浅析习题教学中物理核心素养之科学思维的培养

——以一道高三电磁感应综合模拟题的教学为例

浦绍涛

（昆明市第三中学经开区学校　云南 昆明　650500）

（收稿日期：2019－08－21）

摘　要：习题教学是高中物理教学的重要环节之一，也是提升学生物理核心素养的重要手段. 在高三总复习中，习题教学几乎贯穿整个高三，因此，探索如何在习题教学中渗透物理核心素养的培养显得十分重要. 物理核心素养分为 4 个维度，主要选取其中一个维度“科学思维”的培养进行探索. 以一道高三物理电磁感应综合模拟题的教学为例，探索习题教学中培养学生“科学思维”的方法，希望能给一线教师的习题教学提供一些参考.

关键词：模型建构　科学推理　科学论证　质疑创新

根据 2014 年教育部印发《关于全面深化课程改革落实立德树人根本任务的意见》，文中提出“教育部将组织研究提出各学段学生发展核心素养体系，明确学生应具备的适应终身发展和社会发展需要的必备品格和关键能力”. 物理核心素养是物理教育对全面贯彻党的教育方针，落实立德树人根本任务，发展素质教育的独特贡献，是物理课程育人价值的集中体现. 随着 2017 版新课标的颁布，课程改革全面推进，以物理学科核心素养为目标的物理课堂教学理论已经逐步完善，但在实际课堂教学中该如何培养学生的物理核心素养仍是一个有待进一步研究的问题.

1　提出问题

习题教学是高中物理教学中不可或缺的一环. 它对提升学生的理解、分析综合、推理、实验、应用数学知识解决物理问题等能力有重要的作用. 其实，在物理核心素养提出之前，习题教学中已经渗透着对学生物理核心素养的培养，只不过当时的培养目标不明确、不系统、不完善. 随着物理核心素养理论体系的不断完善，我们应将其更好地渗透到物理课堂教学之中，这也是每一位物理教师的时代责任. 本文主要浅析物理核心素养中“科学思维”这一维度在习题教学中的培养.

“科学思维”是从物理学视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识方式；是基于经验事实建构物理模型的抽象概括过程；是分析综合、推理论证等方法在科学领域的具体运用；是基于事实证据和科学推理对不同观点和结论提出质疑和批判，进行检验和修正，进而提出创造性见解的能力与品格，“科学思维”主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等要素[1].

基于“科学思维”的要素，下面将以一道高三电磁感应综合模拟题的教学为例，浅析习题教学中“科学思维”的培养.

2　习题教学实例分析

【例题】（华中师范大学第一附属中学高三 5 月押题考试第 25 题）如图 1 所示，水平面内 ab 和 cd 是两条平行放置的足够长直粗糙金属导轨，MN 和 $M'N'$ 是两根用细线连接的金属杆，其质量分别为 m 和 $2m$，两杆与导轨的动摩擦因数均为 μ. 开始时水平外力 F 作用在杆 MN 上，使两杆以速度 v_0 水平向右匀速运动. 两杆的总电阻为 R，导轨间距为 d，整个装置处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向与导轨所在平面垂直，导轨电阻可忽略，重力加速度为 g. 在 $t=0$ 时刻将细线烧断，保持外力 F 不变，金属杆和导轨始终接触良好，已知在 t_0 时刻后杆 MN 速度保持不变，且在 $0\sim t_0$ 时间内两杆速度方向始终向右，求：

(1) $0 \sim t_0$ 时间内任意时刻两杆的加速度大小之比；

(2) t_0 时刻两杆各自的速度；

(3) $0 \sim t_0$ 时间内两杆各自的位移.

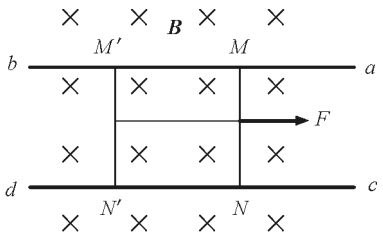

图 1　例题题图

本题是一个电磁感应综合应用的题目，考查面广，涉及共点力平衡条件、牛顿第二定律、动量定理、动量守恒定律、法拉第电磁感应定律、闭合电路欧姆定律等知识的考查，对学生理解能力、推理能力、分析综合能力、用数学方法解决物理问题的能力等要求很高，但笔者认为这道题目是一道培养学生“科学思维”的好题，在习题教学中如果能分析到位、引导得当，这道习题的教学对培养学生掌握基础知识，感悟思想方法，提升学生思维能力和解决问题能力可以起到很好的作用[2]. 在分析具体问题时，通过构建模型、科学推理探索问题内在物理本质，结合科学论证、质疑创新提升学生的逻辑思维、批判性思维、创新思维. 下面将在“科学思维”培养的视角下进行试题教学分析.

(1) 构建物理模型

绳子烧断前后 MN 和 $M'N'$ 两杆运动都是平动，杆的体积、大小、长短对运动过程的研究而言属于次要因素，可以构建质点模型来研究，可以把两杆看做质点. 绳子烧断前两杆匀速运动，共点力平衡条件

$$F = 3\mu mg$$

(2) 科学推理、科学论证 —— 综合分析

绳子烧断后两杆受力不平衡，两杆速度不等，回路磁通量变化，由感应电流产生条件就可以知道回路有电流，两杆受到安培力，借助楞次定律判断感应电流的方向，结合左手定则判断两杆所受安培力的方向.

第(1) 问求 $0 \sim t_0$ 时间内任意时刻两杆加速度之比，对两杆进行受力分析，根据牛顿第二定律

对杆 MN 有

$$F - F_{安} - \mu mg = ma_1$$

a_1 方向水平向右.

对杆 $M'N'$ 有

$$2\mu mg - F_{安} = 2ma_2$$

a_2 方向水平向左

代入

$$F = 3\mu mg$$

解得

$$a_1 : a_2 = 2 : 1$$

第(2) 问对两杆在 $0 \sim t_0$ 时间内的受力情况、运动情况的分析十分重要，是解决问题的关键，也是提高学生科学思维的关键.

逻辑推理、综合分析：根据第(1) 问的分析可知，$0 \sim t_0$ 时间内 MN 杆做加速运动、$M'N'$ 杆做减速运动 → 两杆速度差值在增大 → 两杆相对运动速度增大 → 回路面积增大得越来越快 → 回路的磁通量变化率增大 → 回路电动势在增大 → 电流在增大 → 两导体杆所受安培力在增大 → 两杆加速度在减小，当两杆加速度减小为零时 → 两杆速度差值稳定 → 回路磁通量变化率不变 → 回路电动势不变 → 回路电流不变 → 两杆所受安培力不变 → 两杆合力都为零 → 两杆开始做匀速直线运动.

t_0 时 $M'N'$ 做匀速直线运动受力平衡，根据物体平衡条件有

$$F_{安} = 2\mu mg = BdI$$

根据闭合电路欧姆定律：$I = \dfrac{E}{R}$，如何求出两杆切割磁感线时回路的电动势呢？

科学猜想：根据右手定则 $M'N'$ 向右运动切割磁感线时电动势方向为 N' 指向 M'，MN 向右运动切割磁感线时电动势方向为 N 指向 M，两杆产生的电动势在回路中方向相反，设 t_0 时刻 MN 和 $M'N'$ 两杆的速度分别为 v_1 和 v_2，可以猜想回路电动势为

$$E = Bd(v_1 - v_2)$$

科学论证：极短时间 Δt 范围内，回路面积变化量

$$\Delta S = dv_1\Delta t - dv_2\Delta t$$

根据法拉第电磁感应定律

$$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=B\frac{dv_1\Delta t-dv_2\Delta t}{\Delta t}=Bd(v_1-v_2)$$

可求出

$$v_1-v_2=\frac{2\mu mgR}{B^2d^2}$$

综合分析：根据以上分析求出了 t_0 时刻两杆速度之差的等式，要求出两杆各自的速度，还需要得出与两杆速度关联的一个等式，如何得到这个等式呢？根据上述分析两杆所受安培力大小相等，方向相反，引导学生思考两杆组成的系统在 $0\sim t_0$ 时间内动量是否守恒，是本题教学的关键环节，因为两杆动量守恒则可以得

$$mv_1+2mv_2=3mv_0$$

即

$$v_1+2v_2=3v_0$$

解决问题的关键转变为判断两杆组成的系统动量是否守恒，对两杆受力分析，因为两杆速度方向始终向右，两杆的摩擦力向左，总摩擦力为 $F_f=3\mu mg$，且拉力 $F=3\mu mg$，两杆安培力等大反向，两杆所受重力与支持力是一对平衡力，两杆组成系统合外力为零，根据动量守恒的条件得，两杆组成的系统动量守恒. 联立上面的式子就可求出两杆 t_0 时刻各自的速度.

(3) 质疑与创新

事实上学生很难理解本题两杆组成的系统动量守恒，很多学生对动量守恒条件掌握不牢固，会对两杆动量守恒产生质疑，针对这种情况，笔者认为教学过程教师不必专门强调动量守恒定律的内容，可以引导学生从分别对两杆使用动量定理的思路去推理两杆组成的系统动量守恒，让学生自己去解决质疑，这样可以有效地提升学生的逻辑思维、批判性思维、创新思维[3]. 对两杆使用动量定理，关键是求出两杆在 $0\sim t_0$ 时间内的总冲量，难点是求出变力安培力在 $0\sim t_0$ 时间内的冲量. 变力求冲量该如何求解？可以引导学生类比求变力做功方法中的“微元法”进行求解. 如果把全过程分割为无穷多个 Δt，每个 Δt 时间很短，可以认为安培力不变，分别求出每个 Δt 时间内安培力的冲量，再求和即可求出安培力的冲量. 设在 $0\sim t_0$ 内任意 t 时刻流过回路的电流为 i，则在 $t\sim(t+\Delta t)$ 时间范围内安培力的冲量为 $Bid\Delta t$，则在 $0\sim t_0$ 时间内安培力的总冲量

$$I_A=\sum_{n=1}^{\infty}Bid\Delta t=Bd\sum_{n=1}^{\infty}i\Delta t=Bdq$$

安培力的冲量与通过导体杆的电荷量有关，两杆串联流过导体杆横截面的电荷量一样，取向右为正.

对杆 MN 由动量定理有

$$Ft_0-Bqd-\mu mgt_0=mv_1-mv_0$$

对杆 $M'N'$ 由动量定理有

$$-2\mu mgt_0+Bqd=2mv_2-2mv_0$$

两式相加得

$$0=mv_1+2mv_2-2mv_0-mv_0$$

即可得出两杆组成系统动量守恒.

经过上述推导可以让学生深刻理解动量守恒定律的内容和提升学生的物理思维. 另外，根据上面的推导可知导体杆所受安培力的冲量与通过导体横截面的电荷量有关，那就是说求通过导体杆横截面的电荷量可以对导体杆使用动量定理来求解，比如，对导体杆 MN 应用动量定理得

$$Ft_0-\mu mgt_0-Bqd=mv_1-mv_0$$

我们知道，求解通过导体横截面的电荷量还有另外一条途径，即

$$q=\bar{I}t_0=\frac{E}{R}t_0=\frac{\Delta\phi}{Rt_0}t_0=\frac{\Delta\phi}{R}=\frac{Bd\Delta x}{R}$$

其中 Δx 为两杆相对位移 $\Delta x=x_1-x_2$. 两种求解通过导体横截面电荷量的方法结合在一起，就可以巧妙地求解出两杆的相对位移 Δx，这对学生而言是神奇的，因为以往学习中求解物体对地位移，一般只会考虑动能定理、牛顿第二定律等，基本不会考虑动量定理，经过这些推理和思考，学生不难发现安培力的冲量表达式可以这样来表达

$$I_A=\sum_{n=1}^{\infty}Bid\Delta t=Bd\sum_{n=1}^{\infty}i\Delta t=$$

$$Bdq=Bd\bar{I}t_0=\frac{B^2d^2\Delta x}{R}$$

其中 Δx 对于单杆模型而言，即为单杆的对地位移. 本题第(3) 问结合两杆组成的系统动量守恒

$$mv_1+2mv_2=3mv_0\Rightarrow$$

$$\bar{v}_1t_0+2\bar{v}_2t_0=3v_0t_0$$

即

$$x_1 + 2x_2 = 3v_0 t_0$$

即可求出两杆的对地位移.

拓展创新:安培力是洛伦兹力的宏观表现,洛伦兹力是安培力的微观解释. 根据上面推导安培力的冲量具有特殊的表现形式,那么洛伦兹力的冲量有没有特殊的表现形式呢? 洛伦兹力是安培力的微观解释,近似认为安培力是导体棒中无数定向移动的带电粒子所受洛伦兹力垂直于杆方向分力的合力,因此在探索洛伦兹力冲量的表达形式时,我们只需探索洛伦兹力某方向上的分力的冲量表达形式即可,比如,我们以洛伦兹力竖直方向分力冲量为例. 如图 2 所示,在垂直于纸面向外的磁场中,有一带电荷量为 $-q$,质量为 m 的带电粒子在竖直面内运动,速度大小为 v_0,速度方向与竖直方向的夹角为 θ_i,求经过时间 t,洛伦兹力竖直方向分力的冲量 I,如果把全过程分割为无穷多个 Δt,每个 Δt 时间很短,可以认为洛伦兹力竖直分力为恒力,可以分别求出每个 Δt 时间内洛伦兹力竖直分力的冲量,再求和即可求出洛伦兹力竖直分力的冲量,即

$$I_{洛y} = \sum_{n=1}^{\infty} (qBv_0 \sin\theta_i)\Delta t = qB\sum_{n=1}^{\infty} v_{xi}\Delta t = Bqx$$

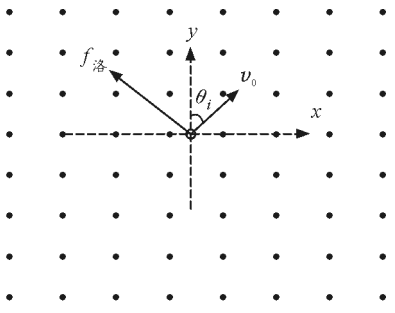

图 2　洛伦兹力竖直方向分力的冲量分析

其中 x 表示带电粒子水平方向位移,也就是说洛伦兹力某个方向冲量与该方向垂直方向上的位移有关,这样就导出了解决“带电粒子在有界磁场中运动”问题的一种方法.

例如,2015 年高考天津理科综合物理部分第 12 题第二问,参考答案解法涉及等差数列推导,数学要求高,运算量大,而且很难理解. 这道题如果对带电粒子在竖直方向使用动量定理来求解,则将变得很简单. 本题中带粒子在电场中运动时,所受电场力方向始终水平向右,因此带电粒子所受合外力在竖直方向的冲量就等于洛伦兹力竖直方向分力的冲量,带电粒子从静止释放到从第 n 层磁场右边界穿出磁场过程由动量定理得

$$I_{洛y} = mv_n \sin\theta_n = qBnd$$

再结合动能定理,即可求解出 $\sin\theta_n$.

3　小结

在本题教学中,首先整合“求通过导体横截面电荷量”的两种方法,导出导体杆安培力的冲量与导体杆的位移或相对位移有关,其次通过推导洛伦兹力某方向上分力的冲量发现,带电粒子所受洛伦兹力在某方向上的冲量与带电粒子在另一垂直方向上的位移有关,洛伦兹力与安培力本来就存在内在联系,它们的冲量都与同一个物理量“位移”有关,这就像写文章画了一个完美的句号,它是一种美和快乐的体验. 另外,本题教学中让学生经历了科学推理、综合分析、科学猜想、科学论证、质疑与创新等环节[4],提高了学生的物理思维、逻辑思维、批判性思维、创新思维,也提高了学生的理解能力、推理能力、分析综合能力、应用数学解决物理问题的能力,综合来看,本题教学对培养学生的“科学思维”起到了不可估量的作用.

习题教学过程中,培养学生的“科学思维”只是其中一个方面,事实上,习题教学过程中对学生物理学科核心素养 4 个维度的培养都能起到很好地作用. 因此习题教学过程中应该渗透物理核心素养培养,不应该仅仅停留在原来的目标维度上.

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(2017 版)[S]. 北京:人民教育出版社,2018. 1 ～ 4

2　王言利. 核心素养视角下浅谈实际物理问题对学生科学思维能力的培养[J]. 物理通报,2019(2):46 ～ 48

3　庞桂香. 基于高中物理核心素养的科学探究[J]. 物理通报,2019(2),43

4　刘建智,王思也. 实验创新引领探究式教学[J]. 物理通报,2017,38(6):25 ～ 29