



# 追溯物理本源提高学生的科学素养

陶汉斌

(金华第一中学 浙江 金华 321015)

(收稿日期:2019-09-04)

**摘要:**发展学生的核心素养是新一轮课程改革的主要任务.以浙江省选考科目物理试题为例,分析试题在考查基础知识和问题解决能力方面的特点,引导中学物理教学夯实学生基础知识,重视培养学生用数学思维方法解决物理问题.这些试题考查了物理学科核心素养中的“物理观念”,要让我们的物理教学回归基础知识,夯实基础,追溯物理本源,把基本的物理观念讲清楚,提高学生的科学素养.

**关键词:**选考物理 物理观念 科学素养 回归基础 追溯本源

发展学生的核心素养是新一轮课程改革的主要任务.在物理学科的4个核心素养要素中,最基础的核心素养是物理观念,它代表对物理知识的内化,是其他3个素养的基础.基于学科特点和研究目的取向,学习物理最核心的内容是物理建模和数学建模,数学是工具,是物理追溯物质结构和运动规律的必要辅助.通过对学生物理考试答题情况的分析,发现学生虽然能够建立正确的物理模型,但解不出正确的结果,原因在于数学基础差,不能构建数学模型,运算能力差,没有注重数学和物理学科间的紧密联系和思维互通性,仅仅强调学科本位,缺乏建构学科的内在融合特性.本文以浙江省选考科目物理试题为例,分析物理试题的本源和数学工具之美.

## 1 夯实基础知识 追溯物理本源

**【例1】**如图1所示,在竖直平面内建立 $xOy$ 坐标系,在 $0 \leq x \leq 0.65 \text{ m}$ , $y \leq 0.40 \text{ m}$ 的范围内存在一具有理想边界,方向垂直纸面向里的匀强磁场区域.一边长 $l=0.10 \text{ m}$ ,质量 $m=0.02 \text{ kg}$ ,电阻 $R=0.40 \Omega$ 的匀质正方形刚性导线框 $abcd$ 处于图示位置,其中心的坐标为 $(0, 0.65)$ .现将线框以初速度 $v_0=2.0 \text{ m/s}$ 水平向右抛出,线框在进入磁场过程

中速度保持不变,然后在磁场中运动,最后从磁场右边界离开磁场区域,完成运动全过程.线框在全过程中始终处于 $xOy$ 平面内,其 $ab$ 边与 $x$ 轴保持平行,空气阻力不计.

求:

- (1) 磁感应强度 $B$ 的大小;
- (2) 线框在全过程中产生的焦耳热 $Q$ ;
- (3) 在全过程中, $cb$ 两端的电势差 $U_{cb}$ 与线框中心位置 $x$ 坐标的函数关系.

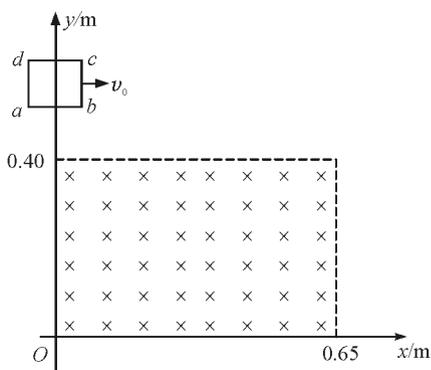


图1 例1题图

本题是浙江省2018年4月选考科目物理试题的压轴题,情境不是以往的导体棒以一维的运动方式切割磁场,导线框通过平抛运动是以二维运动的方式切割磁场.整个运动过程一定要注意分4个阶

段分别进行受力分析,考查力与运动的关系.本题需要考生运用力与运动的独立作用原理,通过水平方向与竖直方向独立地进行分析求解.具体解析过程如下:

(1) 匀速进入磁场时,导线框受力平衡

$$mg = BIl$$

感应电流

$$I = \frac{Blv_y}{R}$$

由竖直方向自由落体运动易知,进入磁场时

$$v_y = 2 \text{ m/s}$$

代入解得

$$B = 2 \text{ T}$$

(2) 匀速进入磁场过程产生的焦耳热  $Q_1$

$$Q_1 = mgl = 0.02 \text{ J}$$

整个导体框在磁场中运动时,由于磁通量没有变化,没有感应电流,也就没有焦耳热,线框在重力作用下继续做自由落体运动.

设离开磁场的过程如图2所示,水平速度由  $v_0$  变为  $v_x$ , 竖直速度由  $v_y$  变为  $v'_y$ , 下降的高度为  $h$ .

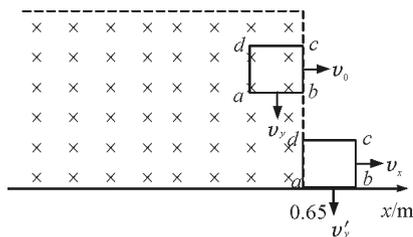


图2 导体框离开磁场过程图

水平方向受到安培力的作用,水平方向应用动量定理

$$-BIl\Delta t = mv_x - mv_0$$

$$\text{而 } I\Delta t = q = \frac{Bl^2}{R}$$

解得

$$v_x = 1.5 \text{ m/s}$$

离开过程中产生的焦耳热  $Q_2$

$$Q_2 = mgh + \frac{1}{2}m(v_0^2 + v_y^2) - \frac{1}{2}m(v_x^2 + v'_y{}^2)$$

而在竖直方向线框上下边所受的安培力相互抵消,相当于仅受重力作用,由运动学公式可知

$$v'_y{}^2 - v_y^2 = 2gh$$

可解得

$$Q_2 = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_x^2 = 0.0175 \text{ J}$$

线框在全过程中产生的焦耳热

$$Q = 0.0375 \text{ J}$$

(3) 进入磁场前:  $x \leq 0.4 \text{ m}$ ,  $U_{cb} = 0$

进入磁场过程

$$0.4 \text{ m} < x \leq 0.5 \text{ m}$$

$$U_{cb} = Bv_0v_yt - I\frac{R}{4}(4x - 1.7) \text{ V}$$

在磁场中

$$0.5 \text{ m} < x \leq 0.6 \text{ m} \quad U_{cb} = Blv_0 = 0.4 \text{ V}$$

出磁场过程

$$0.6 \text{ m} < x \leq 0.7 \text{ m}, U_{cb} = \frac{1}{4}Blv_x$$

由水平方向的动量定理得

$$-B\frac{Bl(x-0.6)l}{R}l = mv_x - mv_0$$

解得

$$U_{cb} = -\frac{1}{4}(1-x) \text{ V}$$

本题是浙江省2018年4月选考科目物理试题的压轴题,其宗旨是考查物理的本源——力与能量.力是基础,能量是境界,学生应该用这两种观点认知物理的本源,这也是物理学科核心素养的要求.第(1)问是从力的观点直接列出平衡方程进行求解,即重力与安培力平衡  $mg = BIl$ .第(2)问仍然要先进行受力分析,在受力分析的基础上运用动能定理进行解题,或运用动量定理进行求解.力与能量是贯穿整个高中物理的两条主线,是解题时的两个主要观念,也是物理学科4个核心素养的基础.做功是一个过程,通过做功这个过程实现了能量的转化,即  $W = \Delta E$ .本题涉及的焦耳热等于在电磁感应现象中克服安培力所做的功.冲量也是一个过程量,通过冲量这个过程实现动量的变化,也体现了状态与过程的关系,即  $I = \Delta P$ ,在利用动量定理解题时一定要注意矢量的方向性.

本题对力与运动的独立作用原理的考查,体现了回归基础,抓住基础就抓住了高考.线框的整个运动过程分为4个阶段,学生要对4个阶段分别进行

力与运动的分析. 线框进入磁场前, 受重力作用做平抛运动, 即竖直方向做自由落体而水平方向做匀速直线运动; 线框进入磁场时竖直方向受力平衡做匀速运动, 水平方向两个安培力相互抵消也做匀速运动; 全部进入磁场后, 由于穿过线框的磁通量没有变化, 根据法拉第电磁感应定律没有感应电流, 相当于线框在重力作用下继续做平抛运动; 线框离开磁场时, 竖直方向受重力作用继续加速运动, 水平方向由于受到安培力的作用而做减速运动. 整个思维过程都是通过水平与竖直二维角度分析解决问题, 从力的正交分解到平抛运动, 是力的独立作用原理与运动的独立性原理, 是物理核心素养中的基本观念. 选考命题的主导思想是: 依据是教材, 关键是基础, 主导是能力. 在物理选考科目复习过程中, 要充分体现知识的“基础性”这一特点. 因为最基础的东西往往也是最有价值的东西. 学生要考出高分不是把难题解决, 而是基础题不失分. 选考试题无论考查什么能力都必须以相应的基础知识为载体, 这就是选考科目的基础性. 因此, 学生的知识越基础, 对新问题的适应性就越广, 迁移能力就越强. 为此, 在物理知识学习的过程中, 要始终坚持基础这一原则.

## 2 培养问题解决能力 构建数理模型

**【例 2】**如图 3 所示, 一轨道由半径为 2 m 的  $\frac{1}{4}$  竖直圆弧轨道 AB 和长度可调的水平直轨道 BC 在 B 点平滑连接而成. 现有一质量为 0.2 kg 的小球从 A 点无初速释放, 经过圆弧上 B 点时, 传感器测得轨道所受压力大小为 3.6 N, 小球经过 BC 段所受阻力为其重力的 0.2 倍, 然后从 C 点水平飞离轨道, 落到水平地面上的 P 点, P 和 C 两点间的高度差为 3.2 m. 小球运动过程中可视为质点, 且不计空气阻力.

- (1) 求小球运动至 B 点的速度大小;
- (2) 求小球在圆弧轨道上克服摩擦力所做的功;
- (3) 为使小球落点 P 与 B 点的水平距离最大, 求 BC 段的长度;
- (4) 小球落到 P 点后弹起, 与地面多次碰撞后

静止. 假设小球每次碰撞机械能损失 75%, 碰撞前后速度方向与地面的夹角相等. 求小球从 C 点飞出到最后静止所需的时间.

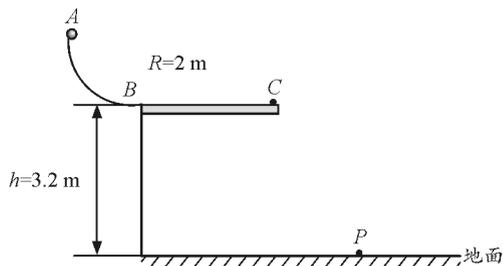


图 3 例 2 题图

本题的情境学生非常熟悉, 属于典型的圆周运动、直线运动与平抛运动多重迭加的运动过程, 可以按照物理事件发生的顺序进行程序化解题. 本题对数学运算的能力要求很高, 走出考场的学生感慨自己不是倒在物理思路, 而是倒在数学运算上. 具体解析过程如下:

$$(1) \text{ 在 } B \text{ 点: } N - mg = m \frac{v_B^2}{R}, \text{ 解得 } v_B = 4 \text{ m/s};$$

(2) 从 A 到 B, 由动能定理得

$$mgR - W_f = \frac{1}{2}mv_B^2$$

解得

$$W_f = 2.4 \text{ J}$$

(3) 从 B 到 C, 由动能定理得

$$-kmgL_{BC} = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

B 到 P 的水平距离

$$L = \frac{v_B^2 - v_C^2}{2kg} + v_C \sqrt{\frac{2h}{g}} = -\frac{1}{4}v_C^2 + \frac{4}{5}v_C + 4$$

这是二次函数, 当  $v_C = 1.6 \text{ m/s}$  时, P 与 B 点的水平距离 L 最大, 此时 BC 段的长度为

$$L_{BC} = 3.36 \text{ m}$$

(4) 碰撞前后速度方向与地面夹角相等, 故碰撞前后水平和竖直分速度比例不变. 每次碰撞机械能损失 75%, 故每次合速度和分速度均变为原来的一半. 设第 n 次损失后的竖直分速度为  $v_{y1}$ , 第 n 次碰撞到第 n+1 次的时间为  $t_n$

$$v_{y0} = \sqrt{2gh} = 8 \text{ m/s} \quad t_0 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.8 \text{ s}$$

$$\text{则 } v_{yn} = v_{y0} \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$t_n = 2 \frac{v_{yn}}{g} = 0.8 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

此为无穷递缩等比数列,由求和公式得

$$t_{\text{总}} = t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = \\ 0.8 \text{ s} + \frac{0.8}{1-0.5} \text{ s} = 2.4 \text{ s}$$

本题对数学运算的能力要求很高,需要学生熟练构建数理模型,运用数学工具解决物理问题.第(1)问与第(2)问还是体现了高中物理力与能量这两条主线,通过受力分析直接列出牛顿第二定律,也就是圆周运动的向心力方程,通过运动过程的分析运用动能定理进行求解.而第(3)问是典型的应用二次函数求极值问题,根据所求解的问题先列出一般的函数关系式,即

$$L = \frac{v_B^2 - v_C^2}{2kg} + v_C \sqrt{\frac{2h}{g}} = \\ -\frac{1}{4}v_C^2 + \frac{4}{5}v_C + 4$$

这是二次函数,我们就可利用数学方法求解极值.第(4)问由于碰撞前后速度方向与地面夹角相等,故碰撞前后水平和竖直分速度比例不变.每次碰撞机械能损失75%,故每次合速度和分速度均变为原来的一半.通过运算发现每次小球在空中运动的时间为等比数列,即

$$t_n = 2 \frac{v_{yn}}{g} = 0.8 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

此数列的公比为 $\frac{1}{2}$ ,然后对这个无穷递缩等比数列进行求和

$$t_{\text{总}} = t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = \\ 0.8 \text{ s} + \frac{0.8}{1-0.5} \text{ s} = 2.4 \text{ s}$$

我们运用函数思想就是表明尽管物理量都在不断变化着,但是相互联系、相互制约,从中寻找某种相互联系,在函数式子中研究其变化趋势和规律.在研究物理问题时用函数思想将问题中的数学特征进行提取,然后建立函数型的数学模型,用函数描述物

理量间的关系,从而进行研究解决<sup>[1]</sup>.第(3)题中BC段的长度变化与小球落点P与B点的水平距离就存在制约的函数关系.物理问题,许多是运用函数定量进行研究,最后得出物理规律.

《浙江省普通高中选考考试说明》明确要求“学生掌握运用数学处理问题的能力;《普通高中物理课程标准》要求教学“在使学生掌握基础知识的同时,应关注物理学与数学之间的联系,重视培养学生应用数学知识处理物理问题的能力,发挥数学工具在物理学发展过程中的作用.”<sup>[2]</sup>

数学是物理研究的工具和物理结论的“代言人”,数学简洁而严密的逻辑思维方式,简化和加速了物理研究的进程.数学高度概括性的特征,为描述具有深刻内涵的物理概念和规律提供了绝佳的表现形式.“工欲善其事,必先利其器.”不擅长利用数学工具是无法解决好复杂的物理问题的.物理的研究过程本身就是运用物理原理和数学思维方法来解决问题的过程.同时,物理和数学同样注重逻辑思维的培养,因此,在平时的教学过程中,要非常重视数学与物理的结合,以达到数理的同频共振.

### 3 意义与体会

在物理学习的每个阶段,学生要脚踏实地,注重基础知识的学习与巩固,关注本源的物理知识.在解题时要注意回归与回味,回归到最简洁的物理规律,回味解题的收获与情感体验.从牛顿的经典力学到爱因斯坦的相对论;从麦克斯韦方程组的电与磁到量子力学波粒二象性的对立统一,数学思维方法无时不在帮助陈述和揭示物理的奥秘.物理研究过程本身就是运用物理原理和数学思维方法来解决问题的过程.教师在教学实践中要重视数学在高中物理学习中的应用,引导学生构建正确的物理模型和数学模型,两者的完美结合才是物理的最高境界.

### 参考文献

- 1 许冬保.数理融合 相得益彰[J].物理教学探讨,2017,35(506):42~43
- 2 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准[S].北京:人民教育出版社,2017.10~11