

浅探感生电场

—— 高考与竞赛有机结合的教学尝试

邵鹏飞

(阜阳市第三中学 安徽 阜阳 236000)

(收稿日期:2018-02-01)

摘要:通过设置合理的梯度对高考题和竞赛题进行对比教学,并进行有效的拓展,既实现了知识层面和思维层面提升,又有利于提高学生的物理学科素养.

关键词:感生电场 对称性 微元法 竞赛

近几年的高考物理卷中有不少题目在物理规律的深度考查上进行了不少有效的探索,也涌现了很多好题.比如,2013年的安徽卷第20题以“镜象法”作为知识背景,2013年福建卷第22题和2008年江苏卷第14题则可以向“配速法”拓展,2013年全国I卷的第25题就有“RC暂态电路”的影子.将这类高考题与竞赛辅导有机结合,不仅能降低竞赛知识的学习难度,还能兼顾高中物理的常规学习.于是,笔者在这方面进行了一些有效的探索,学生表现出极大的兴趣,也养成了多角度多层次分析问题的习惯.下面以2014年高考安徽卷和2015年第32届全国高中物理竞赛预赛卷为例进行说明.

1 高考题的分析拓展

【例1】(2014年高考安徽卷)英国物理学家麦克斯韦认为,磁场变化时会在空间激发感生电场.如图1所示,一个半径为 r 的绝缘细圆环水平放置,环内存在竖直向上的匀强磁场 B ,环上套一带电荷量为 $+q$ 的小球.已知磁感应强度 B 随时间均匀增加,其变化率为 k ,若小球在环上运动一周,则感生电场对小球的作用力所做功的大小是()

- A. 0 B. $\frac{1}{2}r^2qk$ C. $2\pi r^2qk$ D. πr^2qk

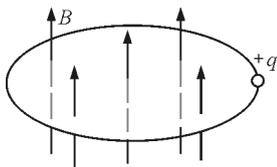


图1 例1题图

1.1 课本知识背景分析

本题考查的知识背景是感生电场,知识点出现在3-2的电磁感应和3-5电磁波部分.然而,该知识点仅涉及以下几点:第一,通过对电动势对应的非静电力的研究来引出感生电场,说明这种场的存在;第二,通过感应电流(可以是假想的)的方向来定性判断感生电场的方向;第三,作为必要的补充,我们会交待该电场的闭合性特点,因此又称涡旋电场.

1.2 习题教学的尝试

1.2.1 铺垫性分析

(1) 使该球加速的力是感生电场力,那么该力的方向如何?

学生多半认为该力沿圆环切线方向,于是笔者进一步引导学生思考:矩形磁场区域中的任意两点和圆形磁场区域的任意两点是否有相同地位?学生在教师的引导下进行深入探讨,得出结论:只有圆形区域的均匀磁场才产生严格的圆形感生电场,同时在该问题的分析过程中笔者也不失时机地向学生渗透了对称性的应用.

(2) 能否写出在圆形区域磁场情况下的电场力做功的表达式?

通过上一步对称性分析,学生知道感生电场力总是沿着圆环切线方向而且大小处处相同.不难发现,虽是变力做功,但通过微元法处理便可写出做功表达式 $W = \sum f \Delta x = 2\pi rF$. 然而由于高中知识并没给出感生电场力的求解办法,于是本方法并非高考题的考查点.

1.2.2 问题处理及拓展

(1) 原题分析:由法拉第电磁感应定律得感生电动势

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \pi r^2 = k\pi r^2$$

而电场力做功 $W_{\text{非}} = \varepsilon q$, 故小球在环上运动一周有 $W_{\text{非}} = \pi r^2 qk$, D 正确.

(2) 拓展分析:通过前面的分析,引导学生思考若磁场为圆形区域,小球轨迹上的电场强度.

提示:由 $W_{\text{非}} = \pi r^2 qk$ 和 $W_{\text{非}} = 2\pi rF$ (微元法) 可以求出 $F = \frac{krq}{2}$, 进而求出场强

$$E = \frac{f}{q} = \frac{kr}{2}$$

小结:(1) 本题如果不讨论磁场力的问题,则无须引入“圆形磁场区域”这一限制条件,仅通过法拉第电磁感应定律即可处理问题.于是原高考题具有高度的包容性.

(2) 我们在加入“圆形磁场区域”这一限制条件后,意外地打开了新的“领域”.如对称性分析、微元法的处理、感生电场场强的分析.学生对感生电场产生很强的兴趣,此时引入竞赛题可谓恰当时.

2 竞赛题的拓展分析

【例2】(2015年预赛卷)电子感应加速器利用变化的磁场来加速电子.如图2所示,电子绕平均半径为 R 的环形轨道(轨道位于真空管道内)运动,磁感应强度方向与环形轨道平面垂直.电子被感应电场加速,感应电场的方向与环形轨道相切.电子电荷量为 e .

(1) 设电子做圆周运动的环形轨道上的磁感应强度大小的增加率为 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$, 求在环形轨道切线方向感应电场作用在电子上的力;

(2) 设环形轨道平面上的平均磁感应强度大小的增加率为 $\frac{\Delta \bar{B}}{\Delta t}$, 试导出在环形轨道切线方向感应电场作用在电子上的力与 $\frac{\Delta \bar{B}}{\Delta t}$ 的关系;

(3) 为了使电子在不断增强的磁场中沿着半径

不变的圆轨道加速运动,求 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 和 $\frac{\Delta \bar{B}}{\Delta t}$ 之间必须满足的定量关系.

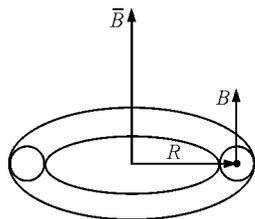


图2 例2题图

2.1 赛题分析

本题以电子感应加速器为载体比较完整地考查了感生电场的相关知识点,发散性强,对学生的思维要求比较高.

(1) 由牛顿第二定律和洛伦兹力公式得 $e v B = m \frac{v^2}{R}$, 沿切线方向对电子利用动量定理有 $F \Delta t = \Delta(mv)$ (F 为感生电场力), 可得

$$F = eR \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

(2) 由法拉第电磁感应定律,在电子运动的圆轨道上的感应电动势为 $\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, 其中 $\Delta\Phi = \pi R^2 \Delta \bar{B}$, \bar{B} 为圆轨道所在面上的平均磁感应强度, 可得 $\varepsilon = \pi R^2 \frac{\Delta \bar{B}}{\Delta t}$. 考虑电子运行一圈感应电场力所做的功,由电动势的定义可得 $\varepsilon = 2\pi R E$, 电子在圆轨道切向所受到的力为 $F = qE$, 即

$$F = \frac{1}{2} eR \frac{\Delta \bar{B}}{\Delta t}$$

(3) 由以上两点可得

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta \bar{B}}{\Delta t}$$

2.2 赛题拓展:试分析圆形区域的均匀磁场变化时的感生电场分布情况

角度一,根据电动势定义,本例中电动势应等于单位正电荷在回路上绕行一周非静电力(感生电场力)做的功,即 $\varepsilon = \frac{W_{\text{非}}}{q} = 2\pi r E$, 此处设回路半径为 r .

角度二,根据法拉第电磁感应定律, $r \leq R$ 时

(下转第40页)

图是否合理? 如果不合理, 请你提出改进方案? 解决这个问题, 学生可以根据断电自感获得启示, 设计出不同的电路, 并让学生自己判断是否合理, 得出一个比较满意的设计方案. 从而培养学生的创新能力. 这个设计达到第3个层次: 在实践中, 让学生手脑并用解决开放性问题. 动手实践可以将想法付诸于行动, 用实践检验自己的创新想法, 开拓学生的视野, 很好地培养学生的动手能力, 大胆地尝试, 开动脑筋, 从而为学生的创新思维提供良好的助推力^[3].

(3) 从深度学习的视角看, 本节课的设计抓住学生思维的难点: “断电自感中, 通过人的电流方向与原方向是否一致?” 设计了开放性问题促进学生深度学习的发生. 深度学习在于如何发生完整准确、丰富而深刻的学习? 关键4步:

- 1) 对学生已有知识的积淀和正确认识;
- 2) 给学习者充分交往的时空和载体;
- 3) 提供丰富的学习资源;
- 4) 学习的自我反思.

关键是给学生学习时空和资源让学生能充分地体验, 在体验中反思, 从而发生深度学习. 本节课学生通过断电自感的学习, 对自感现象有了一定的认识, 但是不完整而深刻. 教师设计第2个开放性问题, 让

学生自己动脑动手实践, 学以致用, 促进深度学习的发生, 达到了“欲穷千里目, 更上一层楼”的境界.

3 总结

综上所述, 设计开放性问题促进学生深度学习的发生, 需要不断的实践, 将理论和实践结合在一起, 以理论指导实践, 以实践反思理论促进再实践, 提升实践的境界. 深度学习的发生, 需要针对教学中的重难点, 设计开放性问题去适合不同层次学生的需要, 去驱动学生的思维, 培养学生的思维能力. 设计问题要以学生的学和教师的教为中心, 设计的问题要“吻合学生思维的起点、扣准思维的疑点、揭露思维的盲点、把握思维的重点、紧扣思维的难点、踏准思维的节点”^[4]. 这样才能真正地促进学生深度学习的发生.

参考文献

- 1 殷少来. 论课堂教学中问题处理的层次性. 物理教师, 2008(12):56
- 2 曹东. 浅谈问题驱动中的问题设计. 物理教学探讨, 2016(2):78~80
- 3 曹东. 如何设计和上好一节物理课. 湖南中学物理, 2016(2):54~56
- 4 卞志荣. 用“问题导学法”提高讲评课的有效性. 中学物理教与学, 2013(11):17

(上接第36页)

$$\epsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t} = \pi r^2 \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$r > R$ 时

$$\epsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t} = \pi R^2 \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

总结: 这两个 ϵ 其实是一回事, 数值上应相等. 联立可得

$$E = \begin{cases} \frac{r}{2} \frac{\Delta B}{\Delta t} & (r \leq R) \\ \frac{R^2}{2r} \frac{\Delta B}{\Delta t} & (r > R) \end{cases}$$

对比总结: 高考题紧扣高中知识点, 利用法拉第电磁感应定律和电动势定义式, 对感生电场力做功进

行了考查, 其巧妙之处在于问题的解决无需对场提出特殊要求, 可谓“平台有限, 舞姿优雅”; 而竞赛题则在知识点上不受限制, 对感生电场的考查更加抽象, 从力学角度本题既考查了切向力(感生电场力)又考查了法向力(洛伦兹力), 真是“放开手脚, 尽情挥洒”.

3 结束语

对于同一个知识点, 高考题和竞赛题的切入点和落脚点都会有所不同. 笔者通过设置合理的教学梯度, 并进行有效的拓展, 使高考和竞赛无缝对接、浑然一体. 学生们丰富了知识也开阔了解题思路, 更为重要的是通过养成深度思考问题的习惯, 学生的物理学科素养也得到了有效的提升.