

物理真题解析

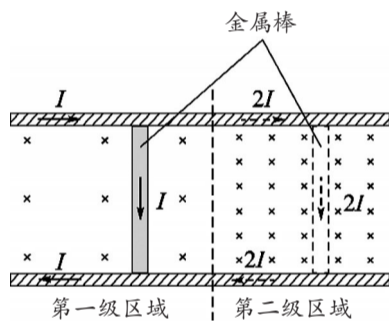
2023年北京高中学业水平等级考 物理卷典型试题评析(六)

北辰

(续 1745 期第 10 版)

【2023 年高考物理原题 18】 2022 年,我国阶段性建成并成功运行了“电磁撬”,创造了大质量电磁推进技术的世界最高速度纪录。

一种两级导轨式电磁推进的原理如图所示。两平行长直金属导轨固定在水平面,导轨间垂直安放金属棒。金属棒可沿导轨无摩擦滑行,且始终与导轨接触良好。电流从一导轨流入,经过金属棒,再从另一导轨流回,图中电源未画出。导轨电流在两导轨间产生的磁场可视为匀强磁场,磁感应强度 B 与电流 i 的关系式为 $B=ki(k$ 为常量)。金属棒被该磁场力推动。



当金属棒由第一级区域进入第二级区域时,回路中的电流由 I 变为 $2I$ 。已知两导轨内侧间距为 L ,每一级区域中金属棒被推进的距离均为 s ,金属棒的质量为 m 。求:

- (1) 金属棒经过第一级区域时受到安培力的大小 F 。
- (2) 金属棒经过第一、二级区域的加速度大小之比 $a_1 : a_2$ 。
- (3) 金属棒从静止开始经过两级区域推进后的速度大小 v 。

【分析】 多源轨道炮的原理图如图 1 所示,在两条长长的、互相平行的导体轨道上分布着若干个电源。当弹丸电枢到达第一级电源 G_1 的供电位置时,开关 S_1 闭合,此时在电枢和部分轨道内有电流 i_1 通过,弹丸开始被加速,当电枢被推进,距离到达第二电源 G_2 的供电区域时,传感器(图中未画出)指令第二电源开关 S_2 闭合,电源放电,又有 i_2 通过电枢和部分轨道,此时 i_1 和 i_2 同向地流过电枢和部分轨道,在电枢处形成的磁场大小 B 与流过的总电流 I 成正比,即 $B=ki$,其中 k 为比例常量。按照这种工作原理,电枢每被推进距离 s ,下一级电源即闭合。由此,总共 n 级电源逐级放电,使弹丸得到充分加速。考虑到本题的考查定位,题目将“多级”简化为“两级”;将研究对象“导轨电枢”直接用学生熟知的“金属棒”替代,将导轨电流在导轨间产生的磁场,看作是匀强磁场;图示中去掉了电源,明确给出两级区域中金属棒和导轨中的电流值均为 I ,简化后的原理图如题中所示。经简化后,学生会很快将熟悉的模型和规律迁移到问题的解决中。

解决问题的过程中,首先学生只需理解金属棒所在匀强磁场的磁感应强度 B 与电流 i 的关系为 $B=ki$,并将其代入安培力公式,即可得到第(1)问的结论: $F=BIL=ki^2L$ 。在第(1)问基础上,学生需正确理解金属棒从第一级区域进入第二级区域时,电流会发生变化,再结合牛顿第二定律, $a_1 = \frac{kI^2L}{m}$, $a_2 = \frac{k(2I)^2L}{m}$,即可得到第(2)问的结论 $a_1 : a_2 = 1 : 4$ 。第(3)问至少有两种解决

方法。从功能关系入手,学生可以将金属棒经过两个区域的过程中安培力的总功表达出来,再借助动能定理 $kI^2L \cdot s + k(2I)^2L \cdot s = \frac{1}{2}mv^2 - 0$,即可求解。另外,金属棒在每一区域中的运动均为匀加速直线运动,学生可以运用运动学公式解决问题。先求出金属棒经过第一区域推进后的瞬时速度 $v_1 = \sqrt{2a_1s}$,再运用公式 $v_2^2 - v_1^2 = \sqrt{2a_2s}$,进一步求出金属棒经过第二级区域推进后的速度 v 。利用运动学公式和牛顿第二定律解答起来相对运用动能定理较为繁琐,对于即将高中毕业的考生应该具备从功能的角度来整体研究问题的能力,在物理观念上要从运动与相互作用观向能量观发展。

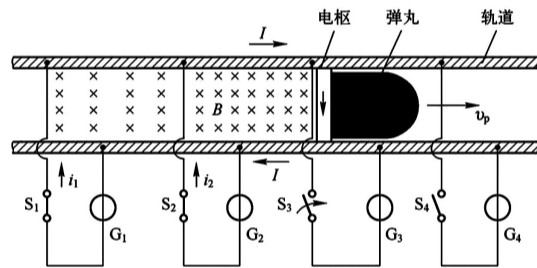
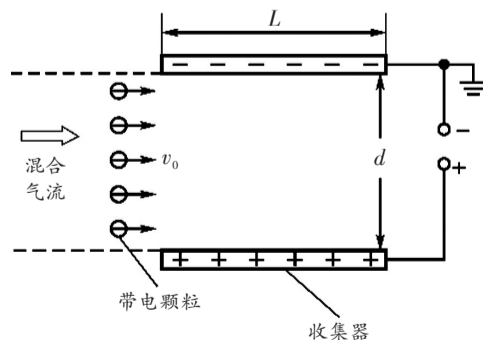


图 1

本题延续了北京卷试题以往的特色,基于实际情境考查考生获取信息、模型建构的能力,学生迁移能力要求较高。引导学生积极关注国家重大科技发展和技术应用,促使学生应用所学知识,对国家大型科研设备认识、理解及构建图景,对培养学生科学思维和科学探究能力有积极的促进作用;对提升学生科学态度与责任,树立正确的社会主义核心价值观具有不可替代的作用。

【2023 年高考物理原题 19】 某种负离子空气净化原理如图所示。由空气和带负电的灰尘颗粒物(视为小球)组成的混合气流进入由一对平行金属板构成的收集器。在收集器中,空气和带电颗粒沿板方向的速度 v_0 保持不变。在匀强电场作用下,带电颗粒打到金属板上被收集。已知金属板长度为 L ,间距为 d 。不考虑重力影响和颗粒间相互作用。



(1) 若不计空气阻力,质量为 m 、电荷量为 $-q$ 的颗粒恰好全部被收集,求两金属板间的电压 U_1 。

(2) 若计空气阻力,颗粒所受阻力与其相对于空气的速度 v 方向相反,大小为 $f=krv$,其中 r 为颗粒的半径, k 为常量。假设颗粒在金属板间经极短时间加速达到最大速度。

a. 半径为 R 、电荷量为 $-q$ 的颗粒恰好全部被收集,求

两金属板间的电压 U_2 。

b. 已知颗粒的电荷量与其半径的平方成正比。进入收集器的均匀混合气流包含了直径为 $10\mu\text{m}$ 和 $2.5\mu\text{m}$ 的两种颗粒,若 $10\mu\text{m}$ 的颗粒恰好 100% 被收集,求 $2.5\mu\text{m}$ 的颗粒被收集的百分比。

【参考答案】

(1) 设颗粒通过收集器的时间为 t $L = v_0 t$

当恰好全部被收集时 $d = \frac{1}{2} \frac{qU_1}{md} t^2$

得 $U_1 = \frac{2md^2 v_0^2}{qL^2}$

(2) a. 设半径为 R 的颗粒相对于流动空气的最大速度为 v_1 $\frac{qU_2}{d} = kRv_1$

根据题意,颗粒在收集器中可视为做匀速直线运动,当恰好全部被收集时 $\frac{L}{v_0} = \frac{d}{v_1}$

得 $U_2 = \frac{kRd^2 v_0}{qL}$

b. 设半径为 r 的颗粒相对于流动空气的最大速度为 v_2 $\frac{qU_2}{d} = kr v_2$

根据题意 $q = k'r^2$ (k' 为常量)

得 $v_2 = \frac{k'rU_2}{kd}$

沿金属板方向有 $L = v_0 t$

颗粒在经过收集器时垂直金属板方向的位移

$y = v_2 t = \frac{k'rLU_2}{kdv_0}$

得 $y \propto r$

所以 $10\mu\text{m}$ 的颗粒与 $2.5\mu\text{m}$ 的颗粒经过收集器时在垂直于金属板方向的位移之比为 4:1。故当 $10\mu\text{m}$ 的颗粒恰好 100% 被收集, $2.5\mu\text{m}$ 的颗粒被收集的百分比为 25%。

【分析】 题目以某种负离子空气净化器工作原理为素材,体现了物理与科技、生活及环境的紧密联系。负离子空气净化器通常由微风扇、高压负离子发生器、灰尘颗粒收集器组成。微风扇将未过滤的空气吹入高压负离子发生器,进而使灰尘等颗粒物带负电,空气和带电颗粒物组成的混合气流以相同的速度进入收集器,在静电力作用下,带电颗粒物从空气中被分离和收集,从而达到净化空气的目的。本题在注重对考生关键能力进行全面考查的同时,侧重考查考生从实际的收集器收集带电颗粒物的情境中分析问题的本质属性,考核考生灵活运用物理规律和方法解决实际问题的能力、新知识的学习应用能力以及物理思想方法的迁移能力。

本题是力学和电学知识相结合的分析综合计算题。主要考查考生的建模、推理、联想、比较和分析综合等多方面的能力,是以带电灰尘颗粒在匀强电场及空气阻力中的运动过程为研究重点,通过对匀变速运动、匀速运动、牛顿运动定律、静电力、相对运动、运动的合成与分解等知识点及新知识的学习运用能力的考查,以及对考生运用物理思想方法化繁为简能力的考查,考核考生对上述多种能力的综合体现。

(未完待续)