

高考与竞赛

立足经典模型 创新问题设计 考查关键能力^{*}

——2023 年全国高考物理新课标卷第 26 题赏析

台运金 郜 攀 (安徽省宿城第一中学 安徽 234000)

摘 要 2023 年全国高考物理新课标卷第 26 题创设了线框进出匀强磁场这一经典的学习探索类情境,创新问题设计,考查了学生的关键能力。文章尝试对此进行赏析、溯源和拓展,从中获取教学启发,旨在为新课标、新教材、新高考背景下的物理教学提供参考。

关键词 新课标卷 物理压轴题 试题赏析

文章编号 1002-0748(2023)11-0063

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

2023 年全国高考物理新课标卷以新教材、新课标为依据,通过新颖的情境设计或设问方式,考查学生的必备知识、关键能力、学科素养与核心价值,凸显了创新性与应用性。尤其是作为承担高考选拔核心的压轴题第 26 题,更具有这一明显的特点,试题以学生较为熟悉的线框通过匀强磁场这一模型为背景,创新问题设计,着重考查学生的理解能力与综合分析能力。笔者尝试对这一问题进行赏析、溯源和拓展,以期后续教学提供有意义的借鉴。

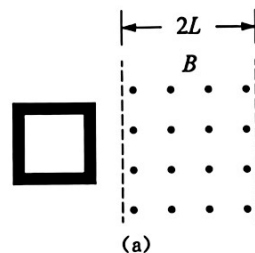
1 试题呈现与解析

例题 一边长为 L 、质量为 m 的正方形金属细框,每边电阻为 R_0 ,置于光滑的绝缘水平桌面(纸面)上。宽度为 $2L$ 的区域内存在方向垂直于纸面的匀强磁场,磁感应强度大小为 B ,两虚线为磁场边界,如图 1(a)所示。

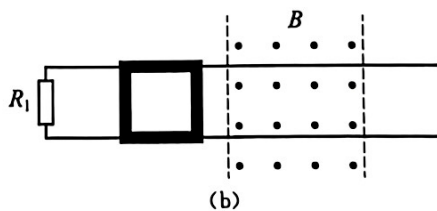
(1) 使金属框以一定的初速度向右运动,进入磁场。运动过程中金属框的左、右边框始终与磁场边界平行,金属框完全穿过磁场区域后,速度大小降为它初速度的一半,求金属框的初速度大小。

(2) 在桌面上固定两条光滑长直金属导轨,导轨与磁场边界垂直,左端连接电阻 $R_1 = 2R_0$,导轨电阻可忽略,金属框置于导轨上,如图 1(b)所示。让金属框以与(1)中相同的初速度向右运动,进入磁

场。运动过程中金属框的上、下边框处处与导轨始终接触良好。求在金属框整个运动过程中,电阻 R_1 产生的热量。



(a)



(b)

图 1 物理新课标卷第 26 题图

解析:(1) 若金属框的初速度为 v_0 ,其完全进入磁场时的速度为 v_1 ,完全穿过磁场时的速度为 v_2 ,则对进入磁场的过程使用动量定理可得:

$$-\bar{F}_{\text{安}} t = mv_1 - mv_0$$

由 $I = U/R$, $E = BLv$ 得:

$$\bar{F}_{\text{安}} = B\bar{I}L = B \frac{\bar{E}}{4R_0} L = \frac{B^2 L^2 \bar{v}}{4R_0}$$

^{*} 基金项目:本文系安徽省教育科学项目 2023 年度立项课题“深度学习指向下高中生物理建模能力培养的教学实践与研究”(课题编号:JK23146)阶段性研究成果。

代入可得:

$$-\frac{B^2 L^2 \bar{v}}{4R_0} t = mv_1 - mv_0$$

而 $L = \bar{v}t$, 由此得:

$$-\frac{B^2 L^3}{4R_0} = mv_1 - mv_0$$

对于离开磁场的过程, 同理可得:

$$-\frac{B^2 L^3}{4R_0} = mv_2 - mv_1$$

而 $v_2 = \frac{1}{2}v_1$, 联立可得: $v_0 = \frac{B^2 L^3}{mR_0}$ 。此外, 也可以从进入磁场到离开磁场全过程利用动量定理, 此时 $\bar{v}t = 2L$, 亦可得到上述结果。

(2) 本问的正确解决, 需要学生注意以下几点:

①上下两侧边框被导轨短路不计入电阻; ②线框进入(离开)磁场过程中右侧(左侧)边框切割磁感线, 左侧(右侧)边框与 R_1 并联; ③线框完全进入磁场之后, 左右两侧边框均切割磁感线, 等同于两个电源并联; ④可能包含不同的运动过程, 需要独立计算每个过程 R_1 所产生的热量。

进入磁场过程, 右侧边框切割磁感线, 等同于电源, 其等效电路如图 2 所示。

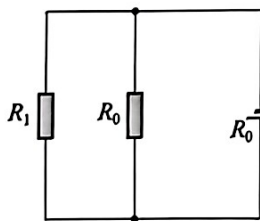


图 2 等效电路一

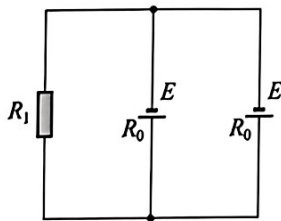


图 3 等效电路二

据此可计算电路的总电阻 $R = \frac{5}{3}R_0$, 若线框完全进入磁场的速度为 v_3 , 根据第一问的相关分析得到:

$$-\frac{B^2 L^2 \bar{v}}{R} t = mv_3 - mv_0$$

而 $L = \bar{v}t$, 代入 v_0 得:

$$v_3 = \frac{2B^2 L^3}{5mR_0}$$

根据能量的转化与守恒可得进入磁场过程中系统产生的总热量为:

$$Q = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_3^2$$

根据串并联电路特点与规律, 可得并联外电路与电阻 R_1 所产生的热量分别为:

$$Q_{\text{并}} = \frac{\frac{2}{3}R_0}{\frac{5}{3}R_0} Q$$

$$Q_1 = \frac{R_0}{R_0 + 2R_0} Q_{\text{并}} = \frac{2}{15} Q = \frac{7B^4 L^6}{125mR_0^2}$$

线框完全进入磁场过程后, 其等效电路如图 3 所示。

据此可计算电路的总电阻 $R' = \frac{5}{2}R_0$, 若线框即将出磁场时的速度为 v_4 , 根据上述分析可得:

$$-\frac{B^2 L^3}{R'} = mv_4 - mv_3$$

代入 v_3 可得 $v_4 = 0$, 即金属框刚好到达右边界。

这一过程中, 系统产生的总热量为: $Q' = \frac{1}{2}mv_3^2$, 根据串并联电路特点与规律, 得到电阻 R_1 所产生的热量为:

$$Q'_1 = \frac{2R_0}{0.5R_0 + 2R_0} Q' = \frac{4}{5} Q' = \frac{8B^4 L^6}{125mR_0^2}$$

则电阻 R_1 产生的总热量为:

$$Q_{1\text{总}} = Q_1 + Q'_1 = \frac{3B^4 L^6}{25mR_0^2}$$

2 试题赏析与溯源

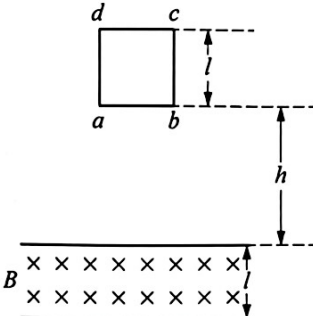
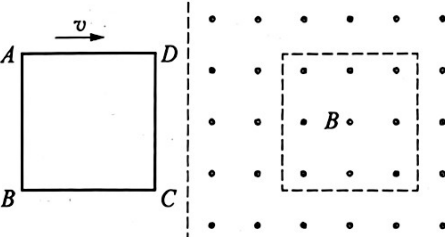
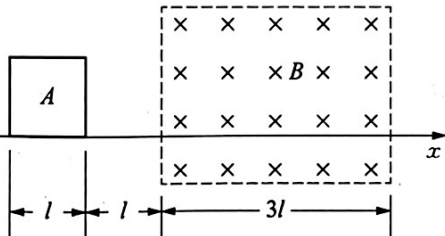
教育部《关于做好 2023 年普通高校招生工作的通知》第 8 条强调:“持续深化考试内容改革, 高考命题体现基础性、综合性、应用性和创新性, 注重考查关键能力、学科素养和思维品质, 注重考查学生对所学知识的融会贯通和灵活运用。”本题完全符合这一条要求, 是一道综合性较强的多过程问题, 试题情境大部分学生都比较熟悉, 但是相比于平时, 设问更加新颖。从知识的角度而言, 本题综合考查了学生对欧姆定律、法拉第电磁感应定律、焦耳定律、串并联电路基本规律、动量定理、动能定理等主干知识的理解与掌握程度。从能力的角度而言, 本题侧重于考查学生在对知识、问题理解的基础上, 能够分析建构等效电源模型, 考查了模型建构能力; 要求学生能够对导线框的运动过程进行分析、对其中涉及的能量转化过程进行分析, 并能够根据电路的总热量计算电阻 R_1 所产生的热量, 考查了利用数学知识进行推理论证的能力; 需要学生能够联想课堂上学习的双

杆模型以及其中所使用的方法,如微元法、等效电源法等,考查了学生对所学知识进行迁移创新的能力。从核心素养的角度而言,本题重点考查了物理观念中力与运动观念、能量转化与守恒观念,突出考查了科学思维中模型建构、科学推理、论证创新等要素。

但作为压轴题,其难度略显不足。

本题所涉及的教学内容在人教社 2019 年版新教材中属于选择性必修二,在教材第二章章末测试(第 43—45 页)中能发现与本题相关的题目,具体整理如表 1 所示。

表 1 2023 年高考全国新课标卷第 26 题溯源分析表

题目来源	考查情境及图示	答题要点
选择性必修第二册第 43 页第 3 题	正方形线框从匀强磁场正上方下落,经过一段时间匀速穿过磁场,计算此过程中线框产生的焦耳热 	线框匀速穿过磁场,根据能量转化与守恒得到线框减少的重力势能转化为线框的内能,即线框减少的重力势能等于所产生的焦耳热
选择性必修第二册第 44 页第 2 题	单匝线圈在外力作用下以不同的速度向右匀速进入匀强磁场,分析并计算两次电流、外力做功、产热之比 	线框运动速度不同,切割磁感线产生的电动势不同、电流不同、所受到的拉力亦不同,使用相关规律表示电流、外力做功以及产生的热量即可得到结果
选择性必修第二册第 45 页第 5 题	线框以恒定速度 v 沿 x 轴运动,并穿过匀强磁场区域,分析穿过磁场过程中所受的安培力随时间的变化关系,并作出图象 	线框穿入和穿出磁场的过程,均受到安培力的作用,因速度不变,故安培力大小不变,线框完全进入磁场中,不产生电流,不受安培力

此外,在近几年的高考题中也能发现与本题类似的情境或问题,如 2020 年高考江苏卷第 14 题,2021 年高考全国甲卷第 21 题、湖南卷第 10 题,2022 年高考湖北卷第 15 题等等,能够看出这类问题一直都是热点,仔细分析也能发现解决这一类问题的所涉及的知识点与方法也比较类似,需要利用欧姆定律、动能定理、能量的转化与守恒、动量定理和牛顿运动定律等知识综合分析解决。

3 试题深化与拓展

笔者近期在即将结束高二学习的课堂教学中分析这道考题时,总感觉本题意犹未尽,又因为本题所涉及的模型可以设计各种难度类型的问题,也是各类考试的热点,因此在不改变题目设置的基础上,对这一问题进行了如下拓展。

拓展 1 对于第 1 小问,若已知线框进入磁场的初速度为 v_0 ,离开磁场的速度为 v_2 ,试求进入和离开磁场时,线框所产生的热量比值。

分析:根据第 1 问的分析,可知线框完全进入磁场中的速度 $v_1 = \frac{v_0 + v_2}{2}$,由能量转化可得,线框进入

磁场过程中产生的热量: $Q_1 = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$,

线框穿出磁场过程中产生的热量: $Q_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 -$

$\frac{1}{2}mv_2^2$,由此可得 $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{3v_0 + v_2}{v_0 + 3v_2}$ 。其比值大于 1,也说明进入或离开磁场时的速度越大,产生的热量越多。

拓展 2 对于第 2 小问,若线框刚好能离开磁场,试计算此时线框的初速度。

分析:结合第 2 小问的分析,若线框初速度为

v_0 , 完全进入磁场的速度为 v_1 , 根据动量定理可得

$$-\frac{B^2 L^2 \bar{v}}{\frac{5}{3} R_0} t = mv_1 - mv_0$$

若线框右侧刚到达磁场右边界时速度为 v_2 , 则:

$$-\frac{B^2 L^2 \bar{v}}{\frac{5}{2} R_0} t = mv_2 - mv_1$$

当线框穿出磁场时, 有

$$-\frac{B^2 L^2 \bar{v}}{\frac{5}{3} R_0} t = 0 - mv_2$$

由 $L = \bar{v}t$, 联立可得: $v_0 = \frac{8B^2 L^3}{5mR_0}$ 。

这两个拓展是笔者根据学生的实际情况而改编的, 难度不大, 目的在于引导学生思考, 并对相应的知识(法拉第电磁感应定律、欧姆定理、动量定理、能量守恒与转化等)进行串联与回顾, 借此告诉学生需要关注物理中的主干知识, 注重基础以及基本能力的提升, 要理解物理本质, 建构知识体系。诚然, 本道题也可以通过改变题设条件, 创设更多的问题情境, 如导体存在摩擦力、两线框发生弹性碰撞等, 考

究本质。正如本题所涉及的动能定理、动量定理、法拉第电磁感应定律等核心知识, 如果学生不清楚这些知识间的联系, 就无法对规律进行统整, 更无法解决问题。除此之外, 在教学中也需要注重培养学生的模型建构能力与知识迁移能力。情境是高考试题实现“四层”考查内容和“四翼”考查要求的载体, 在一个新颖的情境中如何选择恰当的物理规律解决问题, 首先需要在获取题目所提供关键信息的基础上抽象建立物理模型, 而后根据建构的模型以及题目的设问选择相应的规律, 并将规律变成恰当的形式, 更加强调知识的迁移运用, 例如本题所涉及的安培力表达式, 通过不同的变形利用动量定理能够求解不同的变量(如电量、运动时间、位移等)。因此, 教学中要引导学生由知识点构建知识面再到构建完整知识体系, 注重知识的交互融合, 并在实际问题的解决中培养知识的迁移能力。

4.3 规范表达 灵活计算

推理论证能力是高考所考查的关键能力之一, 数学公式是物理规律的常用表达, 利用数学表达式进行正确的推导与分析是推理论证能力的重要体现。正确地表达物理公式不仅仅是正确解决物理问题的关键, 也是物理学科核心素养的重要组成要素。