

基于物理认知规律的解题思路

樊祥民 黄磊

(菏泽医学专科学校物理教研室 山东 菏泽 274000)

(收稿日期:2021-04-07)

摘要:针对学生解答高考题型中综合性问题时遇到的困难,在分析其原因的基础上,运用穆良柱物理认知规律模型,总结并归纳出解答高考题型中综合性问题的解题思路.以2020年高考理综全国卷I第25题为例,详细介绍了基于物理认知规律的解题思路的具体应用.

关键词:高考 物理综合性问题 物理认知规律 解题思路

纵观近年来的高考物理试题,命题突出基础性、综合性、应用性和创新性的特点^[1],重点考查学生的知识、能力和科学素养.尤其是高考物理压轴题,问题情境复杂、思维性强,注重物理过程分析,要求学生具备较强的理论联系实际的能力、逻辑推理能力和科学思维技能.

调查发现,学生在面对高考题型中综合性问题(包括压轴题)时,普遍存在几乎相同的解题困难,主要表现在:

(1)对问题不知从何下手,找不到分析问题的切入点,找不准思维的着力点.

(2)对问题不能整体性把握,思考缺乏连续性,无法完整解决问题^[2].

学生之所以会存在这样的问题,一些研究者会做出各种分析.文献[3]认为学生尚不能用一种综合的“思维方式”来分析和解释问题情境,不能把头脑中的知识结构与实际问题联系起来;文献[4]认为学生无法理清复杂问题整体和部分的关系,不能恰当找出研究对象,对问题中的物理过程分析不透;文献[5]在研究中指出,学生缺乏自觉地遵循物理法则来思考问题和按照物理学严密的逻辑思维方式来处理问题的能力;文献[6]研究表明,学生在不同问题情形中解释、运用物理知识的能力不足,尚不能把所学理论与现实世界联系起来,不理解合乎物理学要求的解释应该由什么构成.

文献[7]从物理认知规律出发,指出在物理教育教学中,如果能培养学生有意识地遵循物理认知规律去学习和思考,能够帮助学生建立完整的物理知识体系和清晰的物理图像,防止其知识系统碎片化,对知识会有较为全面的把握.学生做题时会得心应手,也会更灵活、更准确.

综上所述,我们尝试运用物理认知规律,探索解答综合性物理问题的解题思路,以便找到解决上述问题的路径.希望本文的研究对从事物理教学的教师和学习物理的学生有所启发.

1 物理认知规律

文献[8]根据物理学家在实践中的尝试总结归纳出一个物理认知规律模型,如图1所示.

从图1可以看出,物理认知规律由11个具体认知过程(步骤)构成,每一个认知过程(步骤)中有各自采用的主要物理方法.其中,过程1~5属于实验物理认知阶段,过程6~8属于理论物理认知阶段,过程9~11属于应用物理认知阶段,这3个物理认知阶段构成了一个完整的系统化的物理认知,应用物理认知是实验物理认知和理论认知的积累和升华.做物理题对应的是应用物理认知阶段,体现的是应用物理认知能力.如果学生实验物理认知、理论物理认知没有很好地建立起来,学生做高考题型中综合性问题的时候就会遇到困难.

物理认知过程	物理方法	
1. 观察物理现象	分类法……	} 实验物理认知
2. 挑选研究对象	极端简化法……	
3. 明确研究问题	主次法……	
4. 量化描述性质	类比法、转换法……	
5. 寻找实验规律	极端条件法、控制变量法……	
6. 建立理想模型	理想模型法……	} 理论物理认知
7. 建立公理认知	数量逻辑、简单归纳、猜想法……	
8. 实验证伪检验	特例法……	
9. 解释已有现象	类比法、逻辑推理……	} 应用物理认知
10. 预言可能事件	类比法、逻辑推理……	
11. 技术发明创造	类比法、逻辑推理……	

图1 文献[8]物理认知规律模型

尽管物理试题设置的问题情境各有相同,由于物理认知的规律是不变的,因此每道物理题的解题思路应该具有共性.从题目描述的物理现象开始,围绕物理现象将所需的实验物理认知和理论物理认知有机整合在一起,并采用合适的物理表达形式(如公式、图像等)将其中的物理过程一一表达出来,从而形成一个较为固定的综合思维方式来解题.可以说,按照物理认知规律指导做题,能够起到以不变应万变的效果.当面对真实和复杂的实际问题时,运用物理认知规律,可以清晰而有逻辑地将所学理论知识与实际问题联系起来.

基于对穆良柱物理认知规律模型的理解,我们总结并归纳出解答高考题型中综合性问题的解题思路.

(1)阅读题干,采用分类的方法,确定题目所描述的物理现象属于哪一类物质运动,如机械运动、电磁运动、分子热运动、原子和原子核运动等.

(2)选择特定的研究对象,当题目涉及多个研究对象时,按照最简化方法,每次选择的研究对象要具体、单一.

(3)按照抓住主要因素、忽略次要因素的原则,进一步明确围绕特定研究对象物理现象的物理模型^[2].

(4)运用所学知识,确定描述特定研究对象运动所需的物理量.

(5)根据题目要求及所给条件(必要时,会运用理论知识做出推断),围绕所确定的物理量,结合运动过程和物理模型,运用所学的相关物理规律,采用合适的表达式或图像将各个物理量之间的关系一一

表达出来.

(6)求解物理量.

下面以2020年高考理综全国卷I第25题为例,详细说明上述解题思路的具体应用.

2 基于物理认知规律解题思路的应用举例

2.1 原题呈现

在一柱形区域内有匀强电场,柱的横截面积是以 O 为圆心、半径为 R 的圆, AB 为圆的直径,如图2所示.质量为 m 、电荷量为 $q(q>0)$ 的带电粒子在纸面内自 A 点先后以不同的速度进入电场,速度方向与电场的方向垂直.已知刚进入电场时的速度为零的粒子,自圆周上的 C 点以速率 v_0 穿出电场, AC 与 AB 的夹角 $\theta=60^\circ$.运动中的粒子仅受电场力作用.

(1)求电场强度的大小;

(2)为使粒子穿过电场后的动能增量最大,该粒子进入电场时的速度应为多大?

(3)为使粒子穿过电场前后动量变化量的大小为 mv_0 ,该粒子进入电场时的速度应为多大?

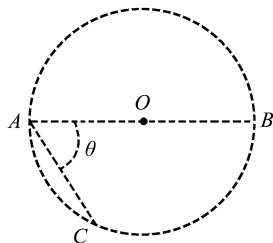


图2 试题原图

2.2 解题思路分析

阅读题干,初步地进行整体分析:题干所描述的物理现象是带电粒子在电场中的运动,所涉及的研

究对象只有一个物体;质量为 m 、电荷量为 $q(q>0)$ 的带电粒子(根据题目信息,粒子的重力忽略不计).针对选择的特定研究对象(即带电粒子),如图3所示,粒子沿 x 轴方向做匀速直线运动,沿 y 轴方向(即电场方向)做初速度为零的匀加速直线运动.因此,带电粒子在电场中做类平抛运动.根据粒子沿 x 轴方向做匀速直线运动的速度大小不同,带电粒子最终会在弧 DBC 上任意位置穿出电场(可以推断出不包含 D 点).

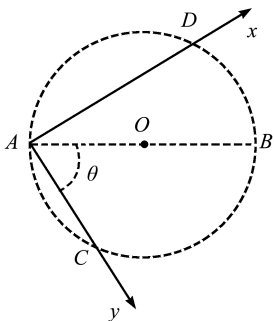


图3 试题分析图

(1)结合前面的整体分析,当粒子沿 x 轴方向的速度为零时,粒子只沿 y 轴方向(即电场方向)做初速度为零的匀加速直线运动.运用中学物理教材中有关匀加速直线运动的知识,确定描述粒子做匀加速直线运动的物理量有速度(初速度 v 、末速度 v')、加速度(a)、位移(x)和时间(t).并由题意可知: $v=0, v'=v_0$.如图4所示,由几何关系可知 $AC=R$,即 $x=R$.

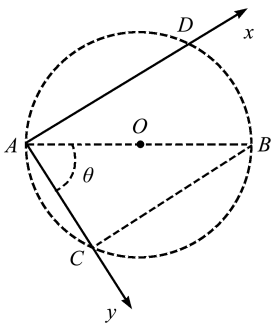


图4 试题(1)图

根据运动学公式可得

$$v' = v + at$$

$$x = vt + \frac{1}{2}at^2$$

由牛顿第二定律可得

$$F = ma$$

至此,围绕上述所确定的物理量,运用所学的相关物理规律,将各个物理量之间的关系一一表达出来.由于题目所求的物理量是电场强度(E),再根据电场强度的定义可得 $F = qE$.通过上述这些关系式,可解得 $E = \frac{mv_0^2}{2qR}$.

另外,还可以从能量的角度,选择功和动能来描述该粒子做匀加速直线运动的物理量,因此可运用动能定理将两者的关系表达出来: $F \cdot AC = \frac{1}{2}mv_0^2$,

结合 $AC=R, F=qE$,同样可解得 $E = \frac{mv_0^2}{2qR}$.

(2)经过上述整体分析,清楚了带电粒子在电场中做类平抛运动,并且根据粒子沿 x 轴方向做匀速直线运动的速度 v_x 大小不同,带电粒子最终会在弧 DBC 上任意位置穿出电场(不包含 D 点).若使粒子穿过电场后的动能增量最大,需要电场力对粒子做的功最多.如图5所示,过 O 点做 y 轴的平行线 EF ,与 x 轴交于 E 点,与圆交于 F 点.当粒子恰好从 F 点穿出电场时,粒子沿 y 轴方向(即电场方向)通过的位移最大,即电场力对粒子做的功最多.由几何关系知 $EF = \frac{3}{2}R, AE = \frac{\sqrt{3}}{2}R$.

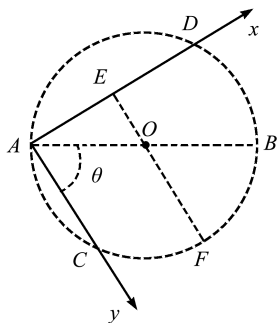


图5 试题(2)图

接下来,我们确定描述粒子做类平抛运动所需的物理量.结合中学物理教材中有关平抛运动的知识,沿 x 轴方向的物理量有速度 v_x 、位移 x 和时间 t ;沿 y 轴方向的物理量有速度 v_y 、位移 y 、加速度 a 和时间 t .当粒子从 F 点穿出电场时,粒子沿 x 轴方向的位移 $x = AE$,沿 y 轴方向的位移 $y = EF$.根据运动学公式可得 $x = v_x t, y = \frac{1}{2}at^2$.由牛顿第二定律可得 $F = ma$.至此,根据题目条件及需要,运用所学

的相关物理规律,将粒子做类平抛运动所需的物理量之间的关系表达出来.利用试题第(1)问的结果,

$$\text{可解出 } v_x = \frac{\sqrt{2}}{4}v_0.$$

(3)与第(2)问比较,可以发现,第(3)问要求解的问题与第(2)问相同,仅仅是前提条件发生了改变,由“为使粒子穿过电场后的动能增量最大”改变为“为使粒子穿过电场前后动量变化量的大小为 mv_0 ”.因此第(3)问的解题思路与第(2)问的解题思路基本一致,这里只做简单叙述.假设粒子在弧 DBC 上某位置 E 点穿出电场,如图6所示.

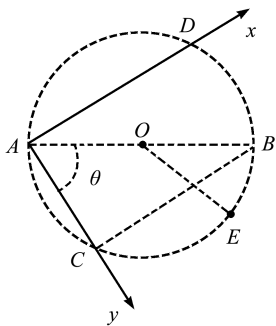


图6 试题(3)图

设 E 点的坐标为 (x, y) ,即该粒子做类平抛运动到达 E 点时,该粒子沿 x 轴方向运动的位移为 x ,沿 y 轴方向运动的位移为 y .由几何关系可知圆心

O 点的坐标为 $(\frac{\sqrt{3}}{2}R, \frac{1}{2}R)$, $OE=R$.故有

$$\left(x - \frac{\sqrt{3}}{2}R\right)^2 + \left(y - \frac{1}{2}R\right)^2 = R^2$$

设粒子以速度 v_x 进入电场,运动到 E 点的时间为 t .由运动学公式可得 $x = v_x t, y = \frac{1}{2}at^2$.再由牛顿第二定律可得 $F = ma$.

设粒子到达 E 点时沿 y 轴方向的速度为 v_y ,由于粒子仅在沿 y 轴方向受电场力作用,所以由动量定理可得 $mv_y = Ft$.根据题意可知 $v_y = v_0$.利用试题第(1)问的结果,可解得 $v_x = 0$ 和 $v_x = \frac{\sqrt{3}}{2}v_0$.

3 结束语

高考题型中综合性问题通常是把一个或多个研究对象设置在特定的条件下并提出一系列相关问题,无论问题情境多么复杂,对同一类物理现象,其

遵循的物理规律是不变的.运用基于物理认知规律的解题思路,可以帮助学生有条理、有方法、有依据、有步骤地分析问题所呈现的物理现象,形成有选择性、有方向性的思维合力,然后运用所学的物理规律规范地解释、表达现象.学生们在解决综合性物理习题(试题)的时候,往往只注重用公式演算得出结论,忽视了对物理现象的分析和物理模型的建立^[2],做题的时候依赖以前的做题经验^[7],以至于面对一些解题思路完全相同、仅知识条件和问题情境不同的习题(试题)的时候,学生们却不能很好地完成解答^[9].基于物理认知规律的解题思路,可以有效帮助学生克服以上问题.

学生在日常的学习和训练的过程中,运用物理认知规律的解题思路指导做题的另一个好处是:当题目做错的时候,该解题思路可以帮助学生分析哪一步出了问题,并且可以具体到是知识上的错误还是逻辑推导上的错误^[7].

基于物理认知规律的解题思路是一种完整性、系统性的解题思路,对于每一道物理题,都可以运用这种解题思路,在此基础上,有利于学生夯实基础知识,提高分析解决问题的能力,培养科学思维技能和发展学科素养.

参考文献

- 1 刘长灿. 2020年全国I卷物理试题分析及教学启示[J]. 物理教师, 2020(8): 78~80
- 2 郭芳侠, 薛雅文. 师范生原始物理问题表征能力的现状研究[J]. 物理与工程, 2020(2): 59~64
- 3 郭玉英, 卢俊梅. “为概念转变而教”策略综述[J]. 新课程教学, 2013(5): 49~56
- 4 肖苇. 学生力学学习障碍的心理分析[J]. 物理教学探讨, 2002(5): 13~14
- 5 李学潜. 物理是一种文化[J]. 物理与工程, 2019(5): 17~21
- 6 莉莲·麦克德莫特. 改进学生学习的钥匙[J]. 物理通报, 2001(10): 5~10
- 7 穆良柱. 什么是ETA物理教学法[J]. 物理与工程, 2020(2): 32~36
- 8 穆良柱. 什么是ETA物理认知模型[J]. 物理与工程, 2020(1): 29~33
- 9 刘玉斌. 高中生带着什么样的物理来大学[J]. 物理教学

探讨, 2019, 37(8): 1~4

Question-solving Ideas Based on the Laws of Physical Cognition

Fan Xiangmin Huang Lei

(Department of Physics, Heze Medical College, Heze, Shandong 274000)

Abstract: Aiming at the difficulties encountered by students in answering the comprehensive questions in the college entrance examination, based on the analysis of the reasons, using Mu Liangzhu's physics cognitive law model, summarize and summarize the solution ideas for answering the comprehensive problems in the college entrance examination. Taking question 25 of the 2020 college entrance examination comprehensive national volume I as an example, the specific application of problem-solving ideas based on the laws of physics is introduced in detail.

Key words: college entrance examination; comprehensive problems in physics; laws of physics cognition; ideas for solving problems

(上接第 83 页)

到 A 环沿杆运动的加速度 a_A 。显然对于 A 环而言, 必然有

$$F \cos \theta \cos \alpha = m a_A$$

由此便可得出细绳拉力的大小。但是正如前面所述, 对 v_A 的表达式直接求时间的导数其计算量过大, 特别是表达式根号项内存在两个角度变量的情况下, 对于问题运算而言无疑增加了很大的困难。虽然该方法原理上不存在任何问题, 但是在实际问题的解决过程中要根据问题本身的性质合理地运用。

同理, 由于增加了一个维度, 将平面运动转化为三维空间运动, 描述系统运动的变量增加了一个角度 α , 因此运用 1.2 中构建方程并对描述位置坐标的变量求时间二阶导数的方法也在一定程度上增加了运算上的难度。根据图 4、图 5 可得到 A 环与 B 球在空间直角坐标系下的位置坐标分别为

$$x_A = x$$

$$x_B = x + l \cos \theta \cos \alpha$$

$$y_B = l \sin \theta$$

$$z_B = l \cos \theta \sin \alpha$$

根据沿 x 轴方向系统动量守恒, 沿 y 轴方向与沿 z 轴方向的力学关系可建立方程如下

$$m \ddot{x}_A + 2m \ddot{x}_B = 0$$

$$2mg - F \sin \theta = 2m \ddot{y}_B$$

$$F \cos \theta \sin \alpha = 2m \ddot{z}_B$$

虽然上述方程联立之后通过运算并结合

$$F \cos \theta \cos \alpha = m \ddot{x}$$

亦可以得到细绳拉力 F 的大小, 但是其运算量过大, 不符合拓展解法中简便、直观的原则。可见求导法虽然对原题中细绳拉力的解答颇具新意, 但是一旦将问题背景由二维平面拓展到三维空间, 在增加描述运动变量的情形下, 利用导数求解无形中使问题的解析过程过于繁琐, 显然不是十分适用。由此可见, 拓展问题的解法不仅要追求创新, 同时也要兼顾解决问题方法的有效与直观, 过大的计算量的引入不是追求创新解法的目标。当然, 求导法解析动力学问题在高中物理中还有多方面的体现, 教师和学生可以在日常的教学实践中加以关注、积累与总结, 从而使数学方法能够更好、更有效地用于解决物理问题。

参考文献

- 1 于志明, 刘丽丽. 再谈“光滑斜面上滑块下滑问题”的求解方法[J]. 物理通报, 2017, 36(7): 9~11
- 2 费新良, 沈卫. 另解 2017 年全国物理竞赛预赛第 16 题[J]. 物理通报, 2018, 37(8): 54~55
- 3 朱远稼, 李力. 求小振动周期应注意的一个近似处理[J]. 物理通报, 2017, 36(7): 107~108