



电磁感应中含容电路的问题设置误区

——从一道错题谈起

张冰杰

(贵阳市第二中学 贵州 贵阳 550001)

(收稿日期:2021-02-09)

摘要:电磁感应教学中有教师会让学生记忆电荷量与磁通量变化量、导体棒切割运动的位移成正比的结论。以一道含容电路试题为例,分析指出电磁感应含容电路问题中该结论的错误,并提供了正确的设问范例。

关键词:电磁感应 含容电路 问题设置

在电磁感应的问题中,不少教师认为流过电路的电荷量与磁通量的变化量成正比,但是在含容电路中这个结论是否成立还要看具体的情境设置,下面以一道题的错误解析为例加以分析阐述。

1 试题内容及错误解析

【例题】如图1所示,固定放在同一水平面内的两根平行长直金属导轨的间距为 L ,其左端接有电容为 C 的电容器,整个装置处在竖直向下的匀强磁场中,磁感应强度为 B 。一导体杆垂直于导轨放置,且与两导轨接触良好,导体杆的电阻为 R ,其余电阻不计,现给导体杆一个水平向右的速度,当导体

杆滑过距离 x 后速度保持不变,则导体杆的最终速度为()

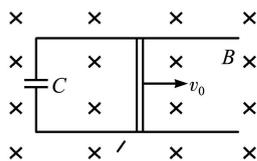


图1 试题图

- A. $\frac{x}{CR}$ B. $\frac{x}{BR}$ C. $\frac{Cx}{BLR}$ D. $\frac{Bx}{CLR}$

解析:流过导体杆的电荷量为

$$q = \bar{I}t = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{BLx}{R} \quad (1)$$

阻力造成的,则 ΔE_k 应小于 ΔE_p ; (3)在该实验中所求的速度是遮光片上与光电门等高处这一点的速度,而不是小球的速度,通过装置结构分析,可知二者之间的速度略有差别; (4)运动分析:小球与遮光片都做圆周运动,它们具有相等的角速度 ω ,根据角速度与线速度之间的关系 $v = \omega r$,可知,小球的速度与遮光片的速度之间的关系为 $\frac{v_{球}}{v_{遮}} = \frac{l}{L}$,其中 l 与 L 分别表示球心位置和光电门位置与悬挂点间的距离,测量得到的值大于真实值,与实验相符。”上述分析过程充分体现“能用多种方法分析数据,发现其中规律,形成合理的结论,应用已有物理知识进行科学解释(水平5)”。

4 结束语

科学的试题应有明确的素养测试目标,其命制应与核心素养水平划分的要求相对应。将科学探究的每个素养划分为5个水平,为分析试题的功能建

立“坐标系”^[2],帮助师生认识试题的功能和育人价值,达到科学命题的目的。体现“科学探究”素养的试题多以开放性试题或者实验题的形式出现,试题的情境具有一定的问题性、探究性、开放性。通过学生在应对复杂现实情境,参与相应探究学习活动中的外在表现来考查物理科学探究的核心素养。通过分析其考查水平,引导教师根据学科素养的水平层次设计试题的难度、合理的梯度,使试题设计的素养要素和水平能力相对应^[3],从而落实学生物理学科核心素养的课程目标,为高校选拔合适的人才。

参考文献

- 1 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2018年版)[S]. 北京:人民教育出版社,2018. 78~80
- 2 袁张瑾,梁旭. 基于核心素养要素和水平的试题分析[J]. 中学物理,2020(10):61~63
- 3 张昊旻,沈兰. 物理学科核心素养中的“科学探究”水平研究[J]. 物理教学,2019(12):48~52

通过导体杆的电荷量与电容器最后的电荷量相等,则

$$q = CU = CBLv \quad (2)$$

由式(1)、(2)可得

$$v = \frac{x}{CR}$$

因此选项 A 正确.

2 错误分析及启示

解析错误在于式(1)经验地用到了电荷量与磁通量变化量成正比的结论,但是在含容电路中,因为电容器在充电过程中两极板积累电荷之后出现电势差,所以电路上的电流并不等于导体棒的动生电动势与回路电阻的比值. 设某时刻导体棒切割磁感线速度为 v , 流过导体棒电流为 i , 电容器两极板的电势差为 u , 则有

$$BLv - u = iR$$

结合电容器 $C = \frac{q}{u}$ 及速度的微分形式 $v = \frac{dx}{dt}$,

容易得出

$$BL \frac{dx}{dt} - \frac{q}{C} = \frac{dq}{dt} R \quad (3)$$

对导体棒,由动量定理

$$-iBLdt = m dv$$

积分可得

$$BLq = m(v_0 - v) \quad (4)$$

为了寻找 q 与 x 的关系,设法利用式(3)、(4)分离变量,可以得到

$$dx = \frac{\left(v_0 - \frac{BLq}{m}\right) R}{BLv_0 - \left(\frac{B^2L^2}{m} + \frac{1}{C}\right) q} dq \quad (5)$$

积分可以得到

$$x = \frac{BLR}{B^2L^2 + \frac{m}{C}} q - \frac{v_0 R - \frac{B^2L^2 v_0 R}{B^2L^2 + \frac{m}{C}}}{\frac{B^2L^2}{m} + \frac{1}{C}} \cdot \ln \left[\frac{BLv_0 - \left(\frac{B^2L^2}{m} + \frac{1}{C}\right) q}{BLv_0} \right] \quad (6)$$

初态时, $q=0$, 则 $x=0$; 末态时

$$q = \frac{BLv_0}{\frac{B^2L^2}{m} + \frac{1}{C}} \quad (7)$$

则

$x \rightarrow \infty$

从式(6)显然可以得到 q 与 x 不具有线性关系, 利用 GeoGebra 软件作出 q 与 x 的定性图像, 如图 2 所示, 可以看出, 在 x 较小时, 因为电容器电压较小, q 与 x 能保持较好的线性关系, 当 x 较大时, q 与 x 明显不再具有线性关系.

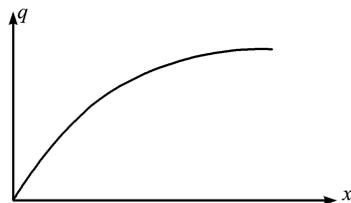


图 2 q 与 x 关系的定性图像

由以上分析可以看出, 当电磁感应问题中涉及含容电路时, 流过导体棒的电荷量与导体棒的位移关系比较复杂, 如果将 q 正比于 x 当作结论进行运用则会导致错误, 这也需要试题命制者注意.

同时值得注意的是, 如果电路上电阻趋于零, 则会得到 x 趋于零时 q 满足式(7).

这是因为如果回路上电阻趋于零, 电容器充电的弛豫时间趋于零, 这违背了“物理量转移速度应该是有限的(小于光速 c)”的物理规律^[1].

高中阶段由于学生不具备解微分方程的能力, 在解决电磁感应中含容电路的问题时, 往往是结合动量定理和初末态特征进行处理, 例如 2017 年高考天津理综卷中考查到利用电容器放电驱动电磁炮发射的问题, 如图 3 所示, 设置的问题为求解电磁炮离开导轨后电容器剩余的电荷量, 则可以利用动量定理和末态电容器电压与动生电动势相等进行求解, 为电磁感应中含容电路的问题设置提供了可借鉴的范例.

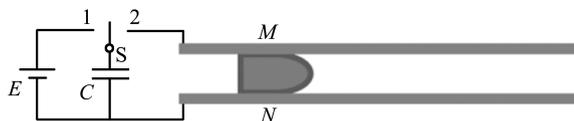


图 3 2017 年天津理综卷 12 题图

综上, 电磁感应问题中流过电路的电荷量与磁通量变化量、导体棒切割运动的位移是否成正比应该要具体问题具体分析, 这也要求试题命制者要注意电磁感应中含容电路要谨慎设置与导体棒位移相关的情境, 避免陷入误区.

参考文献

- 1 邵卓. 电阻在电磁感应含容电路中的物理意义[J]. 物理教师, 2020(6): 59~62