

## 1. B 【命题点】标量与矢量

【解析】电场强度是矢量,A 错误;动量是矢量,C 错误;速度、加速度都是矢量,D 错误。

## 2. B 【命题点】质点+惯性+运动和力

选项	分析	正误
A	踢香蕉球时需要考虑足球的旋转,此时足球的大小和形状均不能忽略(关键:一个物体能否被看作质点,关键看其大小和形状对所研究的问题的影响是否可以忽略)	×
B	惯性只与物体的质量有关,与物体的运动状态、所处位置等因素无关	√
C	足球在飞行时受到重力和空气阻力,不受脚的作用力	×
D	足球对网的力与网对足球的力是一对相互作用力,等大反向	×

## 3. D 【命题点】平抛运动+功能关系

【解析】由题意可知,铅球被水平推出后做平抛运动,加速度  $a$  即为重力加速度,故  $a$  不变,A 错误;设铅球初速度大小为  $v_0$ ,由平抛运动规律以及速度的合成可知, $v$  与  $t$  的关系为  $v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$ ,不是一次函数关系,B 错误;由动能  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}mg^2t^2$  可知, $E_k$  与  $t$  是二次函数关系,C 错误;铅球在空中运动时只受重力,机械能守恒(关键:机械能守恒的条件是只有重力或系统内弹力做功),D 正确。

## 4. B 【命题点】位移、平均速度+曲线运动

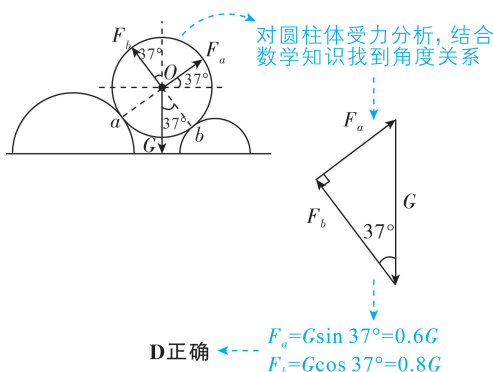
【解析】月球表面重力加速度比地球表面的小,故巡视器受到月球的引力一定小于 1 350 N (关键:月球表面重力加速度大约为地球表面重力加速度的  $\frac{1}{6}$ ),A 错误;巡视器在 AB 段做曲线运动,其所受合力一定指向曲线的凹侧,则其一定有加速度,B 正确;平均速度的方向与位移方向相同,OA 段平均速度方向由 O 指向 A,AB 段平均速度方向由 A 指向 B,二者不在同一直线上,方向不同,C 错误;从 O 到 B 的位移大小等于 O、B 两点间直线距离,小于 OAB 轨迹长度,D 错误。

## 5. C 【命题点】核反应方程+射线特性+比结合能+半衰期

【解析】由质量数守恒可知, $X = 238 - 4 = 234$ ,A 错误; ${}^4_2\text{He}$  的穿透能力比  $\gamma$  射线弱,电离能力比  $\gamma$  射线强,B 错误;核反应

的生成物更稳定,比结合能更大,故 ${}^{234}_{92}\text{U}$ 比 ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 的比结合能大,**C 正确**;半衰期不受温度影响,仅由原子核内部自身的因素决定,**D 错误**。

#### 6. D 【命题点】受力分析



#### 7. A 【命题点】远距离输电

【解析】交流电可以通过变压器变压,直流电不能,所以送电端需要先用升压变压器升压,再整流为直流电,用户端需要先将直流电变成交流电,才能通过变压器降压,**A 正确**,**B 错误**;1100 kV 指的是交流电的有效值,**C 错误**;输电功率由“用户端”也就是输出端决定(关键:改变负载会导致输出功率改变,输出决定输入),**D 错误**。

#### 8. A 【命题点】电场力+圆周运动

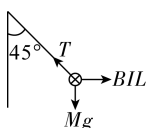
【解析】粒子从 M 点射入,从 N 点射出,可知粒子在两段圆弧处做匀速圆周运动,半径分别为  $R_1$ 、 $R_2$ ,根据电场力提供向心力及牛顿第二定律,有  $qE_1 = \frac{mv^2}{R_1}$ ,  $qE_2 = \frac{mv^2}{R_2}$ ,解得  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2}{R_1}$ ,**A 正确**。

#### 9. D 【命题点】开普勒第三定律+万有引力定律的应用

【解析】木卫一、二、三均为木星的卫星,中心天体为木星,对木卫一和木卫三使用开普勒第三定律,有  $\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{(nr)^3}{T_3^2}$ ,且  $\frac{T_1}{T_3} = \frac{1}{4}$ ,解得木卫一的轨道半径  $r_1 = \frac{nr}{\sqrt[3]{16}}$ ,**A 错误**;同理木卫二的轨道半径  $r_2 = \frac{nr}{\sqrt[3]{4}}$ ,**B 错误**;木卫三和月球不是同一中心天体(关键:只有对同一个中心天体,开普勒第三定律才成立),不能使用开普勒第三定律求解周期之比,**C 错误**;根据环绕模型中万有引力提供向心力可得  $\frac{GM_{\text{木}} m}{(nr)^2} = \frac{m4\pi^2 nr}{T^2}$ ,  $\frac{GM_{\text{地}} m'}{r^2} = \frac{m'4\pi^2 r}{T_0^2}$ ,则  $\frac{M_{\text{木}}}{M_{\text{地}}} = \frac{T_0^2}{T^2} n^3$ ,**D 正确**。

#### 10. C 【命题点】电磁阻尼+电磁感应+振动

【解析】开关 S 接 1,对静止时的导体棒受力分析,画侧视图如图所示。



根据平衡条件和几何关系有  $BIL = Mg$ , 根据闭合电路欧姆定

律有  $I = \frac{E_0}{R}$ , 联立解得  $E_0 = \frac{MgR}{BL}$ , **A 错误**; 棒从右向左摆的过程

中, 二极管正向导通, 系统的机械能转化为电能, 再转化为焦耳热, 由于机械能损失, 故棒从左向右摆时 (点拨: 从左向右摆时, 二极管阻碍电流流过, 则导体棒中无电流, 不受安培力作用, 可认为导体棒从左向右做等高的摆动), 最大

摆角小于  $\frac{\pi}{4}$ , 完成一次振动的过程后, 导体棒并非静止于最

低点, 则棒消耗的焦耳热  $Q < (1 - \frac{\sqrt{2}}{2}) Mgl$ , **B 错误, C 正确**;

棒向左运动时, 由于电磁感应现象, 棒产生焦耳热, 所以棒从最低点向左运动再回到最低点的过程中, 机械能有损失, 则两次过最低点的速度不相等, 故产生的感应电动势也不相等, **D 错误**。

#### 11. C 【命题点】声波干涉

【解析】设声波在 A、B 管中的振幅分别为  $A_1$ 、 $A_2$ 。

**A、B 管等长**: 声波从 A 管和 B 管到 O 点的波程差为 0。

**A 管拉长 15 cm**: 声波到 O 点第一次探测到声波强度最小, 则此时的波程差为  $0.5\lambda$ 。

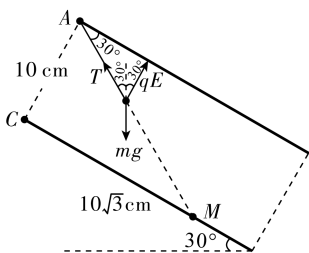
根据题意可知  $0.5\lambda = 30 \text{ cm}$ , 解得  $\lambda = 60 \text{ cm}$ , **A、B 错误**; 根据

题中声波强度的关系有  $\frac{(A_1 + A_2)^2}{(A_1 - A_2)^2} = \frac{400}{100}$ , 解得  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{3}{1}$ , **C 正**

**确, D 错误**。

#### 12. B 【命题点】电容器+带电体在电场中的受力和运动

【解析】闭合开关 S, 小球静止时, 对小球进行受力分析, 如图所示,



根据共点力平衡可知  $T = qE$ ,  $2qE \cos 30^\circ = mg$ , 解得  $E = \sqrt{3} \times 10^5 \text{ N/C}$ , **C 错误**; 剪断细线后, 小球在电场力和重力的共同

作用下 (点拨: 根据三力平衡, 小球所受重力和电场力的合力与原细线的拉力大小相等、方向相反), 沿直线向右下做初速度为零的匀加速运动到达 M 点, 三角形 ACM 是直角三

角形, 由几何关系知  $MC = \sqrt{3}AC = 10\sqrt{3} \text{ cm}$ , **A 错误**; 小球运动到 M 点的过程中, 电势能增加量等于克服电场力做的功,

有  $\Delta E_p = qE \times (AM - l_{\text{细线}}) \times \sin 30^\circ$ , 由几何知识可得  $AM =$

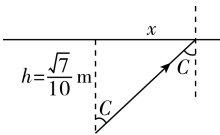
$\frac{AC}{\sin 30^\circ} = 20 \text{ cm}$ , 则  $\Delta E_p = \frac{3\sqrt{3}}{4} \times 10^{-4} \text{ J}$ , **B 正确**; 电路中的电

源为直流电源, 电容器在直流电路中相当于断路, 电容器稳

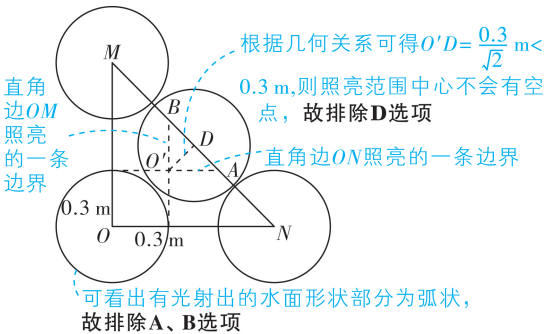
定后两板间电场强度不变,改变  $R$  的阻值不影响小球的运动,**D** 错误。

13. C 【命题点】光的折射、全反射

【解析】作出一个发光点发生全反射时的光路图如图所示,设发光点照亮的圆的半径为  $x$ 。



根据全反射公式  $\sin C = \frac{1}{n}$ , 根据几何关系得  $\frac{x}{h} = \tan C$ , 代入  $n = \frac{4}{3}$ , 联立解得  $x = 0.3 \text{ m}$ 。画出三角形灯带的照亮范围的示意图。



14. BD 【命题点】热力学定律

选项	分析	正误
A	根据热力学第二定律,可知在热传递中热量只能自发地从高温物体传递给低温物体,而不能自发地从低温物体传递给高温物体,需要外界做功才可以从低温物体传递给高温物体	×
B	液体的表面张力方向与液面相切,垂直于分界面	√
C	对于任何惯性参考系,牛顿力学的规律都具有相同的形式,这是经典力学的相对性原理	×
D	根据多普勒效应可知波源和观察者相互接近时,观察者观测到的波的频率变大 $\left( \text{点拨: } f' = \frac{v+v_{\text{人}}}{v-v_{\text{源}}} f \right)$ , 波源的频率不变,即观察到的波的频率大于波源频率	√

15. AD 【命题点】双缝干涉+光电效应

【解析】双缝干涉: 根据  $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$ , 可得电子的德布罗意波长

$\lambda = \frac{d}{L} \Delta x$ , 所以电子的动量  $p_e = \frac{h}{\lambda} = \frac{hL}{d\Delta x}$ , **A** 正确; 电子的动能

$E_k = \frac{p_e^2}{2m} = \frac{h^2 L^2}{2md^2 (\Delta x)^2}$ , **B** 错误。

**光电效应:**根据爱因斯坦光电效应方程有  $h\nu = W_0 + E_k$ , 光子

的能量  $E = h\nu = W_0 + E_k = W_0 + \frac{h^2 L^2}{2md^2(\Delta x)^2}$ , **C 错误**; 光子的动

量  $p = \frac{E}{c} = \frac{W_0}{c} + \frac{h^2 L^2}{2cmd^2(\Delta x)^2}$ , **D 正确**。

**16- I. (1) ①B(1分) ②C(1分) ③D(1分)**

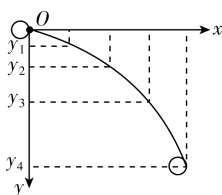
(2) 0.78(1分) 1.29(1分) <(2分)

**【命题点】探究平抛运动的特点实验+探究弹簧弹力与伸长量的关系**

**【解析】**(1) ①图 1 装置只能探究竖直方向的运动特点, **A、C 错误**; 改变小锤击打的力度, 多次重复实验, 避免特殊情况, **B 正确**。

②斜槽轨道  $M$  不光滑也可保证每次平抛的初速度相等, 但轨道末端必须水平, 以保证平抛的初速度在水平方向上, **A 错误**; 上下调节挡板  $N$  时, 每次是否等间距不影响测量结果, **B 错误**; 小钢球从斜槽  $M$  上同一位置静止滚下, 才能保证每次平抛的初速度都相等, **C 正确**。

③作出钢球在坐标系中的位置图像如图所示,



考虑钢球直径的影响, 当钢球球心越过  $x=0$  直线才开始算平抛运动。

第一段时间: 水平方向有  $x - \frac{1}{2}d = v_0 t_0$ , 竖直方向有  $y_1 =$

$\frac{1}{2}gt_0^2$ , 联立解得  $v_0 = \left(x - \frac{d}{2}\right)\sqrt{\frac{g}{2y_1}}$ , **A 错误**。

第二段时间: 水平方向有  $x = v_0 t$ , 竖直方向有  $y_2 - y_1 = gt_0 t +$

$\frac{1}{2}gt^2$ , 联立解得  $v_0 = \sqrt{\frac{g(3x^2 - xd)}{2(y_2 - y_1)}}$ , **B 错误**。

前四段时间: 水平方向有  $4x - \frac{d}{2} = v_0 t_{\text{总}}$ , 竖直方向有  $y_4 =$

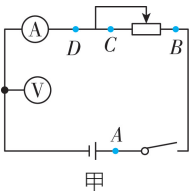
$\frac{1}{2}gt_{\text{总}}^2$ , 联立解得  $v_0 = \left(4x - \frac{d}{2}\right)\sqrt{\frac{g}{2y_4}}$ , **C 错误, D 正确**。

(2) 由题表中数据可知挂一个钩码后弹簧  $A$  的伸长量  $\Delta x_A = 8.53 \text{ cm} - 7.75 \text{ cm} = \mathbf{0.78 \text{ cm}}$ ; 弹簧  $B$  的伸长量  $\Delta x_B = 18.52 \text{ cm} - 16.45 \text{ cm} - 0.78 \text{ cm} = \mathbf{1.29 \text{ cm}}$  (易错: 注意题中  $x_B$  表示弹簧末端指向的刻度, 包含了弹簧  $A$  的形变量); 若挂钩码时由静止释放, 从弹簧无形变到题中指针所指位置这一过程, 钩码做简谐运动, 重力势能一部分转化为弹簧的弹性势能, 一部分转化为动能, 所以题中左式 **小于** 右式。

**16- II. (1) B(1分) 1.20(1分) (2) 1.50(1分) 1.04(2分)**

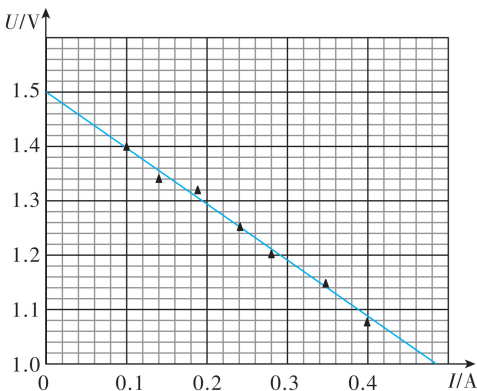
**【命题点】测量干电池的电动势和内阻实验**

【解析】(1)将实物图转化为电路图如图甲所示,



则可知电压表应并联在滑动变阻器两端,即  $a$  应接  $B$ ;根据题图 1 可知,电压表量程为  $3\text{ V}$ ,分度值为  $0.1\text{ V}$ ,所以需要估读到下一位,电压表示数为  $1.20\text{ V}$ 。

(2)根据  $E=U+Ir$  变形得  $U=-r \cdot I+E$ ,根据题图 3 中数据点作图如图乙所示,可得  $U=1.50\text{ V}$ ,  $r=|k|=\left|\frac{1.50-1.00}{0.48-0.00}\right|\Omega\approx 1.04\Omega$ 。



乙

### 16-Ⅲ. CD(2分)

【命题点】实验相关

【解析】电容器充电时电流逐渐减小, **A 错误**;用“油膜法测油酸分子的大小”实验中,滴入油酸酒精溶液后,应等油膜稳定之后再描下油膜轮廓, **B 错误**;光敏电阻阻值随光照强度增大而减小,热电阻阻值随温度升高而增大, **C 正确**;不装铁芯时,变压器效果减弱,但仍可输出电压, **D 正确**。

### 17. (1)不变 增大 (2)350 K (3)11 J

【命题点】气体状态变化

【解析】(1)气体从状态  $A$  到状态  $B$  温度不变,分子平均动能 **不变** (1分)

而体积减小,由玻意耳定律可得气体压强变大,则圆筒内壁单位面积受到的压力 **增大** (1分)

(2)初始时刻:活塞处于平衡状态,有  $mg+p_A S=p_0 S$  (1分)

解得  $p_A=1.00\times 10^5\text{ Pa}$ ,

$A\rightarrow B$ :气体发生等温变化,由玻意耳定律有  $p_A V_A=p_B V_B$  (1分)

解得  $p_B=1.2\times 10^5\text{ Pa}$ ,

$B\rightarrow C$ :气体发生等容变化,由查理定律有  $\frac{p_B}{T_B}=\frac{p_C}{T_C}$  (1分)

解得  $T_C=350\text{ K}$  (1分)

一题多解

理想气体状态方程

对于气体从  $A \rightarrow C$  过程, 由理想气体状态方程有  $\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_C V_C}{T_C}$ , 解得  $T_C = 350 \text{ K}$ 。

(3) 因为  $A \rightarrow B$  过程中温度不变, 所以气体内能不变, 所以  $A$  到  $C$  过程气体内能增加  $\Delta U = 25 \text{ J}$ ,

而  $A$  到  $C$  过程中, 气体吸热  $Q = 14 \text{ J}$ ,

由热力学第一定律有  $W + 14 \text{ J} = 25 \text{ J}$  (1分)

解得  $W = 11 \text{ J}$  (1分)

18. (1)  $10 \text{ m/s}$   $31.2 \text{ N}$  (2)  $0$  (3)  $0.2 \text{ m}$

【命题点】动能定理+弹簧连接体模型

【解析】(1) 滑块  $a$  从  $D$  点运动到  $F$  点过程, 由动能定理可得

$$mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_F^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (1 \text{ 分})$$

解得  $v_F = 10 \text{ m/s}$  (1分)

滑块  $a$  经过  $F$  点时, 有  $F_N - mg = m \frac{v_F^2}{R}$  (1分)

解得  $F_N = 31.2 \text{ N}$  (1分)

(2) 滑块  $a$  返回到  $B$  点过程中在传送带上一直做减速运动, 设滑块  $a$  与滑块  $b$  碰后的速度大小为  $v'_F$ , 从滑块  $a$  碰后到返回  $B$  点的过程, 由动能定理可得  $-mg \cdot 2R - \mu mgL =$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_F'^2 \quad (1 \text{ 分})$$

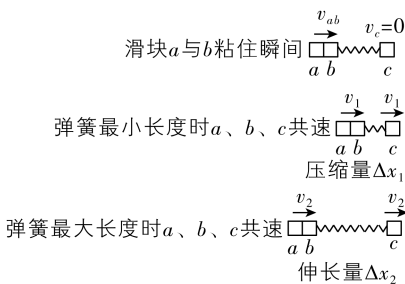
解得  $v'_F = 5 \text{ m/s}$ ,

滑块  $a$  和滑块  $b$  碰撞过程, 对  $a$ 、 $b$  由动量守恒定律可得  $mv_F = -mv'_F + 3mv_b$  (1分)

对  $a$ 、 $b$  由能量守恒定律可得  $\frac{1}{2}mv_F^2 = \frac{1}{2}mv_F'^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_b^2 + \Delta E$  (1分)

联立解得  $\Delta E = 0$  (1分)

(3) 【题图剖析】滑块弹簧模型运动过程分解图



滑块  $a$  和滑块  $b$  粘住瞬间, 弹簧处于原长; 然后  $a$ 、 $b$  减速,  $c$  加速, 当弹簧长度最小时,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三者速度均为  $v_1$ , 弹簧压缩量为  $\Delta x_1$ ; 然后  $a$ 、 $b$  先减速再加速,  $c$  先加速再减速, 当弹簧长度最大时,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三者速度均为  $v_2$ , 弹簧伸长量为  $\Delta x_2$ , 从弹簧长度最小到最大,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  组成的系统动量守恒, 可知  $v_1 = v_2$ , 由系统能量守恒结合弹性势能公式可知  $\Delta x_1 = \Delta x_2$ 。

滑块  $a$  和滑块  $b$  粘住过程,对  $a$ 、 $b$  组成的系统由动量守恒定律可得  $mv_F = (m+3m)v_{ab}$ ,解得  $v_{ab} = 2.5 \text{ m/s}$ 。

从滑块  $a$  和滑块  $b$  粘住瞬间到弹簧长度最小时,对  $a$ 、 $b$ 、 $c$  组成的系统由动量守恒定律可得  $(m+3m)v_{ab} = (m+3m+2m)v_1$ ,

$$\text{解得 } v_1 = \frac{5}{3} \text{ m/s} \quad (1 \text{ 分})$$

对  $a$ 、 $b$ 、 $c$  和弹簧组成的系统由能量守恒定律可得

$$\frac{1}{2}(m+3m)v_{ab}^2 = \frac{1}{2}(m+3m+2m)v_1^2 + \frac{1}{2}k(\Delta x_1)^2 \quad (1 \text{ 分})$$

解得弹簧最大压缩量  $\Delta x_1 = 0.1 \text{ m}$ ,

则弹簧最大伸长量  $\Delta x_2 = \Delta x_1 = 0.1 \text{ m}$ ,

则弹簧最大长度与最小长度之差为  $\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 0.2 \text{ m}$

(1 分)

$$19. (1) 3Mg \quad \frac{v_0^2}{4g} \quad (2) \frac{6Mg}{I}(v_0 - 2gt), t \leq \frac{v_0}{2g}$$

$$(3) U = IR - \frac{6Mg}{I}(v_0 - 2gt), t \leq \frac{v_0}{2g} \quad \frac{I^2 R v_0}{2g} - \frac{3}{4} M v_0^2$$

$$(4) \text{火箭和导电杆的重力势能和动能} \quad \frac{3}{4} M v_0^2$$

【命题点】电磁感应+单杆模型

【解析】(1) 火箭和导电杆受到的安培力为  $F = B_1 I d = 3Mg$

(1 分)

对火箭和导电杆由牛顿第二定律可得  $F - Mg = Ma$ ,

解得  $a = 2g$ , 方向竖直向上,

导电杆的速度由  $v_0$  减为 0 的过程,由运动学公式可得

$$0 - v_0^2 = -2aL, \text{解得 } L = \frac{v_0^2}{4g} \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 在  $t$  时刻,导电杆的速度大小为  $v = v_0 - at = v_0 - 2gt$  (1 分)

在接下来的  $\Delta t$  时间内,对导电杆和导轨围成的闭合回路,由法拉

$$\text{第电磁感应定律可得 } E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{B_2 \Delta S}{\Delta t} = \frac{B_2 d \left[ v \Delta t - \frac{1}{2} a (\Delta t)^2 \right]}{\Delta t} = B_2 dv - B_2 dg \Delta t \quad (1 \text{ 分})$$

当  $\Delta t \rightarrow 0$  时,  $E = B_2 dv = \frac{6Mg}{I}(v_0 - 2gt), t \leq t_{\text{减}} = \frac{v_0}{2g}$ , 方向为顺

时针(易错:导电杆位置的磁感应强度为  $B_1$ ,导电杆和导轨围成的闭合回路磁感应强度为  $B_2$ ,两者不等,因此需要根据法拉第电磁感应定律推导感应电动势,不能直接应用  $E = B_1 dv$  的推论) (1 分)

(3) 在减速过程中,装置  $A$  和回路感应电动势一起为导电杆供电,设装置  $A$  的输出电压  $U$  为顺时针方向,则对导电杆由

$$\text{闭合电路欧姆定律可得 } I = \frac{E + U}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{则 } U = IR - \frac{6Mg}{I}(v_0 - 2gt), t \leq \frac{v_0}{2g} \quad (1 \text{ 分})$$

对火箭和导电杆、装置  $A$  构成的系统,从火箭进入导轨到速度为 0 的过程,由能量守恒定律可得  $W + \frac{1}{2} M v_0^2 + MgL =$



$$I^2 R t_{\text{减}}, \text{解得装置 A 输出的能量 } W = \frac{I^2 R v_0}{2g} - \frac{3}{4} M v_0^2 \quad (1 \text{ 分})$$

(4) 装置 A 可回收的能量来源为**火箭和导电杆的重力势能和动能**, 若  $R$  为 0, 该装置不会产生电热, 因此火箭和导电杆重力势能和动能全部用于回收 (1 分)

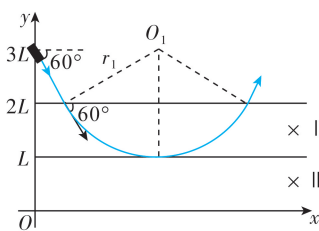
$$E_{\text{回收}} = \frac{1}{2} M v_0^2 + M g L \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } E_{\text{回收}} = \frac{3}{4} M v_0^2 \quad (1 \text{ 分})$$

20. (1)  $\frac{2qB_1 L}{m}$      $\frac{2\pi m}{3qB_1}$     (2)  $\frac{4qB_1 L}{m}$     (3) 60%

**【命题点】**带电粒子在磁场中的运动+动量定理

**【解析】**(1) 要使离子不进入区域 II, 则离子速度最大时的轨迹恰与两区域的边界相切, 如图甲所示, 可知速度偏向角为  $120^\circ$ ,



甲

$$\text{离子在磁场中的运动时间为 } t = \frac{1}{3} T = \frac{2\pi m}{3qB_1} \quad (1 \text{ 分})$$

由几何关系可知  $r_1 - r_1 \cos 60^\circ = L$ , 解得离子在区域 I 的轨迹半径  $r_1 = 2L$  (1 分)

$$\text{由洛伦兹力充当向心力有 } qB_1 v_1 = m \frac{v_1^2}{r_1} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } v_1 = \frac{2qB_1 L}{m} \quad (1 \text{ 分})$$

### 一题多解 动量定理

离子进入磁场的初速度可分解沿  $x$  轴和沿  $y$  轴两个方向:

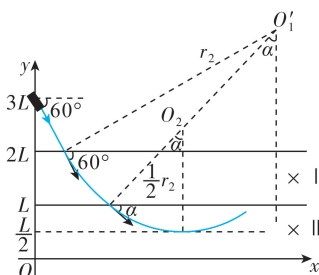
$$v_{x0} = \frac{v_1}{2}, v_{y0} = \frac{\sqrt{3}}{2} v_1,$$

离子在到达区域 I、II 的边界过程中, 水平方向上由动量定理可得  $\sum qv_y B_1 \Delta t = mv_1 - mv_{x0}$ ,

其中  $\sum v_y \Delta t = L$ ,

$$\text{解得 } v_1 = \frac{2qB_1 L}{m}.$$

(2) 根据第(1)问分析可知, 离子在区域 II 中的轨迹半径为 I 中的一半, 作出轨迹图如图乙所示,



乙

设离子在区域Ⅰ的轨迹半径为  $r_2$ , 在区域Ⅱ中, 由几何关系

$$\text{可知 } \frac{1}{2}r_2 - \frac{1}{2}r_2 \cos \alpha = \frac{L}{2} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } \cos \alpha = \frac{r_2 - L}{r_2},$$

$$\text{在区域Ⅰ中, 由几何关系可知 } r_2 \cos \alpha - r_2 \cos 60^\circ = L \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{联立解得 } r_2 = 4L,$$

$$\text{由洛伦兹力充当向心力有 } qv_2 B_1 = m \frac{v_2^2}{r_2} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } v_2 = \frac{4qB_1 L}{m} \quad (1 \text{ 分})$$

### 一题多解 动量定理

能到达  $y = \frac{L}{2}$  处的离子速度最小, 则离子在区域Ⅱ中的运

动轨迹与直线  $y = \frac{L}{2}$  刚好相切, 离子在水平方向由动量定

理可得  $\sum qv_y B_1 \Delta t + \sum qv_y B_2 \Delta t' = mv_2 - mv_2 \cos 60^\circ$ , 其中

$$\sum v_y \Delta t' = \frac{L}{2}, \text{ 解得 } v_2 = \frac{4qB_1 L}{m}.$$

(3) 设离子刚好能进入第四象限的最小速度为  $v_3$ , 则离子在区域Ⅱ中的运动轨迹刚好与  $x$  轴相切, 在区域Ⅰ中, 由动量定理得  $qv_y B_1 \Delta t = B_1 q \Delta y = m \Delta v_{x1}$ ,

$$\text{则 } \sum B_1 q \Delta y = \sum m \Delta v_{x1}, \text{ 即 } B_1 q L = m(v_{\text{出}1x} - v_3 \cos 60^\circ),$$

$$\text{在区域Ⅱ中, 由动量定理得 } \frac{B_1}{L} \cdot y \cdot qv_y \Delta t = \frac{B_1}{L} y \cdot q \Delta y = m \Delta v_{x2},$$

$$\text{则 } \sum \frac{B_1}{L} qy \Delta y = \sum m \Delta v_{x2}, \text{ 即 } \frac{B_1}{L} \cdot q \cdot \frac{L^2}{2} = m(v_3 - v_{\text{出}1x}),$$

$$\text{故在区域Ⅰ和区域Ⅱ中有 } B_1 q L + \frac{B_1}{L} \cdot q \cdot \frac{L^2}{2} = m(v_3 - v_3 \cos 60^\circ) \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } v_3 = \frac{3qB_1 L}{m} \quad (1 \text{ 分})$$

则进入第四象限的离子数与总离子数之比  $\eta =$

$$\frac{\frac{6B_1 q L}{m} - \frac{3B_1 q L}{m}}{\frac{6B_1 q L}{m} - \frac{B_1 q L}{m}} \times 100\% = 60\% \quad (1 \text{ 分})$$