

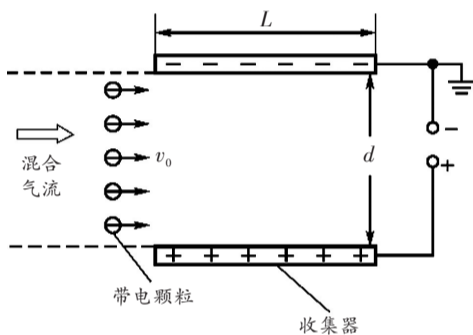
物理真题解析

2023年北京高中学业水平等级考
物理卷典型试题评析(七)

北辰

(续1747期第9版)

【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。

【分析】本题设问由易到难,层级递进,任务明确。

第(1)小问,是不计空气阻力时收集板工作电压的计算。在沿金属板方向,带电颗粒保持匀速运动不变,在两金属板间,带负电的颗粒在静电力作用下,在垂直于金属板方向加速向带正电的金属板运动,带电颗粒沿金属板方向做匀速直线运动,垂直于金属板方向上做匀加速直线运动。要求考生根据必须掌握的基本力学和电学规律,求得带电颗粒恰好被全部收集时的工作电压。

第(2)a小问,考虑空气阻力时,计算带电灰尘颗粒全部被收集的情况下,收集板的工作电压。实际上灰尘颗粒受到空气阻力是不能忽略的,这一问更符合实际情况。而空气阻力对考生来说应该不陌生,在教材必修一,第63页曾介绍流体的阻力,并指出,流体的阻力跟物体相对于流体的速度有关,速度越大,阻力越大。雨滴在空气中下落,速度越来越大,所受空气阻力也越来越大,当阻力增加到跟雨滴所受的重力相等时,二力平衡,雨滴匀速下落。在教材必修一,第108页球形物体空气阻力大小与速率关系的研究中指出,让气球从空中下落,随着下落速度的增大,气球所受的空气阻力也增大,当空气阻力增大到跟重力相等时,气球便做匀速运动。这一问的难点在于,颗粒所受阻力与其相对于空气的速度 v 方向相反,这里的 v 是相对于空气的速度,类似

于教材必修二第65页提到的河中的船相对于水的速度。考生只要想清楚,考虑空气阻力时,参考系应选择流动的空气,接下来的求解就显而易见。由于空气和带电颗粒在收集器中沿金属板方向的速度 v_0 保持不变,在沿金属板方向上无相对速度,所以颗粒受到的空气阻力是沿垂直于金属板的方向,并与其受到的静电力的方向相反。不考虑重力的影响,对于带电颗粒在垂直于金属板的方向的运动,类似于考生熟悉的空气中物体的自由下落。当空气阻力与静电力平衡时,颗粒在垂直于金属板的方向也做匀速直线运动,此时速度达到最大,通常称之为带电颗粒的驱进速度(收尾速度)。然后根据运动的合成规律可以求得有空气阻力时收集板的工作电压。

第(2)b小问,由于灰尘颗粒的所带电荷量 q 与其半径 r 的平方成正比,让考生通过分析了解对直径 $10\mu\text{m}$ 和 $2.5\mu\text{m}$ 的两种灰尘颗粒,收集器在相同的工作电压下对哪一种颗粒的收集效率更高,实际上这一问是让考生能够对净化器的收集器进行优化设计。

上述问题,不仅一脉相承,也符合科学研究的探索路径。实际问题往往是复杂的,建立物理模型就是把实际问题理想化,考虑主要因素如空气阻力、颗粒大小及所能带的电荷量的影响。同时忽略一些次要因素,例如,带电颗粒在有空气阻力时,在静电力的作用下,可以很快达到驱进速度,所以本题计算时可不考虑之前的加速过程。本题的物理情境要求考生建立每粒灰尘颗粒的匀速直线运动的模型,即带电灰尘颗粒一进入收集器就瞬间达到最大速度,在沿板方向和垂直板方向均做匀速直线运动,而且它们是整体平移的模型,同时也可将灰尘颗粒在匀强电场中的运动与雨滴下落、小船过河等的运动类比,建立类似的物理模型。真实情况下,收集板间直流工作电压很高,带电灰尘颗粒在垂直板方向上的确在很短时间和极小空间内就达到最大速度。

题目要求考生理解相关问题的物理过程与本质,建立物理模型,通过运用物理规律和方法进行求解。在解题的过程中要求考生在领会题意的基础上,对题目给出信息进行分析判断,得出收集器中带电颗粒运动情况的物理图像。根据问题的要求和目标,考生要抓住主要的物理条件和物理关系,以及主要的物理过程和情境,把问题与熟悉的物理知识联系起来,把实际问题简化、抽象为恰当的物理模型,用学过的知识和方法解决问题。

本题所涉及的是最基本的物理模型,解决这类理论联系实际的问题时,最基础的物理知识往往是最有价值的,这才是物理的本源,是我们应该坚持的教学方向与策略。正如教育家布鲁姆所说:“考生学到的知识越是基础,该知识对新问题的适应性就越广,迁移范围就越普遍。”教育应该为具有不同禀赋和不同潜质的考生提供一个开发潜能的机会,选择最适合他们发展的教育,为每一位考生开辟成才的道路,积蓄成功的力量。人的潜能犹如一座待开发的金矿,蕴藏着无穷的能量。

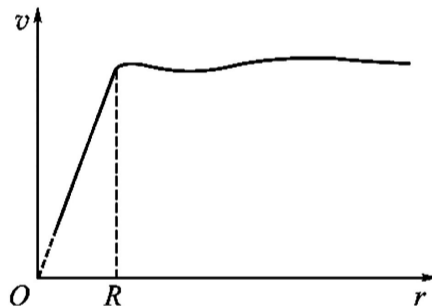
【2023年高考物理原题20】螺旋星系中有大量的恒星和星际物质,主要分布在半径为 R 的球体内,球体外仅有极少的恒星。球体内物质总质量为 M ,可认为均匀

分布。球体内外的所有恒星都绕星系中心做匀速圆周运动,恒星到星系中心的距离为 r ,万有引力常量为 G 。

(1)求 $r>R$ 区域的恒星做匀速圆周运动的速度大小 v 与 r 的关系。

(2)根据电荷均匀分布的球壳内试探电荷所受库仑力的合力为零,利用库仑力与万有引力的表达式的相似性和相关力学知识,求 $r\leq R$ 区域的恒星做匀速圆周运动的速度大小 v 与 r 的关系。

(3)科学家根据实测数据,得到此螺旋星系中不同位置的恒星做匀速圆周运动的速度大小 v 随 r 的变化关系图像,如图所示。根据在 $r>R$ 范围内的恒星速度大小几乎不变,科学家预言螺旋星系周围($r>R$)存在一种特殊物质,称之为暗物质。暗物质与通常的物质有引力相互作用,并遵循万有引力定律。求 $r=nR$ 内暗物质的质量 M' 。



【参考答案】

(1)设恒星质量为 m

$$\text{由万有引力提供向心力 } \frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\text{得 } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

(2)螺旋星系的质量密度 $\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}$

$$\text{恒星受力 } F = \frac{GM_r m}{r^2}$$

$$\text{其中 } M_r = \rho \frac{4}{3}\pi r^3 = M \frac{r^3}{R^3}$$

由螺旋星系对恒星的万有引力提供向心力

$$\frac{GM_r m}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\text{得 } v = \sqrt{\frac{GM}{R^3}} \cdot r$$

(3)由(2)中结果,可知当 $r=R$ 时, $v_R = \sqrt{\frac{GM}{R}}$

由于在 $r>R$ 区域内,恒星做匀速圆周运动,所以暗物质的质量为球对称分布。

根据“均匀带电球体(或球壳)在球的外部产生的电场,与一个位于球心、电荷量相等的点电荷在同一点产生的电场相同”,类比可得,质量均匀分布的球体(或球壳)对球外某物体的万有引力,与一个位于球心、质量与球体(或球壳)相同的质点对球外该物体的万有引力相等。

对 $r=nR$ 处的恒星,由万有引力提供向心力

$$\frac{GMm}{(nR)^2} + \frac{GM'm}{(nR)^2} = \frac{mv^2}{nR}$$

$$\text{得 } M' = (n-1)M$$

(未完待续)