半径），方向沿轨道法线，并指向轨道凹陷的一侧。

【选择题答案与提示】

1. 运动质点在某瞬时位于矢径 $\boldsymbol{r}$（$x.y$）的端点处，其速度大小为［　　］。

（A）$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$；　（B）$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$；　（C）$\frac{\mathrm{d}|\boldsymbol{r}|}{\mathrm{d}t}$；　（D）$\sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$。

答案：D；（提示：由矢量在直角坐标系中各轴上的分量求其大小）

2. 某质点的运动方程为 $x=-6t+5t^3+2$（SI），则该质点作［　　］。

（A）匀加速直线运动，加速度沿 x 轴正方向；

（B）匀加速直线运动，加速度沿 x 轴负方向；

（C）变加速直线运动，加速度沿 x 轴正方向；

（D）变加速直线运动，加速度沿 x 轴负方向。

答案：C；（提示：质点运动方程只有 x 坐标，作直线运动；由 $a_x=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}=30t$，与 t 有关且大于0，可知其作变加速运动，且加速度沿 x 轴正方向）

3. 一质点作直线运动，其运动方程为 $x=6t-t^2$（SI），在 $t=1\mathrm{s}$ 到 $t=4\mathrm{s}$ 的时间内质点的位移和路程为［　　］。

（A）3m，3m；　（B）9m，10m；　（C）9m，8m；　（D）3m，5m。

答案：D；（提示：$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=6-2t$，$t=3\mathrm{s}$ 时，$v=0$，即在给定时间段 $t=1\mathrm{s}$ 到 $t=4\mathrm{s}$ 内，质点运动方向发生改变。分别由运动方程计算质点在 $t=1\mathrm{s}$、3s 和 4s 时的位置，根据位移和路程的概念，即可得到结果）

【填空题答案与提示】

1. 一质点作半径 $R=0.1\mathrm{m}$ 的圆周运动，其运动方程为 $\theta=5\pi t-\pi t^3$（SI），$t=0$ 时的角速度为________；角加速度为________。

答案：$\underline{5\pi\ \mathrm{rad/s}}$；$\underline{0\ \mathrm{rad/s^2}}$；（提示：$\omega=\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}=5\pi-3\pi t^2$，$\alpha=\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}=-6\pi t$，将 $t=0$ 代入即可）

2. 已知质点的运动方程为 $\boldsymbol{r}(t)=0.6\sin(5t)\boldsymbol{i}+0.6\cos(5t)\boldsymbol{j}$（SI），则 t 时刻质点在 x 和 y 方向的速度分量 $v_x=$____、$v_y=$____；质点的速率 $v=$____；切向加速度为 $a_\tau=$____；法向加速度为 $a_n=$____。

答案：$\underline{3\cos5t}$；$\underline{-3\sin5t}$；$\underline{3\mathrm{m/s}}$；$\underline{0\mathrm{m/s^2}}$；$\underline{15\mathrm{m/s^2}}$；（提示：根据所给运动方程写出其标量形式，$x(t)=0.6\sin(5t)$，$y(t)=0.6\cos(5t)$，则 $r=\sqrt{x^2+y^2}=0.6$，与 t 无关，或求得轨道方程 $x^2+y^2=0.6^2$，可知其作半径 $R=0.6\mathrm{m}$、圆心在坐标原点的圆周运动。$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=3\cos5t$，$v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=-3\sin5t$，$v=\sqrt{(v_x)^2+(v_y)^2}=3\mathrm{m/s}$。切向加速度 $a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=0$，法向加速度 $a_n=\frac{v^2}{R}=15\mathrm{m/s^2}$）

【计算题分析与解答】

1. 一小球从静止开始竖直向上运动，其运动方程为 $s=5+4t-t^2$，求小球运动到最高

点的时间及小球的加速度。

知识要点：①由运动方程求速度和加速度；②“最高点”包含的信息。

解题思路：

（1）由所给运动方程，根据 $v=\dfrac{ds}{dt}$和 $a=\dfrac{dv}{dt}=\dfrac{d^2s}{dt^2}$计算 v 和 a；

（2）小球运动到“最高点”的时刻，$v=0$。

解：已知小球运动方程 $s=5+4t-t^2$。

所以 $v=\dfrac{ds}{dt}=4-2t$，小球运动到“最高点”的时刻，速率为 0，由 $v=4-2t=0$ 解得 $t=2\mathrm{s}$。

由 $a=\dfrac{dv}{dt}=\dfrac{d^2s}{dt^2}$，得 $a=-2\mathrm{m/s^2}$。

2. 一物体沿 x 轴作直线运动，运动方程为 $x=6t^2-2t^3$，式中各量采用国际单位制，求：（1）物体在第 2s 内的平均速度；（2）物体在第 3s 末的瞬时速度；（3）物体在第 1s 末的瞬时加速度；（4）物体运动的类型。

知识要点：①位移、平均速度、瞬时速度、瞬时加速度的概念和相关计算；②判别质点运动类型的基本方法。

解题思路：

（1）直线运动情况下，仅需对各矢量在轴上的分量（标量）进行计算，所得结果的符号即表明矢量方向；

（2）由所给运动方程，计算一段时间间隔的始末位置，进而计算位移和平均速度；

（3）由 $v=\dfrac{dx}{dt}$得 $v(t)$，进而求得任意给定时刻的瞬时速度；

（4）由 $a=\dfrac{dv}{dt}=\dfrac{d^2x}{dt^2}$得 $a(t)$，进而求得任意给定时刻的瞬时加速度；

（5）质点运动方程只有 x 坐标，作直线运动；由 $a(t)$ 是否与 t 有关，判别是匀加速还是变加速，由 $a(t)$ 正负，确定加速度方向。

（6）若所给质点运动方程不只有 x 坐标，则需求出轨迹方程，进而确定其运动类型。

解：已知质点运动方程 $x=6t^2-2t^3$。

（1）$x_1=4\mathrm{m}$，$x_2=8\mathrm{m}$

物体在第 2s 内的平均速度 $\bar{v}=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=\dfrac{x_2-x_1}{2-1}=\dfrac{8-4}{1}\mathrm{m/s}=4\mathrm{m/s}$；

（2）$v=\dfrac{dx}{dt}=12t-6t^2$

将 $t=3\mathrm{s}$ 代入，得物体在第 3s 末的瞬时速度 $v_3=-18\mathrm{m/s}$；

（3）$a=\dfrac{dv}{dt}=\dfrac{d^2x}{dt^2}=12-12t$

将 $t=1\mathrm{s}$ 代入，得物体在第 1s 末的瞬时加速度 $a_1=0\mathrm{m/s^2}$；

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

（4）由 $a_x=\frac{d^2x}{dt^2}=12-12t$，与 t 有关且小于 0，可知其作变加速直线运动，且加速度沿 x 轴负方向。

3. 已知质点的运动方程为 $x=2t$，$y=2-t^2$，式中各量采用国际单位制，求：（1）质点的轨迹方程；（2）$t=1s$ 和 $t=2s$ 时质点的位置矢量；（3）在 $t=1s$ 和 $t=2s$ 之间质点的位移矢量；（4）质点在任意时刻的速度矢量；（5）质点在任意时刻的加速度矢量。

知识要点：①由运动方程求轨迹方程；②矢量在直角坐标系中的表示；
③位移概念及计算；④速度矢量和加速度矢量的计算。

解题思路：

（1）由运动方程的标量形式，消去时间 t，即得轨迹方程；

（2）由所给运动方程的标量形式，分别将 $t=1s$ 和 $t=2s$ 代入，得到质点在相应时刻的位置（即坐标），进而根据矢量在直角坐标系中的表示方法，由坐标值和各坐标轴的单位矢量，组合得到质点在相应时刻的位置矢量；也可先由运动方程的标量形式，写出运动方程的矢量形式 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)$，再分别将 $t=1s$ 和 $t=2s$ 代入，得到质点在相应时刻的位置矢量；

（3）由质点在 $t=1s$ 和 $t=2s$ 时的位置矢量，计算该时间间隔内的位移矢量；

（4）由所给运动方程的标量形式，写出运动方程的矢量形式 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)$，根据 $\boldsymbol{v}=\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}$计算质点在任意时刻的速度矢量；

（5）根据 $\boldsymbol{a}=\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}$或 $\boldsymbol{a}=\frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2}$，计算质点在任意时刻的加速度矢量。

解：已知质点的运动方程 $x=2t$，$y=2-t^2$。

（1）消去时间 t，得轨迹方程 $y=2-\frac{x^2}{4}$，这是 Oxy 平面内，顶点在（0，2）、以 y 轴为对称轴、开口向下的抛物线；

（2）质点运动方程的矢量形式为 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)=2t\boldsymbol{i}+(2-t^2)\boldsymbol{j}$

分别将 $t=1s$ 和 $t=2s$ 代入，得质点在相应时刻的位置矢量分别为 $\boldsymbol{r}_1=2\boldsymbol{i}+\boldsymbol{j}$，$\boldsymbol{r}_2=4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$。

或分别将 $t=1s$ 和 $t=2s$ 代入 $x=2t$，$y=2-t^2$，

得到质点在相应时刻的位置坐标分别为

$x_1=2$；$y_1=1$，$x_2=4$；$y_2=-2$。

所以质点在相应时刻的位置矢量分别为

$\boldsymbol{r}_1=2\boldsymbol{i}+\boldsymbol{j}$，$\boldsymbol{r}_2=4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$。

（3）在 $t=1s$ 和 $t=2s$ 之间质点的位移矢量为

$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1=2\boldsymbol{i}-3\boldsymbol{j}$

（4）由（2）中所得运动方程的矢量形式 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)=2t\boldsymbol{i}+(2-t^2)\boldsymbol{j}$，求得质点在任意时刻的速度矢量 $\boldsymbol{v}=\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}=2\boldsymbol{i}-2t\boldsymbol{j}$；

（5）由（2）中所得运动方程的矢量形式 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)=2t\boldsymbol{i}+(2-t^2)\boldsymbol{j}$，求得质点在任

意时刻的加速度矢量 $\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}=-2\boldsymbol{j}$；或由（4）中所得质点在任意时刻的速度矢量 $\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=2\boldsymbol{i}-2t\boldsymbol{j}$，求得质点在任意时刻的加速度矢量 $\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=-2\boldsymbol{j}$。

4. 质点的运动方程为 $\boldsymbol{r}(t)=8\cos(2t)\boldsymbol{i}+8\sin(2t)\boldsymbol{j}$，求：（1）质点在任意时刻的的速度和加速度的大小；（2）质点的切向加速度和法向加速度大小；（3）质点的轨道方程。

知识要点：①速度矢量和加速度矢量的计算；②矢量在坐标系中的分解；③切向加速度和法向加速度大小的计算；④由运动方程求轨道方程。

解题思路：

（1）根据所给运动方程的矢量形式，写出其标量形式，消去时间 t，得轨道方程，从而明确运动类型；

（2）由运动方程的矢量形式，根据 $\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$、$\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$或 $\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$，计算质点在任意时刻的速度矢量和加速度矢量，进而求其大小；

（3）由（2）中所得质点在任意时刻的速度大小，分别根据 $a_\tau=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$和 $a_n=\dfrac{v^2}{R}$计算切向加速度和法向加速度大小。

解：已知质点的运动方程 $\boldsymbol{r}(t)=8\cos(2t)\boldsymbol{i}+8\sin(2t)\boldsymbol{j}$。

（1）运动方程的标量形式为 $x=8\cos(2t)$，$y=8\sin(2t)$。消去时间 t，得轨迹方程为 $x^2+y^2=8^2$。

可知质点作半径 $R=8\mathrm{m}$、圆心在坐标原点的圆周运动；

（2）由 $v_x=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-16\sin 2t$，$v_y=\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=16\cos 2t$，求得质点在任意时刻的速度大小 $v=\sqrt{(v_x)^2+(v_y)^2}=16\mathrm{m/s}$；

由 $a_x=\dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}=-32\cos 2t$，$a_y=\dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}=-32\sin 2t$，求得质点在任意时刻的加速度大小 $a=\sqrt{(a_x)^2+(a_y)^2}=32\mathrm{m/s^2}$；

（3）切向加速度大小 $a_\tau=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=0\mathrm{m/s^2}$

法向加速度大小 $a_n=\dfrac{v^2}{R}=\dfrac{16^2}{8}=32\mathrm{m/s^2}$

不难看出，由于 $v\equiv 16\mathrm{m/s}$，质点作匀速率圆周运动，其切向加速度大小 $a_\tau=0\mathrm{m/s^2}$，所以加速度只有法向分量 $a_n=32\mathrm{m/s^2}$。

5. 质点作半径 $R=0.20\mathrm{m}$ 的圆周运动，其运动方程为 $\theta=\pi+\dfrac{1}{4}t^2$ 求：（1）质点在任意时刻的角速度 ω；（2）质点在任意时刻的切向加速度和法向加速度。

知识要点：①由圆周运动的运动方程 $\theta=\theta(t)$，求角速度；②描述圆周运动的角量和线量的换算关系；③切向加速度和法向加速度大小的计算。

解题思路：

（1）由所给圆周运动的运动方程 $\theta=\theta(t)$，根据 $\omega=\frac{d\theta}{dt}$求质点在任意时刻的角速度；

（2）由 $v=R\omega$、$a_\tau=\frac{dv}{dt}$（或 $\alpha=\frac{d\omega}{dt}$、$a_\tau=R\alpha$）和 $a_n=\frac{v^2}{R}$，分别计算切向加速度和法向加速度大小。

解： 已知质点作圆周运动的运动方程 $\theta=\pi+\frac{1}{4}t^2$ 和轨道半径 $R=0.20\text{m}$。

（1）质点在任意时刻的角速度 $\omega=\frac{d\theta}{dt}=\frac{1}{2}t\text{rad/s}$；

（2）在任意时刻，质点的线速度大小 $v=R\omega=0.1t$（m/s）；切向加速度大小 $a_\tau=\frac{dv}{dt}=0.1\text{m/s}^2$，或 $\alpha=\frac{d\omega}{dt}=\frac{1}{2}\ \text{rad/s}^2$，$a_\tau=R\alpha=0.1\text{m/s}^2$；法向加速度大小 $a_n=\frac{v^2}{R}=0.05t^2\text{m/s}^2$。

6. 质点作圆周运动的运动方程为 $\theta=50\pi t+\frac{1}{2}\pi t^2$，求：（1）质点在第3s末的瞬时角速度和瞬时角加速度；（2）质点在第3s内的角位移。

知识要点： ①由圆周运动的运动方程 $\theta=\theta(t)$，求角速度和角加速度；
②角位移的计算。

解题思路：

（1）由所给圆周运动的运动方程 $\theta=\theta(t)$，根据 $\omega=\frac{d\theta}{dt}$和 $\alpha=\frac{d\omega}{dt}$或 $\alpha=\frac{d^2\theta}{dt^2}$，分别求质点在任意时刻的角速度和角加速度，进而求给定时刻的瞬时角速度和瞬时角加速度；

（2）分别计算质点在给定时间间隔始末时刻的角位置，可求出其在该段时间内的角位移；或根据 $\omega=\frac{d\theta}{dt}$，通过定积分方法计算角位移 $\Delta\theta=\int_{t_1}^{t_2}\omega dt$。

解： 已知质点作圆周运动的运动方程 $\theta=50\pi t+\frac{1}{2}\pi t^2$。

（1）质点在任意时刻的角速度 $\omega=\frac{d\theta}{dt}=(50\pi+\pi)$（rad/s）。

质点在任意时刻的角加速度 $\alpha=\frac{d\omega}{dt}=\pi\text{rad/s}^2$，或 $\alpha=\frac{d^2\theta}{dt^2}=\pi\text{rad/s}^2$。

质点在第3s末的瞬时角速度 $\omega_3=53\pi\text{rad/s}$。

质点在第3s末的瞬时角加速度 $\alpha_3=\pi\text{rad/s}^2$。

（2）$t=2\text{s}$ 和 $t=3\text{s}$ 时，质点角坐标分别为 $\theta_2=102\pi$，$\theta_3=154.5\pi$。

质点在第3s内的角位移为 $\Delta\theta=\theta_3-\theta_2=52.5\pi\text{rad}$，或由 $\omega=\frac{d\theta}{dt}$，有 $d\theta=\omega dt$，从而质点在第3s内的角位移为 $\Delta\theta\int_{t_1}^{t_2}\omega dt=\int_2^3(50\pi+\pi t)\ dt=52.5\pi\text{rad}$。

第2章　对称性与守恒定律

一、知识要点

1. 动量　冲量　质点的动量定理

（1）质点的动量　$\boldsymbol{p}=m\boldsymbol{v}$

（2）质点的冲量　$\boldsymbol{I}=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\mathrm{d}t$

（3）质点的动量定理　$\boldsymbol{I}=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\mathrm{d}t=m\boldsymbol{v}_2-m\boldsymbol{v}_1$

2. 质点系的动量定理和动量守恒定律

（1）质点系的动量定理　$\boldsymbol{I}=\boldsymbol{p}-\boldsymbol{p}_0$

（2）动量守恒定律　如果质点系所受合外力为零，则质点系的总动量保持不变。即若$\boldsymbol{F}_{外}=0$，则有$\boldsymbol{p}=\boldsymbol{p}_0=$恒矢量。

3. 功

（1）恒力的功　$A=F\Delta r\cos\theta=\boldsymbol{F}\cdot\Delta\boldsymbol{r}$

（2）变力的功　$A=\int_a^b\mathrm{d}A=\int_a^b\boldsymbol{F}\mathrm{d}\boldsymbol{r}=\int_a^b F\cos\theta\mathrm{d}r$

（3）功率　$P=\dfrac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\boldsymbol{F}\cdot\Delta\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{v}=Fv\cos\theta$

4. 质点的动能定理

（1）质点的动能　$E_{\mathrm{k}}=\dfrac{1}{2}mv^2$

（2）质点的动能定理　$A=E_{\mathrm{k}2}-E_{\mathrm{k}1}$

5. 保守力的功

（1）重力的功　$A=mgy_1-mgy_2$

（2）万有引力的功　$A=Gm'm\left(\dfrac{1}{r_b}-\dfrac{1}{r_a}\right)$

（3）弹性力的功　$A=\dfrac{1}{2}kx_1^2-\dfrac{1}{2}kx_2^2$

6. 势能

（1）保守力的功的特点　保守力做的功只与质点的始末位置有关，而与路径无关。

（2）势能　$A_{保}=E_{\mathrm{p}a}-E_{\mathrm{p}b}=-(E_{\mathrm{p}b}-E_{\mathrm{p}a})=-\Delta E_{\mathrm{p}}$

7. 功能原理　机械能守恒定律

（1）质点系的动能定理　$A_{外}+A_{内}=E_{\mathrm{k}B}-E_{\mathrm{k}A}$

（2）功能原理　$A_{外}+A_{非保}=E_B-E_A$

（3）机械能守恒定律　$A_{外} + A_{非保} = 0$ 时，$E_{kA} + E_{pA} = E_{kB} + E_{pB} =$ 常量

8. 能量守恒与转换定律

能量守恒与转换定律　在一个不受外界作用的孤立系统中，各种形式的能量（机械能、化学能、电能等）是可以相互转换的，但系统的总能量保持不变。

9. 质点的角动量定理和角动量守恒定律

（1）质点的角动量　$\boldsymbol{L} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{p}$

（2）力矩　$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$

（3）质点的角动量定理　$\boldsymbol{M} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{L}}{\mathrm{d}t}$

（4）质点（或质点系）的角动量守恒定律　若 $\boldsymbol{M} = 0$，则 $\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{L}}{\mathrm{d}t} = 0$，或 $\boldsymbol{L} =$ 常矢量。

10. 对称性与守恒定律

（1）对称性　对称性就是某种变换下的不变性。包括空间变换对称性、时间变换对称性和联合变换对称性。

（2）对称性原理　原因中的对称性必然反映在全部可能结果的集合中，即全部可能结果中的对称性至少有原因中的对称性那样多。

（3）对称性与守恒律——诺特定理　每一种对称性都将有一个守恒定律与之对应。

二、习题解答

【简答题答案】

1. 简述求变力冲量的方法，并写出公式。

答： 恒力 $\boldsymbol{F}$ 在 Δt 时间内的冲量为 $\boldsymbol{F}\Delta t$，若质点受变力 $\boldsymbol{F}(t)$ 作用，可将其作用时间视为由无数个极为短暂的时间段 $\mathrm{d}t$ 组成，因而在时间段 $t \sim t + \mathrm{d}t$ 内，可将力作为恒力处理，其冲量为 $\boldsymbol{F}(t)\,\mathrm{d}t$，变力在整个作用过程中的冲量等于各段时间内冲量之和，用定积分计算，即 $\boldsymbol{I} = \int_{t_1}^{t_2} \boldsymbol{F}(t)\,\mathrm{d}t$。

2. 写出质点的动量定理表达式，它有何物理意义？

答： 质点的动量定理 $\boldsymbol{I} = \boldsymbol{p}_2 - \boldsymbol{p}_1 = \Delta \boldsymbol{p}$，物理意义：在给定时间间隔内，外力作用于质点的冲量等于质点在该时间间隔内动量的增量。

3. 简述求变力做功的方法，并写出公式。

答： 恒力 $\boldsymbol{F}$ 作用于质点并使之发生位移 $\Delta \boldsymbol{r}$，所做的功为 $\boldsymbol{F} \cdot \Delta \boldsymbol{r}$，若质点受变力 $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{r})$ 作用，可将其运动过程视为由无数个极小位移（元位移）$\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ 组成，质点经历每一个元位移的时间均极为短暂，因而在此段时间内，可将力作为恒力处理，所做元功为 $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{r}) \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{r}$，变力在质点的整个运动过程中所做的功等于所有元功之和，用定积分计算，即 $A = \int_b^a \boldsymbol{F}(\boldsymbol{r}) \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{r}$。

4. 写出质点的动能定理表达式，它有何物理意义？

答：质点的动能定理 $A = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k$，物理意义：合力对质点所做的功，等于质点动能的增量。

5. 简述对称性原理。

答：对称性原理是皮埃尔·居里于 1894 年首先提出的关于事物之间因果关系的原理。其表述为：原因中的对称性必然反映在结果中，即结果中的对称性至少和原因中的对称性一样多；结果中的不对称性必在原因中有所反映，即原因中的不对称性至少有结果中的不对称性那样多。

或者表述为：原因中的对称性必反映在全部可能结果的集合中，即全部可能结果集合中的对称性至少有原因中的对称性那样多。

对称性原理是自然界的一条基本原理。有时，在不知道某些具体物理规律的情况下，我们可以根据对称性原理进行分析，对问题给出定性或半定量的结果。

6. 简述对称性与守恒量之间的关系。

答：根据诺特（Noether）定理，自然界的每一种对称性都对应着一种守恒定律，严格的对称性对应着严格的守恒定律，近似的对称性对应着近似的守恒定律，这为物理学研究带来极大的方便。可以证明：

相互作用的时间平移对称性⟷能量守恒

相互作用的空间平移对称性⟷动量守恒

相互作用的空间转动对称性⟷角动量守恒

空间反演对称性⟷强相互作用与电磁相互作用中宇称守恒

规范不变性⟷电荷守恒

【选择题答案与提示】

1. 对功的概念有以下几种说法，其中正确的是［　　］。

（A）保守力做正功时，系统内相应的势能增加；

（B）质点沿一个闭合路径运动一周，保守力对质点做功为零；

（C）作用力与反作用力大小相等、方向相反，所以二者做功代数和一定为零；

（D）摩擦力一定是做负功。

答案：B；（提示：保守力做正功时，系统内相应的势能减少，故 A 错；作用力与反作用力大小相等，但是在力的方向上的位移不一定相等，故 C 错；摩擦力可以做正功，例如传送带，故 D 错。）

2. 下列表述中，正确的是［　　］。

（A）内力作用对系统的动量没有影响；

（B）内力不能改变系统的总动量；

（C）内力不能改变系统的总动能；

（D）内力对系统做功的总和一定为零。

答案：B；（提示：内力不会改变系统的总动量，但是内力会做功，从而改变系统的总动能。）

【填空题答案与提示】

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com