目　　录

第一篇　理论力学

第二篇　热力学与统计物理

第三篇　电动力学

第四篇　量子力学

第一篇　理论力学

第一章　质 点 力 学

1-1-1　半圆形凸轮以匀速度$\vec{v}_0$沿水平方向向左运动，从而使活塞杆沿铅垂方向运动．初始时刻，活塞杆A端在轮的最高点，凸轮半径为R，则活塞杆A端的运动方程

A．在图a直角坐标系中为$x=v_0t$，$y=\sqrt{R^2-v_0^2t^2}$；

B．在图b直角坐标系中为$x=0$，$y=\sqrt{R_2-v_0^2t^2}$；

C．在图c极坐标系中为$r=R$，$\theta=\arcsin\dfrac{v_0t}{R}$；

D．在图d自然坐标系中为$s=R\arcsin\dfrac{v_0t}{R}$．

〔答案〕都不正确．

〔考查目的〕运动描述的相对性．

〔错解分析〕有人会认为四种答案都对，是同一问题的不同描述，其结论是等价的，对吗？否！运动的描述是相对的，同一质点相对于不同的参考系表现出不同的运动状态，具有不同的运动方程，因此，研究质点的运动时必须先说明所选定的参考系．本题中A、B、C、D没指明参考系，谈质点的运动是无意义的．

若以凸轮为参考系，则A、C、D正确，它们是在同一参考系上选用不同的坐标系描述A点的运动；若以地面为参

考系，则B正确。

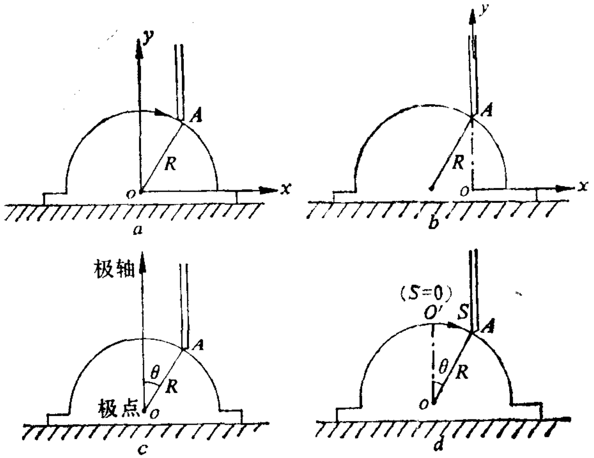

图1-1-1

1-1-2 半径为R的圆环上套一小环M，直杆CA穿过小环并绕圆环上一点C以匀角速度ω绕逆钟向转动，设开始时小环M在B点处，C、B为圆环同一直径的两端，如图a。若以圆环为参考系，则小环的速度、加速度

Ⅰ。在图a直角坐标系中$\vec{v}=-2R\omega\sin2\omega t\,\vec{i}+2R\omega\cos2\omega t\,\vec{j}$，$\vec{a}=-4R\omega^2\cos2\omega t\,\vec{i}-4R\omega^2\sin2\omega t\,\vec{j}$；

Ⅱ。在图b极坐标系中$\vec{v}=-2R\omega\sin\omega t\,\vec{e_r}+2R\omega\cos\omega t\,\vec{e_\theta}$，$\vec{a}=-4R\omega^2\cos\omega t\,\vec{e_r}-4R\omega^2\sin\omega t\,\vec{e_\theta}$；

Ⅲ。在图c自然轴系中$\vec{v}=2R\omega\,\vec{\tau}$，$\vec{a}=4R\omega^2\,\vec{n}$。对上述结果，有人认为

A。三者不等价；B。三者等价；

C. 只有Ⅰ与Ⅱ等价；D. 只有Ⅰ与Ⅲ等价.

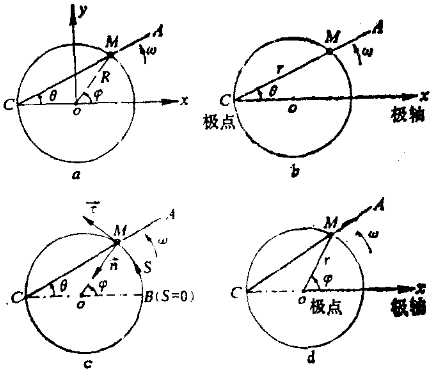

图1-1-2

〔答案〕B.

〔考查目的〕参考系确定后，选取坐标系的任意性.

〔错解分析〕任一物体的运动情况是相对于参考系而言的，坐标系只是为了表达物理量的关系而人为引入的计算工具；采用不同的坐标系，只会影响运动方程、速度和加速度的表达式，而不会改变运动的本质。选A、C、D者只看到了三种结果形式上的不同，没有分析问题的本质，盲目认为三者不等价.

下面我们证明Ⅰ与Ⅲ等价，至于Ⅱ与Ⅲ、Ⅰ与Ⅱ的等价问题读者可自行完成. 由Ⅰ得

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=2R\omega \qquad a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=4R\omega^2$$

$$\cos(\vec{v},\vec{i})=-\sin2\omega t \qquad \cos(\vec{v},\vec{j})=\cos2\omega t$$

$$\cos(\vec{a},\vec{i})=-\cos2\omega t \qquad \cos(\vec{a},\vec{j})=\sin2\omega t$$

显然，$\vec{v}$ 沿圆周切向，而 $\vec{a}$ 沿主法线方向，与Ⅲ等价.

〔解题指导〕从结果Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ比较可知，由于小环M的运动轨迹为已知，因此用自然法描述其运动最为方便，且表达式简单，物理意义清晰。对本题，我们还可以按如下的方法求解。在图d所示的极坐标系中，小环M的运动方程、速度和加速度分别为

$$r=R \qquad \varphi=2\omega t \qquad \vec{v}=\dot{r}\vec{e}_r+r\dot{\varphi}\vec{e}_\varphi=2R\omega e_\varphi$$

$$\vec{a}=(\ddot{r}-r\dot{\varphi}^2)\vec{e}_r+(r\ddot{\varphi}+2\dot{r}\dot{\varphi})\vec{e}_\varphi=-4R\omega^2\vec{e}_r$$

与Ⅲ比较知，$\vec{e}_\varphi$对应于$\vec{\tau}$的方向，$\vec{e}_r$对应于$\vec{n}$的负方向；与Ⅱ比较知，参考系选定后，尽管采用同一形式的坐标系，若原点不同，则运动方程、速度、加速度的表达式也不相同，故解决问题时应该考虑原点的影响，简化计算。这也进一步表明坐标系选取的任意性。

1-1-3 质点M沿着垂直于极轴的直线作匀速直线运动。若用极坐标系描述M的运动，则

A. $a_r\neq0$、$a_\theta\neq0$； B. $a_r=0$、$a_\theta=0$； C. $a_r=0$、$a_\theta\neq0$； D. $a_r\neq0$、$a_\theta=0$。

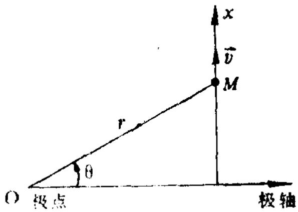

图1-1-3

〔答案〕B。

〔考查目的〕极坐标系中加速度的计算及意义。

〔错解分析〕若a_r和a_θ中有一个不等于零，则$a=\sqrt{a_\gamma^2+a_\theta^2}\neq0$，与题意矛盾，故A、C、D、都错。有人问道：$v_r=v\sin\theta$、$v_\theta=v\cos\theta$、$\theta$是变量，怎么会有$a_r=0$和$a_\theta=0$呢？这些同学对于$a_r$和$a_\theta$的表达式及各项的意义不清楚。事实上，径向速度$\vec{v}_r$、横向速度$\vec{v}_\theta$的大小和方向都随质点的运动

而变，$\dot{v}_r=\ddot{r}$、$\dot{v}_\theta=r\ddot{\theta}+\dot{r}\dot{\theta}$ 只分别表示了$\vec{v}_r$和$\vec{v}_\theta$的大小随时间的变化，它们并不能代表a_r和a_θ；由于横向速度$\vec{v}_\theta$方向的改变引起沿径向的$-r\dot{\theta}^2$，由于径向速度$\vec{v}_r$方向的改变引起沿横向的$\dot{r}\dot{\theta}$，所以$a_r=\ddot{r}-r\dot{\theta}^2\neq\dot{v}_r$、$a_\theta=r\ddot{\theta}+2\dot{r}\dot{\theta}\neq\dot{v}_\theta$。

1-1-4　一质点P在半径$R=2$的圆柱面上沿螺旋线 $x=2\sin4t$、$y=2\cos4t$、$z=4t$匀速率运动，则有

A. $v=$常数、$a\neq0$；B. $v=$常数、$a=0$；C. $v=$常数、$a_\tau=0$；D. $\rho=R$、$a_n=\dfrac{v^2}{R}$.

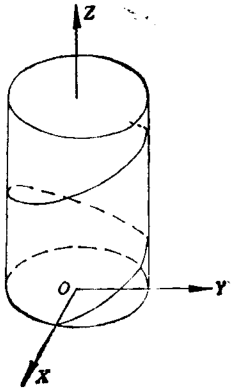

图1-1-4

〔答案〕A、C。

〔考查目的〕加速度的意义，曲率半径的计算。

〔错解分析〕有人简单的认为B对，把质点直线运动的特殊结论用于一般曲线运动。事实上，加速度是速度$\vec{v}$大小和方向共同改变的结果，$\vec{a}=\dfrac{d\vec{v}}{dt}$但$a\neq\dfrac{dv}{dt}$；$v=$常数、$a_\tau=\dfrac{dv}{dt}=0$，但$\vec{v}$的方向却在变化，反映这种变化的加速度分量$a_n=a\neq0$，否则质点不可能沿曲线运动。

选D者是把质点轨迹的曲率半径与圆柱面的圆半径混为一谈了，导致了错误结果，实际上

$$\rho=\frac{v^2}{a_n}=\frac{v^2}{\sqrt{a^2-a_\tau^2}}=\frac{\dot{x}^2+\dot{y}^2}{\sqrt{\ddot{x}^2+\ddot{y}^2+\ddot{z}^2}}=\frac{5}{2}\neq R$$

这也是初学者的常见错误之一。

1-1-5 小船M被水流冲走后，用一绳将它拉回岸边A点，假定水流速度c_1沿河宽不变，而拉绳子的速度为c_2。若小船可以看成一个质点，取水为动系、岸为静系，则小船的

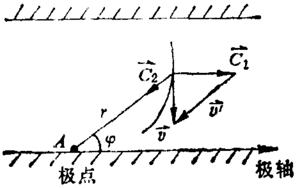

图1-1-5

A. 绝对速度为$\vec{c_2}$；　　B. 相对速度为$\vec{c_2}$；

C. 绝对速度为$\vec{c_1}+\vec{c_2}$；　　D. 绝对速度在$\overrightarrow{MA}$方向的投影为c_2。

〔答案〕D。

〔考查目的〕点的合成运动分析。

〔错解分析〕选A者没有进行运动分析，认为要把小船拉回A点，绝对速度必沿$\overrightarrow{MA}$方向、岸上拉绳的速度必为绝对速度，没有考虑牵连速度$\vec{c_1}$的存在，小船向A点运动过程中是沿曲线轨迹、而绝对速度应该始终沿着轨迹切线方向；选B者虽然进行了运动分析，认为相对速度应该沿$\overrightarrow{MA}$方向，但把拉绳的速度误作为相对速度，实际上小船并非以速度$\vec{c_2}$相对于水朝岸上A点划回，相对速度的大小不等于c_2，选C者犯有与B同样的错误。拉绳的速度$\vec{c_2}$是人为控制的，它不受水流速度$\vec{c_1}$的影响，c_2只是小船的绝对速度在$\overrightarrow{MA}$方向的投影。

〔解题指导〕以A点为极点、向右为极轴建立极坐标系，由上述分析知，绝对速度沿径向的投影

$$v_r=-c_2 \tag{1}$$

据点的合成运动关系$\vec{v}=\vec{v'}+\vec{c_1}$，分别在径向和横向投影，得

$$v_r=c_1\cos\varphi-v' \tag{2}$$

$$v_\varphi=-c_1\sin\varphi \tag{3}$$

从以上三式可得绝对速度和相对速度的大小

$$v=\sqrt{v_r^2+v_\varphi^2}=\sqrt{c_2^2+c_1^2\sin^2\varphi} \quad v'=c_1\cos\varphi+c_2$$

1-1-6 质量为m的质点，在有阻力的空气中下落，阻力与速度成正比。在研究该质点的运动时，若建立铅垂向上的一维坐标系，则其运动微分方程应为

A. $m\ddot{y}=-mg+k\dot{y}$； B. $m\ddot{y}=-mg-k\dot{y}$；

C. $-m\ddot{y}=-mg-k\dot{y}$； D. $-m\ddot{y}=-mg+k\dot{y}$；

E. 若为上抛过程则B对，若为下落过程则A对。

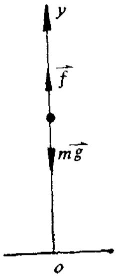

图1-1-6

〔答案〕B。

〔考查目的〕质点运动微分方程的建立，力的投影。

〔错解分析〕有些同学会毫不犹豫的选A，对吗？否！因为不论怎样选取坐标轴的正负向，总有$\vec{v}=\dot{y}\vec{j}$、$\vec{f}=-k\vec{v}=-k\dot{y}\vec{j}$，显然，阻力的方向由$\dot{y}$的正负即可确定，阻力在坐标轴上的投影恒为$f_y=-k\dot{y}$，在列运动微分方程时，不能再次考虑阻力与速度的反向问题。还有人认为，质点加速下落，加速度与坐标轴的正向相反，故D对，他们没有考虑到$\ddot{y}$的正负已经确定了加速度$\vec{a}=\ddot{y}\vec{j}$的方向；选D者兼有A、C的

错误。还有不少同学以为E对，其理由是上升过程和下降过程质点所受阻力方向不同，似有道理，但无此必要，因为$\dot{y}$的正（或负）已分别表示质点向上（或向下）运动，方程B既可适用于上升过程又可适用于下落过程。

1-1-7　质量为m的质点作上抛运动，阻力正比于速度的n次方。质点的运动微分方程在上升和下落过程中

A. 形式相同；　　B. 形式不同；

C. n是奇数，形式相同；

D. n是偶数，形式相同。

〔答案〕C。

〔考查目的〕质点运动微分方程的建立。

〔错解分析〕有人据上题中对E的分析结果选A，然而却是错的。从$\vec{f}=-k\vec{v}^n=-k\dot{y}^n\vec{j}$可知：若$n$为偶数，$\dot{y}^n$恒为正值，$\dot{y}$的正负尽管可以表示出速度$\vec{v}$的方向，但是已经不能表示出$\vec{f}$的方向，即不论$\dot{y}$是正还是负，$\vec{f}$总沿$\vec{j}$的负向，即使质点下落$\dot{y}$为负值$\vec{f}$也是向下的，与事实相矛盾。

〔解题指导〕当$n>1$时，对n的奇偶性必须分别讨论。若n为偶数，质点的运动微分方程在上升过程中为

$$m\ddot{y}=-mg-k\dot{y}^n \tag{1}$$

在下降过程中为

$$m\ddot{g}=-mg+k\dot{y}^n \tag{2}$$

若n为奇数，对全过程总有（1）式的形式。

从本题可知：阻力并不是简单的在力的表达式前面加一个负号；一般而言，质点运动的全过程并非都可由一个运动

微分方程表述。若质点运动过程中，其受力情况的变化可以划分为几个阶段，则应分别讨论各阶段的运动微分方程。

1-1-8　质量为m的小球用二根长为l的轻绳悬挂，如图1-1-7a。若把左端的绳突然剪断，在给定的弧坐标中，小球的切向运动微分方程

A．在图b中得到：$m\ddot{s}=mg\sin\alpha$；

B．在图c中得到：$m\ddot{s}=-mg\sin\alpha$；

C．在图b中得到：$m\ddot{s}=mg\sin\theta$；

D．在图c中得到：$m\ddot{s}=-mg\sin\theta$。

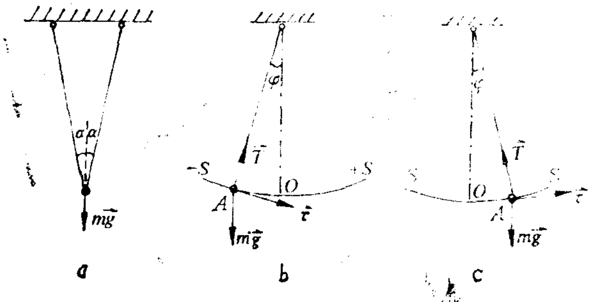

图1-1-7

〔答案〕D。

〔考查目的〕受力分析，质点运动微分方程的建立。

〔错解分析〕A、B在对质点进行受力分析和运动分析时，把质点放在了绳子被剪断时刻的特殊位置上，列出的方程仅能确定该时刻切向加速度的值，不能确定质点在其它时刻的运动情况，受力分析和运动分析必须在一般位置上进行。有些同学把质点的任意位置取在铅垂线的左侧，如图b，列出方程C；另一些同学把质点的任意位置取在铅直线右侧，

如图c；得到方程D．哪个对呢？表面看来，$m\vec{g}$在自然轴上的投影是变量，二者都对，其实不然，在图c中$m\vec{g}$在切线方向的投影应该为负值，此时$\theta>0$、$F_\tau=-mg\sin\theta<0$，符合实际；在图b中，$m\vec{g}$沿切线方向投影应该为正值，但此时$\theta<0$、$F_\tau=mg\sin\theta<0$，不合实际．显然，D对而C错．

1-1-9　一质量为m的珠子串在一半径为r的由铁丝做成的圆环上，圆环与珠子的摩擦系数为μ，圆环水平放置．设珠子在某时刻的速度为$\vec{v}$，环的约束反力在自然轴系中可以写为$\vec{R}=R_\tau\vec{\tau}+R_n\vec{n}+R_b\vec{b}$，则珠子与环的正压力$N=$

A．R_n；　B．R_b；　C．$\sqrt{R_n^2+R_b^2}$；

D．$\sqrt{R_n^2+R_b^2+R_\tau^2}$；　E．$\sqrt{\left(m\frac{v^2}{r}\right)^2+(mg)^2}$．

〔答案〕C、E．

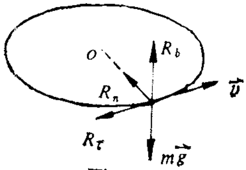

图1-1-8

〔考查目的〕不光滑曲线约束的约束反力和正压力．

〔错解分析〕选A者把正压力误认为主法线方向的约束反力；选B者从图中看到珠子只受到铅垂方向的主动力$m\vec{g}$，想当然的认为只有$\vec{b}$方向的正压力$R_b=mg$，实际上圆环还必须给珠子提供作圆周运动的向心力$R_n=m\frac{v^2}{r}$，正压力既然是质点与环的法向约束反力，就应该包括主法线和副法线两个分量，故C和E正确。选D者混淆了正压力与约束反力的概

念，把环对珠子的摩擦力 $R_\tau=-\mu\sqrt{(m\frac{v^2}{r})^2+(mg)^2}$ 计入了正压力之中，实际上D给出的是圆环对珠子的的全约束反力的值。

1-1-10　一质量为m的质点自光滑圆滚线的尖端无初速地滑下，圆滚线方程为

$x=a(2\theta+\sin2\theta)$，$y=-a(1+\cos2\theta)$

式中θ为水平线和质点运动方向间的夹角，则质点

A．加速度的方向永远指向O点；

B．运动的速率均匀增加；

C．合外力的大小随θ而变化；

D．与轨道正压力的大小不断增加，永远沿主法线方向；

E．与轨道正压力的大小随θ而变化，永远沿主法线方向。

〔答案〕E。

〔考查目的〕质点的约束运动。

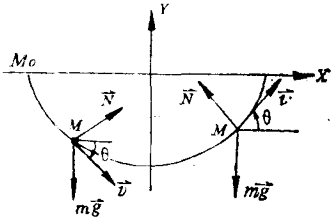

图1-1-9

〔错解分析〕选A者错误有二，一是把原点o误认为是圆滚线的曲率中心；二是把质点的法向加速度当作了全加速度，没有考虑到切向加速度的存在。以起始点Mo作为计算弧长的起点，θ角逆钟向为正，在任意位置质点的内禀方程为

$$m\frac{dv}{dt}=-mg\sin\theta \tag{1}$$

$$m\frac{v^2}{\rho}=N-mg\cos\theta \tag{2}$$

显然既有a_n也有a_τ，从（1）式可知速率不是均匀增加的，因为$\sin\theta=\frac{dy}{ds}$，所以由（1）式可得$\frac{dv}{dt}=v\frac{dv}{ds}=-g\frac{dy}{ds}$，积分后得

$$v^2=-2gy=2ag(1+\cos2\theta)=4ag\cos^2\theta \tag{3}$$

故B也错；又因$ds=\sqrt{\left(\frac{dx}{d\theta}\right)^2+\left(\frac{dy}{d\theta}\right)^2}d\theta=4a\cos\theta d\theta$，所以

$$\rho=\frac{ds}{d\theta}=4a\cos\theta \tag{4}$$

把（3）、（4）代入（2）式得

$$N=2mg\cos\theta$$

若质点在第三象限，$|\theta|$减小，N随θ增大；在第四象限，$|\theta|$增大，N随θ减小，选D者只考虑了$|\theta|$减小的情况。有不少同学根据N随θ而变化，认为合力$\vec{N}+m\vec{g}$的大小必随θ而变化，判得C对，然而事实恰恰相反，合力的大小为

$$\sqrt{(N-mg\cos\theta)^2+(-mg\sin\theta)^2}=mg.$$

1-1-11 光滑楔子以匀加速a_0直线运动，质量为m的质点沿楔子的光滑斜面滑下，则楔子与质点的正压力为

A. $mg\left(\cos\theta+\frac{a_0}{g}\sin\theta\right)$； B. $mg\left(\cos\theta-\frac{a_0}{g}\sin\theta\right)$；

C. $m(g+a_0)\cos\theta$； D. $m(g-a_0)\cos\theta$；

E. $mg\left[\cos\theta+\frac{a_0}{g}(\sin\theta\cos\alpha+\cos\theta\sin\alpha)\right]$； F. 0.

〔答案〕E。

〔考查目的〕平动非惯性系中质点动力学方程的应用。

〔错解分析〕题中仅给出楔子沿直线运动，并没有告诉我们$\vec{a}_0$的方向，我们必须进行一般性分析。设$\vec{a}_0$与水平线夹角为α，取楔子为参考系，质点除受重力$m\vec{g}$、约束反力N的作用之外，还要考虑惯性力$-m\vec{a}_0$，质点的运动微分方程为

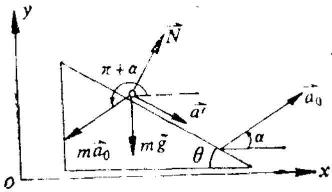

图1-1-10

$$ma'\cos\theta = N\sin\theta - ma_0\cos\alpha$$

$$-ma'\sin\theta = N\cos\theta - ma_0\sin\alpha - mg$$

从而可得

$$a' = g\sin\theta + a_0(\sin\theta\sin\alpha - \cos\theta\cos\alpha)$$

$$N = mg\left[\cos\theta + \frac{a_0}{g}(\sin\theta\cos\alpha + \cos\theta\sin\alpha)\right]$$

当$\alpha=0$时，A对；$\alpha=\pi$时，B对；$\alpha=\frac{\pi}{2}$时，C对；$\alpha=\frac{3}{2}\pi$时，D对；当$\vec{a}_0$满足

$$a_0 = \frac{-g\cos\theta}{\sin\theta\cos\alpha + \cos\theta\sin\alpha}$$

时，F对。

1-1-12 处理非惯性系动力学问题时，为了延用牛顿运动方程而引入的惯性力

A. 是真实的力；　B. 是虚拟的力；

C. 不是物体间的相互作用；

D. 不是具体物体间的相互作用，没有具体的施力者.

〔答案〕D.

〔考查目的〕惯性力的意义.

〔错解分析〕这是一个被世人争执不休的问题. 惯性力到底是真实的还是虚拟的？这要由力的定义而定. 在惯性系中，通常把力定义为“物体之间的相互作用，这种相互作用使物体之间获得加速度”，对于非惯性系，惯性力确实没有具体的施力者，不是具体物体间的相互作用，从此角度而言，惯性力是虚拟的；但事实表明惯性力可以产生相对加速度，从此角度而言，惯性力具有真实性. 因此不能简单地说惯性力是虚拟的力或简单地说惯性力是真实的力. 广义相对论已定性证明，惯性力尽管不是某个具体物体间的作用，却是整个恒星系统的总作用，因此，C也是不严格的.

1-1-13 弹簧振子的另一端以$x_1=a\sin\omega_1 t$（a、ω为常量）的规律作简谐振动时，质点所受的弹性力为

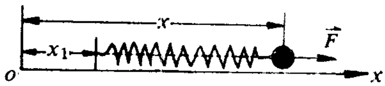

图1-1-11

$$F=-k(x-x_1-l)=-k(x-a\sin\omega_1 t-l)$$

相应的弹性势能为

$$V=\frac{1}{2}k(x-a\sin\omega_1 t-l)^2$$

其中l为弹簧原长，k为弹性系数.

A. F为有势力；　B. F为保守力；

C. 质点的机械能守恒；

D. $\vec{F}$作功与质点的运动路径无关；

E，质点的机械能不守恒。

〔答案〕A、E。

〔考查目的〕有势力与保守力的区别，机械能守恒的条件。

〔错解分析〕据题得$F=-\frac{\partial V}{\partial X}$，满足$\vec{F}=-\nabla V$的条件，有相当一部分同学会从A对推论B、C、D也对，他们混淆了有势力与保守力的概念。事实上，有势力并不一定都是保守力，受有势力作用的质点并不一定都满足机械能守恒，若质点受力不仅是位置坐标而且还是时间t的函数$\vec{F}=\vec{F}(x,y,z,t)$，尽管此力可以是有势力，存在着势能函数$V(x,y,z,t)$满足$\vec{F}=-\nabla V$，但是据动能定理

$$d\left(\frac{1}{2}mv^2\right)=\vec{F}\cdot d\vec{r}=-\nabla V\cdot d\vec{r}=-\left(\frac{\partial V}{\partial x}dx+\frac{\partial V}{\partial y}dy+\frac{\partial V}{\partial z}dz\right)=-\left(\partial V-\frac{\partial V}{\partial t}dt\right)$$

即 $$d\left(\frac{1}{2}mv^2+V\right)=\frac{\partial V}{\partial t}dt$$

显然，若V中显含时间t，机械能不守恒。

只有在力有势、且力或力场是稳定（相应的势能表达式不显含时间）的条件下，该力或力场才为保守力或保守力场，才能够在实际运动过程中具有作功与路径无关的性质，才对应有机械能守恒。本题中，$\vec{F}$为有势力，但V中显含时间t，故B、C、D都错。

1-1-14 一运动质点受有心力$\vec{F}=F(r)\vec{e}_r$的作用，以