



指向发展学生思维深刻性的物理教学*

——以“机械能守恒定律”的运用为例

刘成刚

(海东市第二中学 青海 海东 810600)

(收稿日期:2020-07-12)

摘要:思维的深刻性是指思维活动的抽象程度和逻辑水平.在物理教学中,可通过设置由浅入深、由简到繁的系列“递进问题”“易错问题”,通过辨析、评判和严密的“推理论证”,以达到培养学生思维深刻性品质的目的.“机械能守恒定律”常常是高中学生思维的难点,以此为例,借以阐述发展学生思维深刻性的物理教学实践.

关键词:思维深刻性 机械能守恒 物理教学

思维的深刻性是指思维活动的抽象程度和逻辑水平.它集中表现为善于抓住事物的本质和规律,不被表面现象所迷惑;善于从整体上用联系的观点,开展系统的、全面的科学思维活动;能深刻理解物理概念的内涵和外延,逻辑严密地进行推理论证.它和思维的灵活性、敏捷性、批判性和独创性构成了反映物理思维能力强弱的品质.思维的深刻性是一切思维品质的基础,发展学生思维的深刻性,有利于促进其他思维品质的发展^[1].

在“机械能守恒定律”运用中,学生对单个物体和包括地球组成的系统几乎没有问题,但对于存在相互作用的多个物体,出错的概率就会大幅度增加.本文将以此为例,探讨如何有效开展培养学生思维“深刻性”的教学.

1 以“递进问题”把握好对概念规律本质的教学

中学生常常由于缺乏对“概念和规律”的本质理解,忽视物理规律的使用范围,缺乏对问题深度分析,造成了对问题实质的错误判断或思维混乱,教学中可以通过设置由浅入深、由简到繁的系列“递进问题”,以逐步深化对规律本质的认识.

在“机械能守恒定律”的运用中,有弹力存在时,学生常常会犯两个错误:一是,不区分弹力是研

究系统的内力还是外力,一概认为只要只有重力或弹力做功,系统的机械能就一定守恒,事实上,如果弹力是研究系统之外的力做功,系统的机械能是不守恒的;二是,不考虑研究系统内弹力做功的特点,一概认为,只要系统内只有重力或弹力做功,系统的机械能就一定守恒,事实上,如果一对内弹力对系统做的总功不为零,同时又没有引起系统弹性势能的变化,该系统的机械能也一定是不守恒的^[2].

【例1】如图1(a)所示,小球从A点开始自由下落到B点时接触到固定在地面上的竖直轻弹簧的上端点,随之将弹簧压缩到C点后,再被弹簧竖直弹回到B点分离(忽略空气阻力).

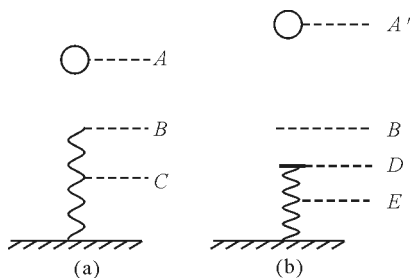


图1 小球自弹簧正上方某高度释放

问题1:小球从A点开始第一次到达B点的过程中,小球和地球组成的系统机械能是否守恒?

解析:忽略阻力,只有系统内重力做功,机械能守恒.

* 教育部中小学名师领航工程华东师范大学基地班立项课题“高中物理科学思维能力培养的教学途径研究”,课题批准号:2018GP01-M07;教育部“西部教学改革支持活动”青海省重点项目研究成果之一,课题批准号:QXM17ZD40

作者简介:刘成刚(1966-)男,正高级教师,特级教师,主要从事中学物理教学及研究.

问题 2: 小球从 B 到 C 再到 B 的过程中, 小球和地球组成的系统的机械能是否守恒?

解析: 此过程中, 除了系统内重力做功外, 还有系统外的弹簧弹力做功, 系统内的机械能(动能、重力势能)和系统外的弹簧的机械能(弹性势能)相互转化, 因此系统的机械能不守恒。

问题 3: 小球从 B 到 C 再到 B 点的过程中, 小球、弹簧和地球组成的系统的机械能是否守恒?

解析: 此过程中, 地面虽对弹簧有力的作用, 但弹簧与地面接触的作用点并未发生移动, 故地面对弹簧的力不做功, 则小球、弹簧和地球组成的系统, 只有系统内重力和系统内弹簧的弹力做功, 小球的动能、重力势能和弹簧的弹性势能在系统内相互转化, 与外界无能量交换, 因此系统的机械能守恒。

问题 4: 小球从 A → B → C → B 的过程中, 小球、地球组成的系统的机械能是否守恒?

解析: 不守恒. 理由同问题 2.

问题 5: 小球从 A → B → C → B 的过程中, 小球、弹簧和地球组成的系统的机械能是否守恒?

解析: 守恒. 理由同问题 3.

问题 6: 如果在轻弹簧的上端固定一铁板, 如图 1(b), 平衡时将弹簧的上端压缩至 D 点, 小球从某高度 A' 点自由释放, 碰到铁板后立刻与铁板一起运动, 将弹簧上端压缩至最低点 E 处, 但不粘连, 之后小球仍被弹回到 B 点与铁板分离. 以铁板、小球、弹簧和地球组成系统, 该系统在小球与铁板分离前的整个过程中机械能是否守恒?

解析: 对铁板、小球、弹簧和地球组成的系统, 因为小球与铁板碰撞的过程中, 要压缩铁板, 压缩过程中铁板向下的位移要小于小球向下的位移, 但碰撞间的相互作用的弹力大小相等, 因此小球对铁板所做的正功要比铁板对小球所做负功少, 即碰撞过程中一对内弹力做的总功为负, 且由于碰撞过程十分短暂, 弹簧还未来得及形变, 碰撞已结束, 弹簧的弹性势能保持不变, 碰撞减少的机械能转化为内能, 因此该系统此过程的机械能不守恒, 整个过程的机械能也就不守恒了。

以上是根据学生可能的认知, 设置环环相扣的“递进问题”, 使学生在心理上产生困惑, 诱发进一步想突破冲突, 同时教师又给学生以“脚手架”开启学生的思维, 深化了对机械能守恒条件的本质理解, 有

利于提升学生思维的深刻性。

2 对“易错问题”进行辨析和评判 提升学生思维的缜密性和全面性

高中学生思维水平和分析问题的能力尚处在发展阶段, 因此在学习过程中难免因为思维不周全而导致错误. 教学中应积累学生有价值的错误, 让学生通过辨析和评判, 在探明错因的过程中, 发展学生思维的缜密性和全面性。

学生学习了“机械能守恒定律”后, 知道单个物体和多个物体守恒条件不同, 但是在解决多个关联物体的实际问题时, 常常表现出“割裂”研究对象, 思维不严谨和不全面的现象. 教学中可以通过对“易错问题”的辨析和评判, 发展学生思维的严谨性和全面性。

【例 2】 如图 2(a) 所示, 质量均为 $m = 2 \text{ kg}$ 的完全相同的 A, B 两球迎面弹性正碰. 碰撞前球 A, B 速度分别为 $v_A = 5 \text{ m/s}$, $v_B = -4 \text{ m/s}$ (取 A 碰撞前速度为正方向), 求在碰撞过程中, A, B 两球最大弹性势能?

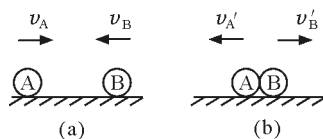


图 2 小球迎面弹性正碰前后

解法 1: 由于 A, B 为弹性正碰, 则碰撞过程动量守恒和机械能守恒, 质量相等的物体碰撞后交换速度. 即碰撞后 A, B 两球的速度分别为 $v'_A = -4 \text{ m/s}$, $v'_B = 5 \text{ m/s}$, 如图 2(b). 不难推知, 碰撞过程中 A, B 都是各自先沿原方向将速度逐渐减小到零再反向加速运动直至交换速度. 因此球 A, B 的最小动能都为零. 由机械能守恒知, 球动能最小的时刻就是其弹性势能最大的时刻, 球动能的减少量等于其弹性势能的增加量. 则 A 球的最大弹性势能为

$$E_{pAm} = \frac{1}{2}mv_A^2 - 0 = \frac{1}{2} \times 2 \times 5^2 = 25 \text{ J}$$

球 B 的最大弹性势能

$$E_{pBm} = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0 = \frac{1}{2} \times 2 \times (-4)^2 = 16 \text{ J}$$

解法 2: 弹性势能最大, 对应形变量最大. 对小球碰撞的运动过程分析可知, 形变量最大时两球达到共同速度. 由动量守恒定律 $mv_A + mv_B = 2mv_{共}$

得它们的共同速度 $v_{\text{共}} = 0.5 \text{ m/s}$, 方向与 A 球碰撞前速度方向相同. 如上对球 A、B 分别运用机械能守恒得:

A 的最大的弹性势能

$$E_{\text{pAm}} = \frac{1}{2}mv_{\text{A}}^2 - \frac{1}{2}mv_{\text{共}}^2 = 24.75 \text{ J}$$

B 的最大弹性势能

$$E_{\text{pBm}} = \frac{1}{2}mv_{\text{B}}^2 - \frac{1}{2}mv_{\text{共}}^2 = 15.75 \text{ J}$$

师:上述两种解法似乎都有道理,但却得出了不同的结论,显然至少有一种是错误的,请同学们仔细侦查错误之处(留给学生一定的时间思考).

生甲:弹性势能最大应该是形变量最大.形变量最大时,两者速度相同,相同速度为 $v_{\text{共}} = 0.5 \text{ m/s}$,不是零.因此解法 1 应该是错误的,解法 2 应该是对的.

师:解法 1 中,动能最小,势能最大,难道不符合机械能守恒吗?

经过追问,学生对解法 2 也产生了疑惑.

生乙:上述情境是两个完全相同的小球发生弹性正碰.根据牛顿第三定律,在碰撞的任意时刻,相互碰撞的弹力大小应该相等,根据胡克定律,两球的形变量相同,弹性势能也应该相同,因此任何时刻两球弹性势能之比(包括最大值之比)应为 1:1.解法 2 应该是错误的.

师:难道形变量最大,不应该是弹性势能最大?

经过追问,学生意识到两种解法可能都是错误的.

师:上述两种解法都用到了机械能守恒定律.其研究对象是分别针对 A(包括地球)、B(包括地球)还是 A 和 B(包括地球)组成的系统?

生:两种解法的机械能守恒对象都是分别针对球 A 和球 B.

师:A 和 B 各自的机械能真的守恒吗?(留给学生一定的时间思考)

生:(恍然大悟)A 受到 B 的弹力,对 A 来说是外力;B 受到 A 的弹力,对 B 来说也是外力;外弹力做了功,A 和 B 各自的机械能是不守恒的.

至此,学生明白,两种解法都是忽视了机械能守恒定律的使用范围,把满足 A 和 B 组成系统的机械能守恒的条件不加区分的分别用到 A 和 B 中去,把

系统的弹性势能最大跟各小球的弹性势能最大割裂开来.此外,解法 1 还缺乏对碰撞过程的全面分析,解法 2 还缺乏对小球碰撞时相互作用规律的分析,这正是学生思维不缜密、不全面所致.

有了上述辨析,不难理解:A 和 B 系统弹性势能最大值应为

$$E_{\text{pm}} = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2} \times 2m \times v_{\text{共}}^2 = 40.5 \text{ J}$$

则每个小球弹性势能最大值为

$$E_{\text{pAm}} = E_{\text{pBm}} = \frac{1}{2}E_{\text{pm}} = 20.25 \text{ J}$$

学生在学习过程中,难免存在思维不缜密和不全面的缺陷.教师可通过故意设置思维“陷阱”,让学生多“掉”下去几次,使学生在“吃一堑、长一智”中促进学生思维的缜密性和全面性.

3 强化“推理论证”提升学生思维的逻辑水平

“推理论证”是对学生思维品质的更高要求.它是通过严密的理论推导,严格的理性表达,达到解释物理本质的目的.在物理教学中,通过定量地严密推导和推理论证,可促使学生对问题的“深度”理解,从内心真正消除“疑惑”,提升学生思维逻辑水平和思维的深刻性.

【例 3】如图 3 所示,带有 $\frac{1}{4}$ 光滑圆弧轨道的小车静止在光滑的水平地面上,现把一个小球从轨道顶端释放,判断小球、小车以及小球与小车组成的系统机械能是否守恒?(研究对象均包括和地球组成的系统)

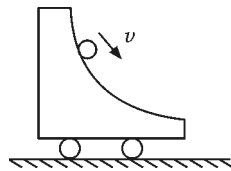


图 3 小球自轨道小车顶端释放

解析:对于上述问题的解决,以往的教学教师常常以简单的定性分析就结束.如在判断“小球与小车组成的系统”时,分析如下,“由于小球和小车组成系统内外均无摩擦,小球在小车上运动时,没有内能的产生,因此该系统的机械能守恒”.这样的定性判断,对于基础较好的学生是远远不够的.教师有必要引导学生从做功的角度进行“定量思维”.本问题

中,由于地面对系统的支持力不做功,重点是定量判定“一对内弹力对系统做的总功”是否为零,若为零,则系统的机械能守恒.

首先,要引导学生画出物体受力和运动速度的示意图.对小车:示意图如图4(a)所示,小球沿轨道向下运动的过程中,小车向左运动,小车所受小球压力 N_1 和其运动速度 v_1 成锐角,因此, N_1 对小车做正功,小车机械能不守恒.对小球:示意图如图4(b)所示,小车的运动使小球运动的轨迹不再是圆弧,因此,小车对小球的支持力 N'_1 不再与其速度垂直,其分运动一边是随小车有向左水平速度 v_1 ,一边是沿圆弧切线向下的速度 v_2 , N'_1 与 v_1 成钝角,与 v_2 成直角,因此,支持力 N'_1 对小球做负功,小球的机械能也不守恒.

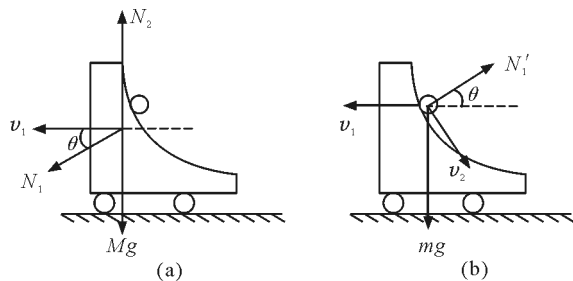


图4 推导一对内弹力做功的示意图

其次,要引导学生进行定量推证,对小车:压力 N_1 对其做功的功率为

$$P_1 = N_1 v_1 \cos \theta$$

对小球:支持力 N'_1 对其做功的功率为

$$P_2 = N'_1 v_1 \cos(\pi - \theta) = -N'_1 v_1 \cos \theta$$

由于压力 N_1 和支持力 N'_1 是作用力和反作用力,任何时刻大小相等,因此一对内弹力做功代数和为零,故小球和小车系统只有重力做功,系统机械能守恒.

以上从严格“定量推导”到严密的“逻辑推理论证”,不仅加强了对系统机械能守恒条件的内涵理解,还增加了“思维深度”和“逻辑水平”,有利于发展学生思维深刻性的品质.

总之,物理问题总是与复杂的事物和复杂的物理情境相关联.复杂情境中不同的研究对象和不同的研究过程,问题的本质可能就会不同.让学生在复杂的实际问题情境中去层层递进地把握对问题规律的本质认识,对“易错问题”的辨析和评判,训练严密的逻辑推理论证,有利于深刻理解物理概念和规律的内涵和外延,有利于发展学生思维的缜密性、全面性和逻辑推理能力,最终达到发展学生思维深刻性品质的目的.

参考文献

- 1 胡卫平.科学思维培育学[M].北京:科学出版社,2004. 41~44
- 2 王高.“机械能守恒定律”教学的深度探究[J].物理通报,2014(9):50~51

Physics Teaching on Pointing to Developing Thinking Profundity of Students

—Take the Law of Conservation of Mechanical Energy as an Example

Liu Chenggang

(The Second Middle School of Haidong City, Haidong, Qinghai 810600)

Abstract: The profoundness of thinking refers to the abstraction and logical level of thinking activities. In physics teaching, a series of progressive and error-prone problems can be set from simple to complex. Achieve the purpose of cultivating students' profound thinking via debate, judgment and strict reasoning. The law of conservation of mechanical energy is often a difficult point in the thinking process of high school students. This article will take this as an example to illustrate the physics teaching practice that develops the profoundness of students' thinking.

Key words: the profoundness of thinking; physics teaching; the law of conservation of mechanical energy