

习题教学中的思维诊断 矫正与拓展*

——理解摩擦力被动性与适应性的思维加工

白晶

(南京市第一中学 江苏 南京 210001)

(收稿日期:2021-09-16)

摘要:思维诊断、矫正与拓展是提升习题教学价值的有效途径.以一道斜面上摩擦力分析的习题为例,通过问题解决的思维诊断,矫正摩擦力分解的误区;通过变式问题的思维体验,理解摩擦力的被动性与适应性;通过情境迁移的思维拓展,促进理解摩擦力的性质在现实生活中的应用.

关键词:思维 摩擦力 诊断 矫正

《普通高中物理课程标准》指出,习题教学的作用旨在提高学生的问题解决能力,要通过问题解决促进物理学科核心素养的达成^[1].习题教学设计的关键是如何反馈概念与规律的理解程度,如何诊断与矫正思维过程中的误区或盲区,以及如何通过情境迁移的思维拓展以深理解与优化思维,进一步提升问题解决的能力.习题教学不同于考试检测,要立足于展现思维过程与细节,在思维过程的关键环节设置问题,鼓励学生表达对问题的思考,其实施路径如图1表示.

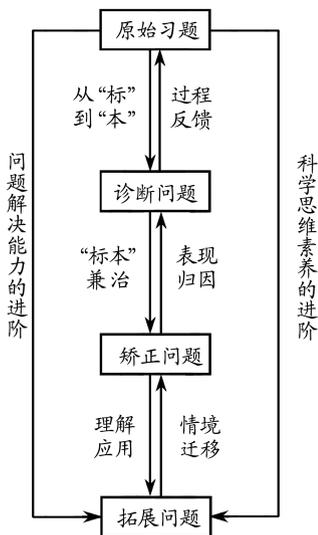


图1 习题教学中思维加工的实施路径

本文以一道有关斜面上摩擦力分析的习题为例,探讨习题教学中思维诊断、矫正与拓展的实施路径.

1 解题过程的思维诊断——摩擦力分解的误区

【原始习题】如图2所示,重8 N的物块P静止在倾角 $\theta=30^\circ$ 的固定斜面上.现有方向平行于底边BC的水平力F推物块,当F逐渐增大到等于3 N时,物块恰好在斜面上做匀速直线运动.求物块运动时所受的摩擦力.

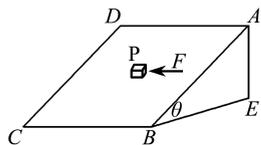


图2 原始习题图

作答:物块做匀速直线运动,处于受力平衡状态.将图2转换为侧视图(图3)、垂直于斜面的俯视图(图4).

将重力G正交分解,沿斜面的分量为 G_1 (下文中称其为下滑力, $G_1 = G \sin \theta = 4 \text{ N}$),垂直于斜面的分量为 G_2 . G_2 与支持力N平衡.推力F、下滑力 G_1 、静摩擦力f,三者平衡,矢量和为零,可求得摩擦力f为5 N,方向如图4所示.

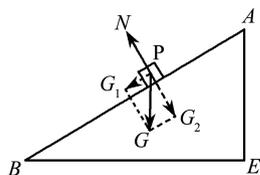


图3 侧视图

* 江苏省中小学教学研究第13期课题“以学习为中心的课堂教学设计与实施的研究”的阶段性成果,课题编号:2019JK13-ZB07

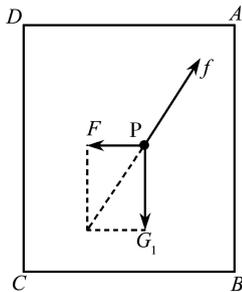


图4 垂直于斜面的俯视图

诊断问题:在原始习题的基础上分析判断,选择出可能反映物块运动方向的虚线(见图5)()

- A. 虚线1 沿推力方向
- B. 虚线2 沿斜面向下(平行于 AB)
- C. 虚线3 沿斜面斜向下(介于方向1与方向2之间)
- D. 以上答案都不对

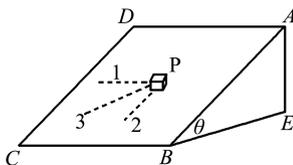


图5 诊断问题图

作答:依题意,物块恰好做匀速直线运动,仍处于受力平衡状态,再由滑动摩擦力与相对运动的方向相反,得到物块运动的方向应与图4中摩擦力 f 的方向相反,即可能沿图5中虚线3所示的方向运动。

学生对于诊断问题的作答表现说明,原始习题的正确作答并不能够充分反映学生对物块运动的真实理解。作答诊断问题的典型错误是认为物块将沿着推力 F 的方向运动。通过对学生的访谈,进一步了解学生的思维过程,可以发现摩擦力分析的思维过程中存在的误区。

误区:在面 $ABCD$ 上建立直角坐标系 xOy , x 轴正方向为水平向右,如图6所示。在垂直于斜面的俯视图(图7)中分析如下,沿 x 负方向的推力 F 对 y 方向的分运动没有影响,沿 y 正方向的摩擦力 f_y 与下滑力 G_1 平衡,据此认为物块在 y 方向上无相对滑动,沿 x 正方向的摩擦力 f_x 随着推力 F 的增大而增大,最终 f_x 由静摩擦力转为滑动摩擦力。于是得到,物块恰好开始运动时沿 x 负方向,即推力 F 的方向。

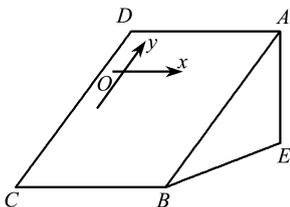


图6 斜面上建立直角坐标系

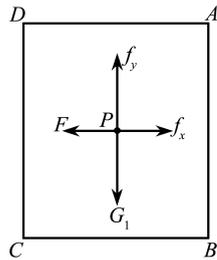


图7 垂直于斜面的俯视图

诊断:两物体接触面上的一个质点受到的摩擦力,或者是静摩擦力,或者是滑动摩擦力。确定的质点不会同时受到静摩擦力和滑动摩擦力。两个物体确定的接触面之间相对运动的方向或者相对运动趋势的方向如果存在,就是唯一的。上述误区违背了这样的事实,错误源于不恰当地分析了摩擦力分量独立作用时对分运动的影响。

在分运动的维度上讨论力与运动的关系,要特别注意摩擦力规律使用的适切性。摩擦力的分量并不是实际的摩擦力,不能说其作用效果是阻碍该方向上的相对分运动(或趋势)。这种误解丢失了摩擦力的动力学意义。动力学问题从根本上是研究合力与合运动的关系,无论将摩擦力如何分解,阻碍相对运动(或趋势)应是其所有分量矢量和的作用效果。

2 问题变式的思维矫正——摩擦力性质的体验

误区的诊断并不意味着学生的思维得到了充分的矫正。标本兼治的关键是分析思维误区产生的原因,并矫正问题,促进对概念或规律的充分理解。摩擦力参与对物体运动状态变化的影响,同时也受到物体运动状态变化的影响,这种动力学的负反馈关系是摩擦力作为被动力的性质表现^[2]。摩擦力作为被动力,表现为维持相对静止或阻碍相对运动,不妨称为摩擦力的适应性。上述误区产生的原因是对摩擦力被动性与适应性的性质没有充分理解。为此设计以下3个矫正问题,旨在矫正摩擦力分析的思维误区。

【矫正问题1】推力 F 逐渐增大到3 N的过程中,物块受到的摩擦力如何变化?若认为滑动摩擦力与最大静摩擦力数值相等,求物块与斜面之间最大静摩擦力的值。

在面 $ABCD$ 上进行动态的受力分析,可知静摩擦力逐渐增大,且方向不断变化。如图8所示,摩擦力由 f_0 逐渐变化到 f_m ,达到最大值,方向与物块恰好运动的方向相反。当推力 $F=3$ N时,根据力的平衡条件,

求出最大静摩擦力 $f_m = 5 \text{ N}$. 若按照误区中的思路, 将得到最大静摩擦力为 4 N , 这是不符合事实的.

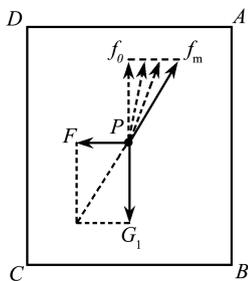


图8 矫正问题图

【矫正问题2】将原始习题中推力的条件改为: 逐渐增大推力, 但在物块开始滑动前将推力替换为比 3 N 更大一些而方向不变的力, 例如替换为 5 N 的推力, 物块的运动状态如何变化?

设推力 F 与下滑力 G_1 的合力为 T , 当推力 $F = 5 \text{ N}$ 时, 有

$$T = \sqrt{F^2 + G_1^2} = \sqrt{41} \text{ N}$$

合力 T 大于最大静摩擦力 f_m , 物块将相对斜面滑动, 所受摩擦力从静摩擦力突变为大小不变的滑动摩擦力 f . 物块的初始状态速度为零, 将沿 T 的方向做直线运动, 因此所受摩擦力 f 的方向也不再变化. 综上判断, 物块受到的合外力恒定, 将沿 T 的方向做匀加速直线运动.

【矫正问题3】将原始习题中推力的条件改为: 当推力 F 逐渐增大到等于 3 N 之后, 继续逐渐增大推力到等于 5 N , 推力方向不变. 物块的运动状态如何变化?

当推力大于 3 N 时, 物块已经滑动. 在物块滑动时, 若推力继续增大, 推力 F 与下滑力 G_1 之合力 T 的大小与方向均不断变化. 物块受到的合外力方向也不断变化, 产生与瞬时速度方向不共线的加速度, 进而导致速度方向变化, 因此滑动摩擦力的方向也是不断变化的. 综上判断, 物块开始滑动之后, 速度与加速度都在不断调整变化 (这个暂态过程是曲线运动), 最终将在一条新的直线轨迹上做匀加速直线运动.

3个矫正问题, 通过条件与设问的变化, 关注了摩擦力由“静”转“滑”的临界状态, 关注了摩擦力在主动力变化过程中的动态响应, 使得摩擦力的被动性与适应性通过思维加工得以展现.

3 情境迁移的思维拓展——摩擦力性质的应用

【拓展问题】注意到前面讨论的问题中, 物块受到的推力与下滑力总是互相垂直, 且推力不必达到

最大静摩擦力的值就可以推动物块. 这个事实与一些生活经验有着相同的物理原理, 例如: 为了把钉子从木板里拔出来, 采用边转边拔的办法比直接拔出要容易得多. 前面讨论的问题对于解释这样的生活经验有怎样的启示?

如图9所示, 固定的水平面上有一物块 Q 以速度 v_0 滑动, 滑动摩擦力 f 与 v_0 方向相反. 若物块突然获得一个与 v_0 方向垂直且很小的侧向速度 u , 则其合速度 v 将从 v_0 的方向偏过一个很小的角度 φ . 于是摩擦力 f 也从原来的方向偏过角度 φ , 与 v 方向相反, 但大小不变, 用 f' 表示. 可见, 在与相对运动方向垂直的方向上 (称其为侧向), 只需要很小的侧向力就能引起侧向的相对滑动^[3].

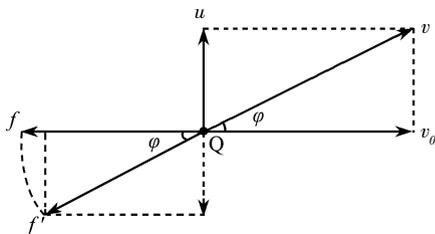


图9 拓展问题图

为了把钉子从木板里拔出来, 之所以采用边转边拔的办法比直接拔出要容易得多, 是因为物体在与它相对滑动方向相垂直的方向上 (侧向) 其摩擦力分量具有如下特征: 只需以很小的侧向力, 就能引起侧向的相对滑动, 并且侧向的摩擦阻力随着侧向滑动速度的减小而减小^[3]. 对照前文中斜面上的摩擦力分析可以发现, 斜面上物块受到的下滑力恰是充当了物块在推力作用下滑动的侧向力角色.

以上从原始习题和诊断问题, 到矫正问题, 再到拓展问题, 通过思维加工深入挖掘了一道习题的教学价值, 说明习题教学应更多关注问题解决的思维过程, 其关键策略是: 对问题情境进行发散性与批判性的思维加工, 引导学生对思维过程进行阐释, 以发现并诊断问题理解与思维方法的误区; 依托物理情境的变化与迁移, 在丰富的思维体验中矫正误区, 以促进物理概念与规律的深入理解.

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年版 2020年修订) [M]. 北京: 人民教育出版社, 2018. 54 ~ 56
- 2 周衍柏. 理论力学教程 (第2版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1986. 28
- 3 王溢然. 干摩擦而具有湿摩擦的特征 [J]. 物理教师, 1989 (2): 46 ~ 47