

从分析一道高考题出发培养学科本质思想探讨*

——以牛顿力学“非惯性参考系”为例

高雨农 侯 恕

(东北师范大学物理学院 吉林 长春 130024)

(收稿日期:2023-06-01)

摘要:从一道高考物理原题出发,在分析学生解题失错原因后,基于大学物理提出在牛顿力学非惯性参考系中解题的教学策略和建议,通过在物理教学中促进学生拓展物理学科知识、形成物理学科思维、提升物理学科观念,从而深抵物理学科本质,并提出非惯性参考系教学过程的策略和建议。

关键词:相对运动;非惯性参考系;物理学科本质

相对惯性参考系具有加速度的参考系中,牛顿运动定律不再成立,这样的参考系是非惯性参考系^[1]。作为力学知识体系中的重要概念,是除惯性参考系外的另一参考系。虽然在《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》中并未要求,但普通高中教科书《物理(必修第一册)》(人民教育出版社)对非惯性参考系做出了描述:“以加速运动的纸为参考系,牛顿第一定律并不成立,这样的参考系叫作非惯性系。”^[2]所以从非惯性参考系解决一道高考物理习题出发,探讨非惯性参考系的教学策略和教学建议,为促进有能力和发展潜力的学生拓展物理知识、形成科学思维、提升物理观念,从而为深抵物理学科本质奠定基础。

1 问题原型

1.1 经典试题

【题目】(山东省2022年普通高中学业水平等级考试物理第16题)如图1所示,“L”型平板B静置在地面上,小物块A处于平板B上的O'点,O'点左侧粗糙,右侧光滑,用不可伸长的轻绳将质量为M的小球悬挂在O'点正上方的O点,轻绳处于水平拉直状态,将小球由静止释放,下摆至最低点与小物块A发生碰撞,碰后小球速度的方向与碰前的方向相同,开始做简谐运动(要求摆角小于5°),A以速度 v_0 沿平板滑动直至与B右侧挡板发生弹性碰撞,一段时间后,A返回到O'点的正下方时,相对于地面的速度

减为零,此时小球恰好第一次上升到最高点。已知A的质量 $m_A=0.1\text{ kg}$,B的质量 $m_B=0.3\text{ kg}$,A与B间的动摩擦因数 $\mu_1=0.4$,B与地面间的动摩擦因数 $\mu_2=0.225$, $v_0=4\text{ m/s}$,取重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$ 。整个过程中A始终在B上,所有碰撞时间忽略不计,不计空气阻力,求:

- (1)A与B的挡板碰撞后,二者的速度 v_A 和 v_B ;
- (2)B光滑部分的长度 d ;
- (3)运动过程中A对B的摩擦力所做的功 W_f ;
- (4)实现上述运动过程, $\frac{M}{m_A}$ 的取值范围(结果用 $\cos 5^\circ$ 表示)。

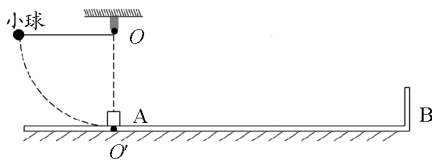


图1 山东省2022年普通高中学业水平等级考试物理第16题图

1.2 常规解法

为了研究问题方便,后文忽略(3)、(4)问,该题第(2)问的常规解法是在第(1)问求出 v_A 和 v_B 的基础上,基于几何关系,A减速运动的距离等于B向右运动的距离,根据动能定理和动量定理求出A减速运动的时间和位移,再根据运动学和动力学公式求出B的运动时间和位移,最后根据几何关系求解,过程如下所示。

* 2021年吉林省教育厅教研项目“‘物理课堂问题分析研究’教学案例建设”研究成果。

以地面为参考系,物块A返回O点正下方时,相对地面速度为零,物块A减速过程根据动能定理有

$$-\mu_1 m_A g x_0 = 0 - \frac{1}{2} m_A v_A^2$$

根据动量定理有

$$-\mu_2 m_A g t_2 = 0 - m_A v_A$$

此过程中A减速的位移等于B向右的位移,所以在此过程对B有

$$\mu_2 (m_A + m_B) g = m_B a_1$$

$$x_0 = v_0 t_1 - \frac{1}{2} a_1 t_1^2$$

故根据几何关系有

$$d = v_A t_1 + x_0$$

联立上述5式解得

$$d = \frac{7}{6} \text{ m}$$

1.3 学生错误原因分析

在实践教学中,不同水平的高中生通常在以下几个方面产生错误:

第一,题意理解不清.在分析过程中,一部分思维有待提升的学生过度关注A、B两者的运动时间,试图在运动时间的等量关系中寻找契机,以此作为基础来解决问题.

第二,找不到几何关系.大多数学生知道此类问题的解题关键是A、B两者运动过程中位移的几何关系,从而过度关注,但是一些基础知识不扎实的学生并不能找到正确的几何关系,并会因此放弃整道习题,不会再运用动量定理和动能定理去求解A减速运动的位移和时间,从而丢掉整个题目的分数.

第三,无法将几何关系与习题联系起来.部分学生找到A、B两者运动过程中位移的几何关系并求得后,无法将这个几何关系与题目设置的问题“B光滑部分的长度d”联系起来,最终无法求得该题.

第四,其他知识运用不娴熟.一些学生在掌握了相对运动的解题方法后,还会受到其他知识不熟悉的阻碍.例如上述试题中涉及的动量定理和动能定理,一些知识综合运用能力较差的学生在解答习题时无法将动能定理和动量定理应用到此题目中来,导致题目解决进度受阻.从此种情况可以推断,涉及其他知识时可能仍会存在此种问题.

2 学科本质视域下利用“非惯性参考系”的解题过程

2.1 “非惯性参考系”的学科本质及其物理规律

所谓非惯性参考系,就是相对惯性参考系(地面)具有加速度的参考系.

非惯性参考系中,牛顿运动定律不再适用,因此为了能够在非惯性参考系中应用牛顿第二定律,人为地引入一个虚拟的力——惯性力,经过一般性的证明,非惯性参考系中物体所受惯性力为

$$F_{\text{惯}} = -ma_0$$

式中 m 是在非惯性参考系中物体的质量, a_0 是非惯性参考系本身相对惯性参考系的加速度,惯性力方向与非惯性系本身加速度方向相反.

例如,如图2所示,在电梯的超重与失重问题中,以加速度 a_0 坚直向上加速的电梯中,电梯中的物体处于超重状态,即电梯给物体的支持力大于物体重力.当以电梯建立非惯性参考系,电梯中的物体静止在参考系中,此时物体受到坚直向下的重力 G 、坚直向上的支持力 N 、坚直向下的惯性力 $F_{\text{惯}} = -ma_0$, m 为物体的质量,则在电梯对物体的支持力、物体重力和惯性力的作用下,物体在非惯性参考系中处于静止状态.

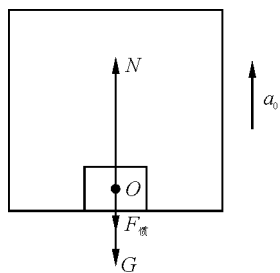


图2 坚直向上加速电梯的受力分析模型

非惯性参考系是力学的重要组成部分,是挖掘相对运动习题本质的关键,可以帮助学生更容易地解决复杂的相对运动问题,例如,物体匀速或者非匀速地在有摩擦的水平或倾斜传送带上相对运动,两物体不计摩擦的相对运动,两物体间摩擦力发生变化的相对运动等.

2.2 学科本质视域下利用非惯性参考系的解题过程

通常情况下,高一年级学生基本具备了逻辑思维能力和在惯性参考系中解答力学习题的知识基础与能力基础,根据学生在此阶段的经验,可以确定

利用非惯性参考系解答物理习题的过程为:根据问题确定研究对象—建立非惯性参考系—分析惯性力—对研究对象进行受力分析—应用牛顿运动定律及运动学公式求解.以上述经典试题为例,具体解题过程如下:

根据问题确定A为研究对象,以B为参考系, t_1 时间内,A在B的光滑部分相对B做匀减速运动走过的距离是 d ; t_2 时间内,A运动到B的粗糙部分;以地面为参考系,A全程相对地面走过的距离也是 d ;根据运动学和动力学部分的知识列出相关方程求解.

以B为参考系, t_1 时间内B有

$$\mu_2(m_A + m_B)g = m_B a_B$$

因为B的加速度向左,因此A受到向右的惯性力,根据牛顿第二定律有

$$F_{\text{惯}} = -m_A a_B = -m_A a_{A1}$$

a_{A1} 方向水平向右,A相对B的初速度大小为 v_{AB} ,则有

$$d = v_{AB} t_1 - \frac{1}{2} a_{A1} t_1^2$$

以地面为参考系, t_2 时间内A有

$$\mu_1 m_A g = m_A a_{A2}$$

a_{A2} 的方向水平向右,有

$$d = v_A t_1 + \frac{v_A^2}{2a_{A2}}$$

联立上述5式,解得

$$d = \frac{7}{6} \text{ m}$$

3 学科本质视域下“非惯性参考系”的教学价值

3.1 拓展物理学科知识 探析学科本质内涵

物理学科是一个知识丰富、注重逻辑的学科,知识之间存在着复杂的联系.非惯性参考系是参考系的一种,是以惯性参考系为基础的拓展,对于基础扎实和学有余力的学生来说,通过学习非惯性参考系的知识、掌握利用非惯性参考系解题的方法,可以完善对牛顿力学的认知,拓展物理学科知识,探析学科本质内涵,开拓新的解题思路和视角.

3.2 形成物理学科思维 洞察学科本质思想

物理学家劳厄曾说过:“重要的不是获取知识,而是发展思维能力,教育无非是一切都忘掉的时候,所剩下来的东西.”思维对于学习物理至关重要,分

析问题的思维对于解答习题也至关重要.在相对运动问题中,紧抓一个物体作为研究对象,以另一个物体建立非惯性参考系,在非惯性参考系中分析物体的运动状态,求解位移等;由此,在非惯性参考系中,不需再分析两个物体的运动状态及其位移之间的几何关系.关注物理思维的形成,要关注思维本身,也要关注思维和知识的相互作用,思维对物理学科的作用,从而洞察学科本质思想.

3.3 提升物理学科观念 深化学科本质价值

在促进学生学科知识的拓展和学科思维形成的基础上,进一步促进学生学科观念的提升,深化学生对学科本质价值的认识.在学生非惯性参考系前认知的基础上,通过真实情境和其他知识的铺垫,以及利用非惯性参考系解决物理习题,提升牛顿力学的相关观念,明确非惯性参考系是相对惯性参考系具有加速度的参考系,理解惯性力在非惯性参考系中的作用,以及非惯性参考系在牛顿力学中的重要地位.

4 学科本质视域下“非惯性参考系”教学策略与建议

4.1 关注已有知识 形成学习经验的基础

基于已有认知,学习新知识,是学习新知的有效手段.已有知识是学习新知识的基础,关注已有知识,可以为形成完整的知识结构打下基础.一方面是知识具有结构性,是相互联系的,学科知识之间的结构关系可以促进学生对知识的理解和迁移;另一方面学习已有知识形成的经验基础中,包含学习新知识可以用到的方法和策略.例如,在非惯性参考系的学习中,已有知识基础是牛顿运动定律和惯性参考系,学生可以将非惯性参考系理解为具有加速度的惯性参考系,并且在非惯性参考系中解决问题时,引入惯性力的基础上,依旧应用牛顿运动定律.惯性参考系和牛顿运动定律与非惯性参考系具有知识本质上的联系,能够促进非惯性参考系学习中知识的理解与迁移.

因此,学生学习时要关注已有知识,教师教学时要关注知识结构的联系和学生已有经验,促进学生学习新知的经验基础的形成.

4.2 创建真实情境 建立新旧知识的关联

学习者想要接受一种新知,不是证明正确,而是证明价值^[3],将非惯性参考系应用到真实情境中是

证明其价值的方式之一. 观察、创建真实情境, 将真切现实或真实事物转化为物理问题, 让学生在物理问题中可以有效地联想到生活经验, 分析、解决真实问题. 创设真实情境, 一方面可以通过学生熟悉的环境激发学生的学习兴趣, 建立生活经验与物理知识之间的联系; 另一方面可以通过真实情境建立新旧知识之间的关联. 例如在非惯性参考系的学习过程中, 引入电梯变速升降问题的真实情境, 可以通过学生熟悉的情境调动学生学习的积极性, 还可以通过分别在惯性参考系和非惯性参考系中分析电梯中人的受力情况和运动状态, 进一步建立惯性参考系和非惯性参考系之间的关联.

因此, 教师教学过程中, 适当关注真实情境的建立, 可以调动学生学习兴趣, 建立新旧知识的关联.

4.3 建构物理模型 实现学科问题的转化

通常情况下, 高一年级学生基本具备逻辑思维能力 and 模型建构能力, 从真实情境中提炼重要的物理问题是建构物理模型的重要一环, 因此提高学生建构物理模型的能力, 也能够提高学生将真实问题转化为学科问题的能力, 促进学生在真实问题中学习物理. 例如, 面对相对运动的真实情境, 将其中的真实问题转化为相对运动的物理问题, 再通过非惯性参考系的建立转化成非惯性参考系中单一物体运动的物理模型, 利用非惯性参考系和牛顿运动定律的概念和规律解决问题, 这个过程就实现了通过建构物理模型完成真实问题向学科问题的转化和解决, 促进了学生对非惯性参考系的掌握和理解.

因此, 教师教学过程中, 提高学生的物理模型建构能力, 可以有效地实现真实问题向学科问题的转化.

4.4 明晰学科本质 促进知识的深度理解

问题的解决需要建立在对问题本质的探讨中^[4]. 我们在研究物理问题时不能只关注表象, 而是要从知识和思维的角度去明晰问题的成因本质, 引导学生深入思考知识的本质属性和思维方式, 探寻其物理价值, 这样有助于促进对知识的深度理解. 例如在研究相对运动问题时, 不仅要关注物体的运动表象, 而是要从其成因本质上去分析, 把相对运动问题看成一个物体相对于一个非惯性参考系的运动, 非惯性参考系看成一个相对惯性参考系具有加速度的参考系, 从更深层次理解相对运动问题.

因此, 教师教学过程中, 多引导学生透过问题表象去挖掘其学科本质, 才能促进学生对知识的深度理解.

参考文献

- [1] 李凯. 惯性参考系与非惯性参考系[J]. 中学物理教学参考, 2021(2): 20-21.
- [2] 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书物理必修第一册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019: 87.
- [3] 怀特海. 教育的目的[M]. 庄莲平, 王立中, 译. 上海: 文汇出版社, 2012: 6-7.
- [4] 沈卫, 陈拥华. 构建模型 拓宽思路 突出本质 —— 对一个双球问题的研究与解法的拓展[J]. 物理教学, 2021(10): 50-52.

Discussion on Cultivating the Thought of Discipline Essence from Analyzing a College Entrance Examination Question

——Newtonian Mechanics “Non-Inertial Reference System” as an Example

GAO Yunong HOU Shu

(College of Physics, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024)

Abstract: Starting from an original physics question in the college entrance examination, this paper analyzes the reasons for students' mistakes in solving the problem, and puts forward teaching strategies and suggestions for solving problems in the non-inertial reference system of Newtonian mechanics based on college physics, by promoting students to expand the knowledge of physics discipline, form the thinking of physics discipline, enhance the concept of physics discipline, so as to reach the essence of the physics discipline deeply, and put forward strategies and suggestions for the teaching process of non-inertial reference system.

Key words: relative motion; non-inertial reference frame; the essence of physics discipline