

# 2008 年高考物理试题对称性问题赏析

丁庆红

人们早就知道，麦克斯韦优美的电磁理论之所以有力量，之所以优美，在很大程度上要归功于该理论的数学描述中所显示出来的平衡和对称。

在美学中，“对称”是形式美的表现，指整体各个组成部分之间的相称或对应，如空间上的和谐布局，时间上的节律协和。在物理学中，物理学家追求的是所研究的宇宙结构的对称性和物质运动的对称性。如物理学家相信正物质与反物质对称而去寻找反物质；认为电荷应与“磁荷”对应，而去寻找磁单极子。他们常把追求理论的对称之美作为一种有效的研究途径。物理学的对称美主要表现为时空对称，数学对称和抽象对称。

时空对称表示物理现象（或系统）在时空变换下的不变性。物理学中的时空对称有空间对称，时间对称，时间和空间同时对称三种。如杠杆的平衡，平面镜的成像，磁体的两极，电荷的正负等都表现了物质的直观形象在空间上的对称；周期、节奏、频率等表现了时间对称；物体竖直上抛运动和斜抛运动的上升过程与下降过程表现了时空对称。

数学对称表示物理内容在数学形式上的对称性。如简谐振动的振动图线，简谐波的波形图线具有对称性，这种对称性表现了物理内容在数学图形上的对称。质点力学中的动量定理  $F\Delta t = \Delta p$  与动能定理  $Fs = \Delta E_k$  之间，万有引力定律  $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$  与库

仑定律  $F = K \frac{q_1 q_2}{R^2}$  之间具有对称性，体现了物理内容在数学表达式上的对称。

抽象对称表示以抽象的方式所反映出的物理内容的对称。如处于平衡态的气体对容器壁的压强处处相等，处于平衡态的气体分子的热运动在三维空间各个自由度上发生的几率相等，这些都体现了物理内容的抽象对称美。

对称思想在每年的高考命题中都有所渗透和体现，从侧面体现考生的直观思维能力和客观的猜想推理能力，既有利于高校选拔能力强素质高的优秀人才，又有利于中学物理教学对学生的科学素养和美学素养的培养。作为一种重要的物理思想和方法，

相信在今后的高考命题中必将有更多的体现。

## 一、设置的物理背景具有对称性

[例 1] (2008 年高考广东物理) 有一种叫“飞椅”的游乐项目，示意图如图 1 所示，长为  $L$  的钢绳一端系着座椅，另一端固定在半径为  $r$  的水平转盘边缘，转盘可绕穿过其中心的竖直轴转动。当转盘以角速度  $\omega$  匀速转动时，钢绳

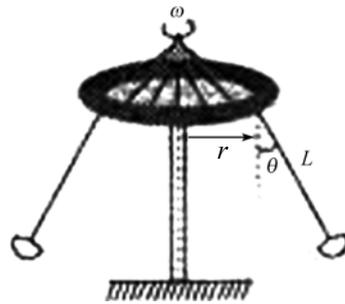


图 1

与转轴在同一竖直平面内，与竖直方向的夹角为  $\theta$ ，不计钢绳的重力，求转盘转动的角速度  $\omega$  与夹角  $\theta$  的关系。

[解析] 设转盘转动的角速度为  $\omega$  时，钢绳与竖直方向的夹角为  $\theta$ 。

座椅到中心轴的距离为： $R = r + L \sin \theta$

对座椅分析有： $F_{\text{心}} = mg \tan \theta = mR\omega^2$

联立两式，得  $\omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{r + L \sin \theta}}$

[点评] 本题以游乐项目“飞椅”为背景，考查圆周运动和牛顿运动定律。飞椅的外圈是圆，具有对称性；飞椅的辐条具有对称性；飞椅在做圆周运动，具有对称性。本题设置的物理背景不仅常见有趣，而且对称优美。

## 二、设置研究对象的运动轨迹具有对称性

[例 2] (2008 年高考海南物理) 如图 2，一轻绳的一端系在固定粗糙

斜面上的  $O$  点，另一端系一小球。给小球一足够大的初速度，使小球在斜面上做圆周运动。在此过程中，

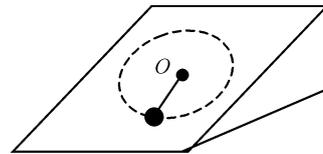


图 2

- A. 小球的机械能守恒
- B. 重力对小球不做功
- C. 绳的张力对小球不做功
- D. 在任何一段时间内，小球克服摩擦力所做的

功总是等于小球动能的减少

[解析]由于斜面粗糙,小球与斜面之间存在摩擦力,且做负功,则小球的机械能不守恒。小球由最低点到最高点,重力做负功,由最高点返回最低点,重力做正功。而绳的张力方向始终与小球的运动方向垂直,故绳的张力对小球不做功。由动能定理知,外力对小球做的总功等于小球动能的变化。可见,本题的正确选项为(C)。

[点评]本题设置的小球在粗糙的斜面上做圆周运动,其运动轨迹具有对称性。

[例 3] (2008 年高考广东物理) 图 3 是“嫦娥一号奔月”示意图,卫星发射后通过自带的小型火箭多次变轨,进入地月转移轨道,最终被月球引力捕获,成为绕月卫星,并开展对月球的探测,下列说法正确的是:

- A. 发射“嫦娥一号”的速度必须达到第三宇宙速度
- B. 在绕月圆轨道上,卫星周期与卫星质量有关
- C. 卫星受月球的引力与它到月球中心距离的平方成反比
- D. 在绕月圆轨道上,卫星受地球的引力大于受月球的引力

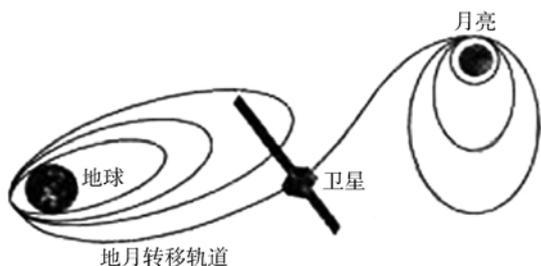


图 3

[解析]卫星达到第三宇宙速度就会脱离太阳系的束缚,飞到太阳系以外的空间里去。显然,选项(A)错误。在绕月圆轨道上,月球对卫星的万有引力提供卫星绕月球做圆周运动的向心力:

$$\frac{GMm}{r^2} = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r, \text{ 卫星的周期与其质量无关。可见, 本题只有选项 (C) 正确。}$$

[点评]现代物理学把“对称加破缺”看作是一条重要的美学原则,体现了和谐奇异美的思想。古人认为,圆是最和谐的。于是,托勒玫和哥白尼就用圆形轨道建立起一幅和谐的宇宙图景。开普勒用实验观察,发现了行星运动的椭圆轨道理论,很明

显,椭圆是圆的奇异,圆只是椭圆的特例。开普勒定律体现了和谐奇异美。爱因斯坦的相对论又解释了行星椭圆轨道还会发生进动,进动的椭圆又是圆的奇异,但它逼真地体现了物理规律的动态之美。

本题设置的“嫦娥一号奔月”运行轨道对称优美,让人一看就想探究其中的奥秘。

### 三、设置的物理过程具有对称性

[例 4] (2008 年高考重庆理综) 图 4 为一种质谱仪工作原理示意图。在以  $O$  为圆心,  $OH$  为对称轴, 夹角为  $2\alpha$  的扇形区域内分布着方向垂直于纸面的匀强磁场。对称于  $OH$  轴的  $C$  和  $D$  分别是离子发射点和收集点。  $CM$  垂直磁场左边界于  $M$ , 且  $OM = d$ 。现有一正离子束以小发散角(纸面内)从  $C$  射出, 这些离子在  $CM$  方向上的分速度均为  $v_0$ 。若该离子束中比荷为  $\frac{q}{m}$  的离子都能汇聚到  $D$ , 试求:

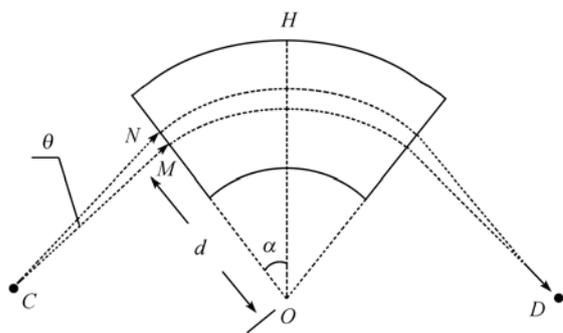


图 4

- (1) 磁感应强度的大小和方向 (提示: 可考虑沿  $CM$  方向运动的离子为研究对象);
- (2) 离子沿与  $CM$  成  $\theta$  角的直线  $CN$  进入磁场, 其轨道半径和在磁场中的运动时间;
- (3) 线段  $CM$  的长度。

[解析](1)沿  $CM$  方向运动的离子在磁场中做圆周运动的轨道半径为:

$$R = d.$$

$$\text{由 } qBv_0 = m \frac{v_0^2}{R},$$

$$\text{解得: } B = \frac{mv_0}{qd}. \text{ 磁场方向垂直纸面向外。}$$

(2)如图 5 所示,沿  $CN$  运动的离子速度大小为  $v$ , 在磁场中的轨道半径为  $R'$ , 运动时间为  $t$ ,

$$\text{由 } v \cos \theta = v_0$$

$$\text{得 } v = \frac{v_0}{\cos \theta}$$

$$R' = \frac{mv}{qB} = \frac{d}{\cos \theta}$$

方法一：设弧长为  $s$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$s = 2(\theta + \alpha) R'$$

$$\text{解得： } t = \frac{2(\theta + \alpha)d}{v_0}$$

方法二：离子在磁场中做匀速圆周运动的周期

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$t = \frac{\theta + \alpha}{\pi} T = \frac{2(\theta + \alpha)d}{v_0}$$

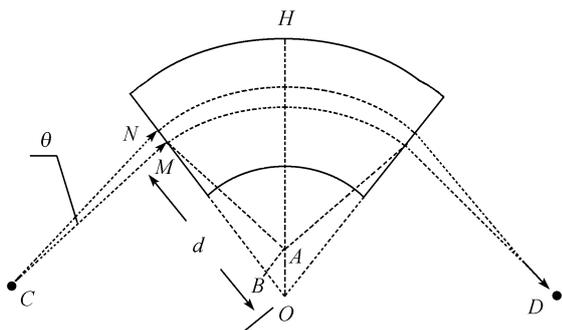


图 5

(3)如图 5 所示，离子沿与  $CM$  成  $\theta$  角的直线  $CN$  进入磁场，设在磁场中做匀速圆周运动的圆心为  $A$ ，过  $A$  作  $AB$  垂直  $NO$ ，垂足为  $B$ 。

方法一： $\overline{CM} = \overline{NM} \cot \theta$

$$\frac{\overline{NM} + d}{\sin(\alpha + \theta)} = \frac{R'}{\sin \alpha}$$

$$R' = \frac{d}{\cos \theta}$$

解得： $\overline{CM} = d \cot \alpha$

方法二：可以证明  $\overline{NM} = \overline{BO}$

$$\because \overline{NM} = \overline{CM} \tan \theta$$

$$\text{又 } \because \overline{BO} = \overline{AB} \cot \alpha = R' \sin \theta \cot \alpha =$$

$$\frac{d}{\cos \theta} \sin \theta \cot \alpha$$

$$\therefore \overline{CM} = d \cot \alpha$$

[点评]题中设置质谱仪的磁场关于  $OH$  对称；离子的发射点和收集点关于  $OH$  对称；该正离子的运动轨迹也关于  $OH$  对称。同时，该题也是一道开

放性的试题。由于对题中对称性的不同理解，导致该题有多种不同的解法。

#### 四、设置的物理图像具有对称性

[例 5] (2008 年高考上海物理) 如图 6 所示，平行于  $y$  轴的导体棒以速度  $v$  向右做匀速运动，经过半径为  $R$ 、磁感应强度为  $B$  的圆形匀强磁场区域，导体棒中的感应电动势  $E$  与导体棒的位置  $x$  关系的图像是图 7。

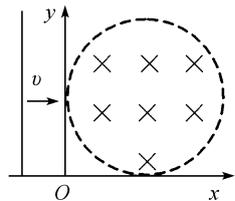


图 6

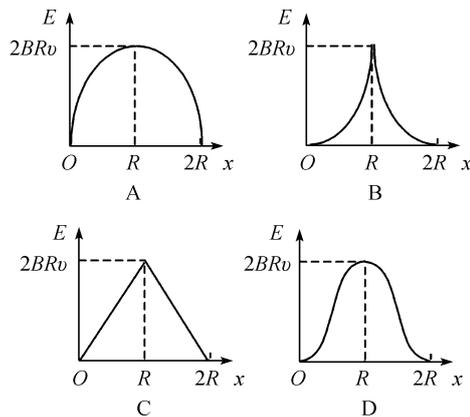


图 7

[解析]如图 8 所示，设导体棒的位置为  $x$  时，导体棒切割磁感线的有效长度为  $l$ ，由图知  $l = \overline{MN}$ ，则

$$l = 2\sqrt{2Rx - x^2} \quad (0 \leq x \leq 2R)$$

导体棒中的感应电动势  $E = Blv$

$$\text{故 } E = 2Bv\sqrt{2Rx - x^2}$$

所以，选项 (A) 正确。

[点评]本题设置的圆形磁场具有对称性，导体棒的运动关于磁场在  $x$ 、 $y$  轴方向的直径对称，所以导体棒中的感应电动势  $E$  与导体棒的位置  $x$  关系的图像也是对称的。

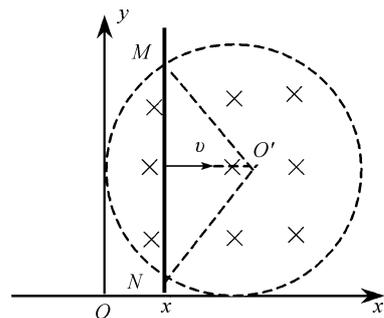


图 8

[例 6] (2008 年高考宁夏理综) 一滑块在水平

现代物理知识

地面上沿直线滑行,  $t=0$  时其速度为  $1 \text{ m/s}$ 。从此刻开始沿滑块运动方向上再施加一水平作用力  $F$ , 力  $F$  和滑块的速度  $v$  随时间的变化规律分别如图 9 中的(a)和(b)所示。设在第 1s 内、第 2s 内、第 3s 内力  $F$  对滑块做的功分别为  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$ 。则以下关系正确的是

- A.  $W_1=W_2=W_3$
- B.  $W_1<W_2<W_3$
- C.  $W_1<W_3<W_2$
- D.  $W_1=W_2<W_3$

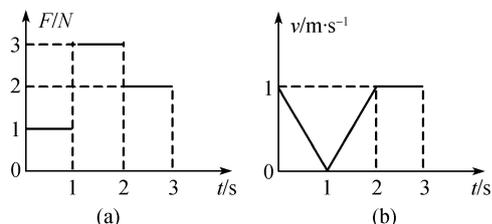


图 9

[解析]由图 9(b)知, 滑块在第 1s 内、第 2s 内的位移相等, 为  $s_1=s_2=0.5\text{m}$ , 第 3s 内的位移为  $s_3=1\text{m}$ 。则力  $F$  在第 1s 内对滑块做的功为  $W_1=0.5\text{J}$ , 力  $F$  在第 2s 内对滑块做的功为  $W_2=1.5\text{J}$ , 力  $F$  在第 3s 内对滑块做的功为  $W_3=2.0\text{J}$ 。所以, (B) 选项正确。

[点评]本题虽然设置的  $F-t$  图像和  $v-t$  图像都具有对称性, 但在第 1s 内、第 2s 内、第 3s 内力  $F$  对滑块做的功却并不相同。

### 五、设置的物理情景具有对称性

[例 7] (2008 年高考四川理综) 如图 10, 一半径为  $R$  的光滑绝缘半球面开口向下, 固定在水平面上。整个空间存在匀强磁场, 磁感应强度方向竖直向下。一电荷量为  $q$  ( $q>0$ )、质量为  $m$  的小球  $P$  在球面上做水平的匀速圆周运动, 圆心为  $O'$ 。球心  $O$  到该圆周上任一点的连线与竖直方向的夹角为  $\theta$  ( $0<\theta<\frac{\pi}{2}$ )。为了使小球能够在该圆周上运动, 求磁感应强度大小的最小值及小球  $P$  相应的速率。重力加速度为  $g$ 。

[解析]据题意, 小球  $P$  在球面上做水平的匀速

圆周运动, 该圆周的圆心为  $O'$ 。  $P$  受到向下的重力  $mg$ 、球面对它沿  $OP$  方向的支持力  $N$  和磁场的洛伦兹力

$$f=qvB.$$

根据牛顿第二定律:  $N \cos\theta - mg=0$ ,

$$f - N \sin\theta = m \frac{v^2}{R \sin\theta},$$

$$\text{解得: } v^2 - \frac{qBR \sin\theta}{m} v + \frac{gR \sin^2\theta}{\cos\theta} = 0,$$

由于  $v$  是实数, 必须满足:  $\Delta = \left(\frac{qBR \sin\theta}{m}\right)^2 -$

$$\frac{4gR \sin^2\theta}{\cos\theta} \geq 0,$$

$$\text{由此得: } B \geq \frac{2m}{q} \sqrt{\frac{g}{R \cos\theta}}.$$

可见, 为了使小球能够在该圆周上运动, 磁感应强度大小的最小值为

$$B_{\min} = \frac{2m}{q} \sqrt{\frac{g}{R \cos\theta}}.$$

此时, 带电小球做匀速圆周运动的速率为:

$$v = \frac{qB_{\min} R \sin\theta}{2m},$$

$$\text{解得: } v = \sqrt{\frac{gR}{\cos\theta}} \sin\theta.$$

[点评]本题设置的光滑绝缘半球面具有对称性; 小球在球面上做水平的匀速圆周运动具有对称性; 小球在球面上不同位置的受力情况也具有对称性。

[例 8] (2008 年高考山东理综) 某兴趣小组设计了如图 11 所示的玩具轨道, 其中“2008”四个等高数字用内壁光滑的薄壁细圆管弯成, 固定在竖直平面内 (所有数字均由圆或半圆组成, 圆半径比细管的内径大得多), 底端与水平地面相切。弹射装置将一个小物体 (可视为质点) 以  $v_a=5 \text{ m/s}$  的水平初速度由  $a$  点弹出, 从  $b$  点进入轨道, 依次经过“8002”后从  $p$  点水平抛出。小物体与地面  $ab$  段间的动摩擦因数  $\mu=0.3$ , 不计其他机械能损失。已知  $ab$  段长  $L=1.5 \text{ m}$ , 数字“0”的半径  $R=0.2 \text{ m}$ , 小物体质量  $m=0.01 \text{ kg}$ ,  $g=10 \text{ m/s}^2$ 。求:

(1) 小物体从  $p$  点抛出后的水平射程。

(2) 小物体经过数字“0”的最高点时管道对小物体作用力的大小和方向。



图 11

[解析](1)设小物体运动到  $p$  点时的速度大小为  $v$ , 对小物体由  $a$  到  $p$  过程应用动能定理得:

$$-\mu mgL - 2mgR = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_a^2.$$

小物体从  $p$  点抛出后做平抛运动:  $2R = \frac{1}{2}gt^2,$

$$s = vt.$$

解得:  $s = 0.8 \text{ m},$

(2)设在数字“0”的最高点时管道对小物体的作用力大小为  $F$ , 有:

$$F + mg = m\frac{v^2}{R}.$$

解得:  $F = 0.3 \text{ N}$  方向竖直向下.

[点评]本题设置的物理情景有趣、对称。物体的运动依次经过“8002”, 而从左到右看则是今年高考的年份“2008”。高考命题专家利用对称的数字设置出对称有趣的物理情景, 体现其独到的匠心, 也反映出新课程改革的新理念。

#### 六、设置的电磁场分布具有对称性

[例 9] (2008 年高考江苏物理) 如图 12 所示, 实线为电场线, 虚线为等势线, 且  $AB = BC$ , 电场中的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点的场强分别为  $E_A$ 、 $E_B$ 、 $E_C$ , 电势分别为  $\varphi_A$ 、 $\varphi_B$ 、 $\varphi_C$ ,  $AB$ 、 $BC$  间的电势差分别为  $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ , 则下列关系中正确的有

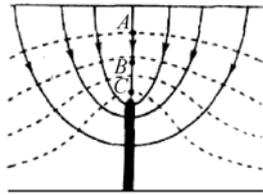


图 12

A.  $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$

B.  $E_C > E_B > E_A$

C.  $U_{AB} < U_{BC}$

D.  $U_{AB} = U_{BC}$

[解析]顺着电场线的方向电势越来越低, 则  $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$ , 选项 (A) 正确; 电场线越密集的地方电场强度越大, 则  $E_C > E_B > E_A$ , 选项 (B) 正确; 由于  $AB = BC$ , 则  $U_{AB} < U_{BC}$ , 选项 (C) 正确。

[点评]题中设置的电场分布具有对称性, 其电场线和等势线分布因而是对称的。阅读此题后也许有的考生会感慨: “多漂亮的电场!” “多优美的电场!”

#### 七、对称性是解题的突破口

[例 10] (2008 年高考湖北理综) 如图 13 所示, 在坐标系  $xOy$  中, 过原点的直线  $OC$  与  $x$  轴正向的夹角  $\varphi = 120^\circ$ , 在  $OC$  左侧有一匀强电场。在第二、三象限内有一匀强磁场, 其上边界与电场边界重叠、右边界为  $y$  轴、左边界为图中平行于  $y$  轴的虚线, 磁场的磁感应强度大小为  $B$ , 方向垂直纸面向里。一带正电荷  $q$ 、质量为  $m$  的粒子以某一速度自磁场左边界上的  $A$  点射入磁场区域, 并从  $O$  点射出, 粒子射出磁场的速度方向与  $x$  轴的夹角  $\theta = 30^\circ$ , 大小为  $v$ , 粒子在磁场中的运动轨迹为纸面内的一段圆弧, 且弧的半径为磁场左右边界间距的两倍。粒子进入电场后, 在电场力的作用下又由  $O$  点返回磁场区域, 经过一段时间后再次离开磁场。已知粒子从  $A$  点射入到第二次离开磁场所用的时间恰好等于粒子在磁场中做圆周运动的周期。忽略重力的影响。求:

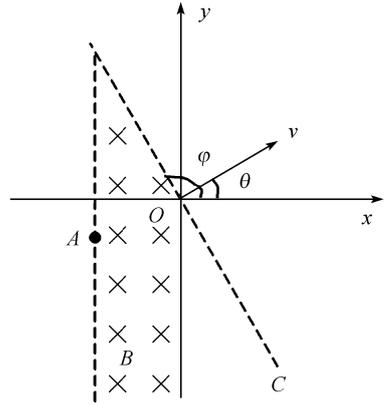


图 13

(1)粒子经过  $A$  点时速度的方向和  $A$  点到  $x$  轴的距离;

(2)匀强电场的大小和方向;

(3)粒子从第二次离开磁场到再次进入电场时所用的时间。

[解析](1)画出示意图如图 14 所示, 设磁场左右边界间距为  $d$ , 由几何关系知:  $OO' = 2d$ .

粒子第一次进入磁场的运动轨迹的圆心为

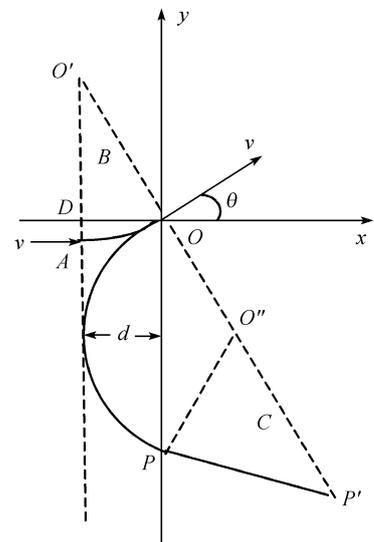


图 14

$O'$ , 有

$$\overline{AD} = R(1 - \cos 30^\circ),$$

$$qBv = m \frac{v^2}{R},$$

$$\text{解得: } \overline{AD} = \frac{mv}{qB} \left( 1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \right).$$

(2) 粒子第一次在磁场中运动时间为  $t_1$ , 有

$$t_1 = \frac{T}{12},$$

$$T = \frac{2\pi m}{qB}.$$

依题意, 匀强电场的方向与  $x$  轴正向夹角应为  $150^\circ$ 。由几何关系知, 粒子再次从  $O$  点进入磁场的速度方向与磁场右边界夹角为  $60^\circ$ 。粒子第二次在磁场中运动的圆弧的圆心  $O''$  必定在直线  $OC$  上, 且  $\angle OO''P = 120^\circ$ 。

粒子第二次在磁场中运动时间为  $t_2$ , 有:  $t_2 = \frac{T}{3}$

粒子在电场中运动时间为  $t_3$ , 依题意有:

$$t_3 = T - (t_1 + t_2)$$

粒子在电场中有:  $-v = v - at_3$

$$qE = ma$$

$$\text{解得: } E = \frac{12}{7\pi} Bv$$

(3) 粒子自  $P$  射出后沿直线运动, 由  $P'$  再次进入电场, 由几何关系有  $\angle O''P'P = 30^\circ$ 。三角形  $OPP'$  为等腰三角形, 粒子在  $P$ 、 $P'$  运动时间为  $t_4$ , 有:

$$t_4 = \frac{\overline{PP'}}{v},$$

由几何关系得:  $\overline{OP} = \sqrt{3}R = \overline{PP'}$ ,

$$\text{解得: } t_4 = \frac{\sqrt{3}m}{qB}.$$

[点评] 本题并没有明确给出带电粒子的运动情景, 甚至匀强电场的大小和方向都需要作出判断, 是一道高考压轴题。但如果抓住“带电粒子从  $O$  点离开磁场, 进入电场运动后, 又从  $O$  点进入磁场”这一苛刻条件, 发现本题设置的物理过程应该具有对称性, 顿时可以看到带电粒子从  $O$  点进出磁场的速度方向应该相反, 则粒子在电场中应该做往返的直线运动, 由对称性可知, 粒子从  $O$  点进出磁场的速度大小应该相等, 匀强电场的大小和方向也就可以确定。我们就豁然开朗, 迅速找到了本题的突破口。可见, 对称性是解题的突破口。

(北京教育学院石景山分院 100043)

## 科苑快讯

### 太空电梯是天方夜谭吗

太空电梯的设想最早于 1895 年出自俄国科学家齐奥尔科夫斯基 (Konstantin Tsiolkovsky)。1975 年, 美国空军研究工作实验室的皮尔森 (Jerome Pearson) 发表了太空电梯的工程纲要。一直积极推动该项目的美国物理学家爱德华兹 (Bradley C. Edwards) 认为太空电梯将成为人类历史上最为重大的技术进步, 并且可在 15 年内付诸实施。

根据爱德华兹的构想, 太空电梯的缆绳, 一头固定在建于赤道太平洋的一个平台上、一头连接地球同步轨道上的卫星或空间站。由于平台是可移动的, 因此缆绳可自由伸展, 沿轨道卫星的飞行轨迹伸向太空。电梯将由光电池供电, 一束连接平台的激光可瞄准电梯轿厢传输灯光。其运行成本只有目

前火箭、飞船方式的百分之几, 建成后甚至可能普及太空旅游。

电梯缆绳是最主要的工程技术难题, 它将长达 10 万千米, 而且要求既坚韧又轻薄。研究者普遍认为碳纳米管最符合要求, 它可制造成比纸还薄、不足 1 米宽的带子, 如果因闪电、流星、太空垃圾、其他卫星、风或太阳辐射等原因受损断裂, 端头将在大气层中烧毁, 底部则会像一张纸一样轻轻地掉在地上。但是, 单壁碳纳米管目前的最长纪录只有 10 厘米, 并常含杂质。另外, 震动将使电梯不可攀爬, 而且可能成为恐怖分子的袭击目标。

尽管存在诸多挑战, 但其巨大的科学和商业价值仍不可小觑。目前, 美国航天局和国会都已拨款资助该项目。

(高凌云编译自 2008 年 11 月美国 seed.slb.com)