

从“比荷”视角看 2018 年全国卷理综物理电学计算题

徐声雄

(潮州市教育局教研室 广东 潮州 521000)

(收稿日期:2018-06-22)

“比荷”是指带电粒子的电荷量和其质量的比值,也叫“荷质比”.是高中物理教学的重要概念,是基本粒子的重要数据之一,而这一数据通常被设计为电学问题尤其是计算题题干的一个未知量.2018 年全国卷 3 套卷均出现了电学计算题,且都是电磁场组合问题,在核心素养引领下的高考这些题究竟有何特点,上述的“比荷”这个概念在高考题中是如何体现的,下面对这 3 道物理电学计算题进行分析,以期能为读者教学带来新的思考.

1 “比荷”确定的粒子运动

【例 1】(2018 高考全国 I 卷第 25 题) 如图 1 所示,在 $y > 0$ 的区域存在方向沿 y 轴负方向的匀强电场,场强大小为 E ,在 $y < 0$ 的区域存在方向垂直于 xOy 平面向外的匀强磁场.一个氕核 ${}^1_1\text{H}$ 和一个氘核 ${}^2_1\text{H}$ 先后从 y 轴上 $y = h$ 点以相同的动能射出,速度方向沿 x 轴正方向.已知 ${}^1_1\text{H}$ 进入磁场时,速度方向与 x 轴正方向的夹角为 60° ,并从坐标原点 O 处第一次射出磁场. ${}^1_1\text{H}$ 的质量为 m ,电荷量为 q ,不计重力.求

- (1) ${}^1_1\text{H}$ 第一次进入磁场的位置到原点 O 的距离;
- (2) 磁场的磁感应强度大小;
- (3) ${}^2_1\text{H}$ 第一次离开磁场的位置到原点 O 的距离.

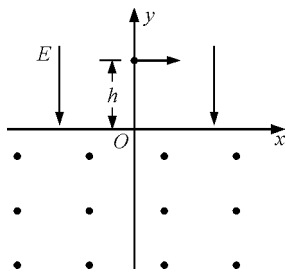


图 1 例 1 题图

$$\text{答案: (1) } s_1 = \frac{2\sqrt{3}}{3}h;$$

$$(2) B = \sqrt{\frac{6mE}{qh}};$$

$$(3) s'_2 - s_2 = \frac{2\sqrt{3}}{3}(\sqrt{2} - 1)h.$$

通过分析可以建立起常见的运动模型——先平抛运动后圆周运动,气核 ${}^1_1\text{H}$ 运动轨迹如图 2 所示.

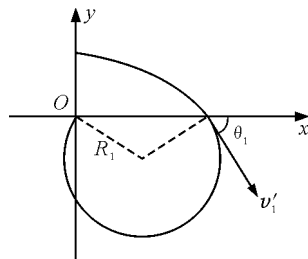


图 2 运动模型下气核的运动轨迹

题干给出的物理量是 $q, m, E, h, \theta_1 = 60^\circ, E_k$, 其中 E 属电场属性, $h, \theta_1 = 60^\circ$ 均属空间几何关系, 而 q, m, E_k 3 个量属粒子本身的属性. 需要注意的是: 题干中已说明氕核 ${}^1_1\text{H}$ 跟氘核 ${}^2_1\text{H}$ 动能相同, E_k 实为未知量, 在(1)、(2) 问求解时需假设出中间量初速度 v_1 , 列出电场中类平抛运动的规律、在磁场中圆周运动的规律便能得出(1)、(2) 问的结论, 且能同时求出作为中间量的 v_1 .

从第(3) 问的设问可以看出, 题给的两粒子氕核 ${}^1_1\text{H}$ 和氘核 ${}^2_1\text{H}$ 之间的区别正是“比荷”, “比荷”不同会导致两粒子的运动轨迹可能不同. 由于有(1)、(2) 问做铺垫且 E_k 相同, 对于表述第二个粒子属性的物理量 q_2, m_2, v_2 , 均可视为已知, 两场的属性 E, B 也为已知, 按照上述已给的物理量回答.

(1) 氕核 ${}^1_1\text{H}$ 平抛运动末状态处于 x 轴的哪个位

置?

(2) 运动的方向与 x 轴的夹角是多少?

(3) 在磁场中运动半径是多少?

这3个问题,第(3)问便能迎刃而解.

通过上面的分析,我们不防将题给物理量分为3类:一类为表示粒子属性的物理量如 q, m ; 二类为表示场的物理量如 E, B ; 三类为表示时空关系的物理量如 h, t . 而问题对应的逻辑便是粒子(一类)与场(二类)之间的相互作用,产生加速度,结合粒子初速度便能在一定时间空间(三类)内走出一定的运动轨迹. 如气核 ${}^1_1\text{H}$ 第一阶段在电场中运动的数学表述便是

$$a = \frac{Eq}{m} \quad (1)$$

$$h = \frac{1}{2}at^2 \quad (2)$$

$$s = vt \quad (3)$$

其中式(1)便表示两者关系,式(2)、(3)两式表示空间的几何关系. 而题目的设问无非是就三类物理量中的某几个作为已知量,剩下一个作为求解的未知量,如(1)、(3)问是以空间位置作为未知量,(2)问是以场的属性作为求解的未知量.

这里要特别注意的是粒子具有质量和电量双重属性,且在电场中受力特点表现如下,电场中

$$Eq = ma$$

或

$$qU = \frac{1}{2}mv^2$$

磁场中

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

通过化简有

$$a = \frac{Eq}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2Uq}{m}}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

不难发现,无论在电场中还是磁场中运动,关于描述粒子属性的物理量 m 和 q ,几乎都是同时出现的,且如一个量处于表达式的分母位置,那么另一个必定处于表达式的分子位置. 例如气核 ${}^2_1\text{H}$ 与氦核 ${}^4_2\text{He}$ 在同一电场中运动,只要初速度是相同的,其轨迹是没有区别的,在磁场中运动也具有同样的特点. 可以看

出,教材在原已定义了 m 和 q 的基础上还引入一新物理量“比荷”,并非多此一举.

上述例1的(1)、(2)问是属于粒子本身属性“比荷”确定的题目,而第(3)问更可体现出“比荷”在粒子运动所起的关键性作用. 但如果“比荷”在题给条件中不确定,那问题又该如何解决? 下面从Ⅱ卷Ⅲ卷的两道题来看“比荷”不确定的高考题设计.

2 “比荷”不确定的粒子运动

【例2】(2018 高考全国Ⅲ卷第24题) 如图3所示,从离子源产生的甲、乙两种离子,由静止经加速电压 U 加速后在纸面内水平向右运动,自 M 点垂直于磁场边界射入匀强磁场,磁场方向垂直于纸面向里,磁场左边界竖直. 已知甲种离子射入磁场的速度大小为 v_1 ,并在磁场边界的 N 点射出;乙种离子在 MN 的中点射出; MN 长为 l . 不计重力影响和离子间的相互作用. 求:

- (1) 磁场的磁感应强度大小;
- (2) 甲、乙两种离子的比荷之比.

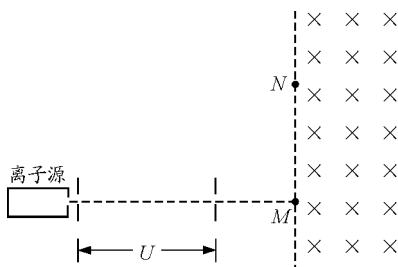


图3 例2题图

答案:

$$(1) B = \frac{4U}{lv_1}$$

$$(2) 1:4.$$

【例3】(2018 年高考全国Ⅱ卷第25题) 一足够长的条状区域内存在匀强电场和匀强磁场,其在 xOy 平面内的截面如图4所示:中间是磁场区域,其边界与 y 轴垂直,宽度为 l ,磁感应强度的大小为 B ,方向垂直于 xOy 平面;磁场的上、下两侧为电场区域,宽度均为 l ,电场强度的大小均为 E ,方向均沿 x 轴正方向; M, N 为条形区域边界上的两点,它们的连线与 y 轴平行. 一带正电的粒子以某一速度从 M 点沿 y 轴正方向射入电场,经过一段时间后恰好以从 M 点入射的速度从 N 点沿 y 轴正方向射出. 不计重力.

- (1) 定性画出该粒子在电磁场中运动的轨迹;
- (2) 求该粒子从M点射入时速度的大小;
- (3) 若该粒子进入磁场时的速度方向恰好与x轴正方向的夹角为 $\frac{\pi}{6}$,求该粒子的比荷及其从M点运动到N点的时间.

轴正方向的夹角为 $\frac{\pi}{6}$,求该粒子的比荷及其从M点运动到N点的时间.

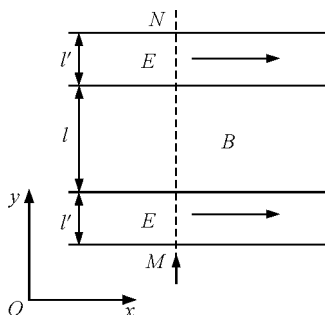


图4 例3题图

答案:

(1) 图略;

$$(2) v_0 = \frac{2El'}{Bl};$$

$$(3) \frac{q}{m} = \frac{4\sqrt{3}El'}{B^2 l^2}, t' = \frac{Bl}{E} \left(1 + \frac{\sqrt{3}\pi l}{18l'} \right).$$

对于例2的第(1)问,由 $q_1 v_1 B = m_1 \frac{v_1^2}{R_1}$ 可知,若

要求出B就需要求出 m_1 和 q_1 ,严格来说是 $\frac{q_1}{m_1}$,而 $\frac{q_1}{m_1}$ 可以在电场中加速的规律中找到,求解思路分步如下:

(1) 假设质量为 m_1 ,电荷量为 q_1 ;

(2) 采用 $q_1 U = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$ 求出 $\frac{q_1}{m_1}$ 的表达式;

(3) 将求出 $\frac{q_1}{m_1}$ 的表达式代入 $q_1 v_1 B = m_1 \frac{v_1^2}{R_1}$ 便可消去 m_1, q_1 ,求出B.

例3的第(1)问同样需要先假设出 q 和 m ,并且在运算中消去,粒子运动分析如图5所示.求解思路如图6所示.

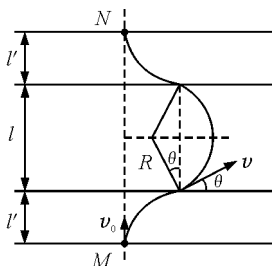


图5 运动分析

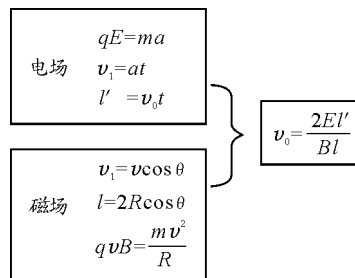


图6 解题思路

上述例2和例3均是“比荷”作为中间未知量的典型题,从以上分析可以看出要解决此题,需要对表述粒子本身性质数据 $\frac{q}{m}$ 有比较深刻的认识,能将其看成一个量而非两个,不然从数学角度是无法求解的,如例2中两个方程无法求解出 B, q, m 3个未知量,但能求出 B 和 $\frac{q}{m}$.

仔细观察题目后续问题还可发现:例2和例3都有同样的特点,前一问的设计是以比荷作为中间未知量,但却在下一问做出相应的提示,例2的下一问是求甲、乙两种离子的比荷之比,例3的下一问则是直接要求比荷的具体表达式.

以上是从“比荷”视角对2018年全国卷理综电学计算题的分析.其实在物理教材中“比荷”是被多次提及的.以人教版教材为例,首提“比荷”概念是在选修3-1第一章第1节(元电荷)——“电子的电荷量 e 与电子的质量 m_e 之比,叫做电子的比荷”.后面的章节又有多次涉及,如选修3-5第十八章第1节(电子的发现)以“思考与讨论”的形式让学生经历科学家科学探究的历程,通过实验探究,科学推理多种形式结合,让学生求出气体放电管中阴极射线的比荷.然而这么重要的一个物理概念,在教学中却常被我们束之高阁,其原因涉及多个方面,有教学中对此概念的挖掘不到位,也有被采用作典例的习题本身设计的不全面等.

高考试题是我们教学最好的典例,本年度高考3道电学计算题情景学生并不陌生,但却无从下手,其中有一原因是命题者能做到让“陈题”出新意,突出基础性,增强应用性,全面落实对物理学科素养的考查.这也要求我们在教学中转变思路,调整方向,不能一味地训练学生的解题“套路”,要舍得将时间花在物理情景的分析讲解上,物理问题的本质研究上.