

提升劣构问题解决能力的教学策略

林 勤 (上海市市西中学 上海 200040)

摘 要 劣构问题,是一类对问题缺乏明确的界定,问题的构成存在不可知的部分;难以确定哪些规则和原理是解决问题必须的;难以确定解决问题的方法和步骤,需要通过尝试不同的解决方案去寻找最佳的解决办法的问题。提高学生劣构问题的解决能力,应该有可以操作的教学策略。包括情景教学方法、PBL 教学方法、以良构问题为基础和支架、关注分析评价创造等环节,实践科学思维的方法。

关键词 劣构问题 良构问题 高阶思维

文章编号 1002-0748(2020)9-0029

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

乔纳森博士根据问题特性的不同,将问题分为良构问题和劣构问题。良构问题,一般是指问题有唯一解。解决这类问题需要根据限定的问题条件,运用所学的概念、规则和原理。劣构问题,则是问题缺乏明确的界定,问题构成存在不可知的部分;难以确定哪些规则和原理是解决问题必须的;难以确定解决问题的方法和步骤,需要通过尝试不同的解决方案去寻找最佳的解决办法^[1]。提升劣构问题的解决能力^[2],是高阶思维培养的重要内容,需要采取一定的教学策略。

1 应用情境教学法提高学生劣构问题解决能力

解决劣构问题较解决良构问题有较大的难度。所以激发学生劣构问题解决的积极性,开发学生的思维潜质,是提高劣构问题、特别是物理劣构问题解决能力的前提。情境教学,通过真实生活场景、或真实场景的模拟,让学生观察体验,质疑发现,能培养学生良好的分析、综合、评价的思维能力,是提升学生劣构问题解决能力的重要策略。

1.1 支架问题的研究

例 1 轻杆 OA 连接在墙壁上 O 点并可绕 O 点转动。A 端被轻绳拉住同时悬挂了一个重为 G 的物体。试分析 A 端轻绳与水平面夹角满足什么条件,可使轻绳的拉力大于、小于、等于重物的重力,如图 1 所示。

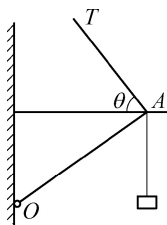


图 1

这是学生比较熟悉的情境,教材上有类似的例题,如图 2 所示,生活中也能常见到被钢索、绳缆拉住的电杆。学生对于支架的一些特殊情况,如轻绳恰为水平的情况、轻

绳与水平成 45° 角的情况等也都有一定的解决经验。之所以能将这个问题归类于劣构问题,关键是问题的条件不够清晰,特别是绳与杆的夹角、杆与墙壁夹角的不确定,导致了结论的不确定。因此需要对条件界定分类讨论。这样就可以将问题转换为几个良构问题的解决。

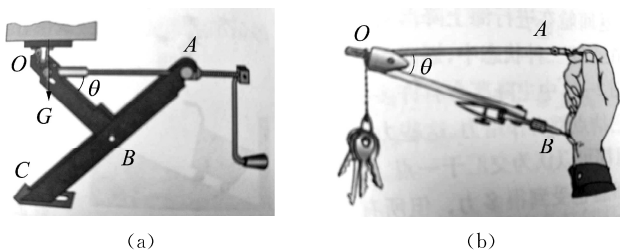


图 2

当杆与墙壁的夹角为任意角(不等于 90° 角)、而绳为竖直时,或当杆与墙壁成 45° 角,且绳水平时,拉力都等于物体重力;当杆与墙壁夹角从 45° 角逐渐减小、且绳为水平时,由力矩关系可知,拉力小于物体重力、甚至可以变为零(杆与墙壁为 90° 角);当杆与墙壁成 90° 角、绳为右上方向时,绳的拉力一定大于物体重力。

除了上述几个特殊解,还可以有更多的答案。而情境的引入,则是本题求解的重要思路。

1.2 玻璃管中水银的问题

例 2 一段内有封闭气体、另一端开口向下的玻璃管中,装有一定量的水银,如果用激光在玻璃管中不同位置打一个小孔,管中水银会出现什么情况,如图 3 所示。

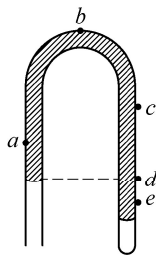


图 3

这也是一个条件不清晰的问题。在什么位置打孔、判断哪里有水银情

况,都需要进行界定讨论。不妨将打孔位置分别设为 a 、 b 、 c 、 d 、 e 五处,再来分析。

在 a 、 b 、 c 三处打孔,相当于两端开口玻璃管(直管或弯管)的场景,这个情境是学生从初中开始学习大气压的知识,就观察过的,如图 4 所示。 a 处以下、 b 处左侧、 c 处以上及右侧的水银将全部从左管中流出玻璃管, a 处以上、 b 处右侧、 c 处以下的水银则分别向上、向右、向下压缩气体。

若在 d 处打孔后,因 d 处压强本就等于大气压,类似图 4(a),将没有水银流出。如果在 e 处打孔,则由于 e 处原压强大于大气压,故 e 上方及左侧水银将全部从 e 处流出。而 e 处下方的水银情况还需要进行讨论。下方水银从 e 点溢出是可以肯定的,但是否全部流尽则不一定。可能流出一部分,当存留水银与气体压强的总和等于大气压时, e 点以下部分将处于平衡状态。也可能 e 点以下水银全部溢出,使封闭气体压强等于大气压。这就取决于图 3 中初始时水银高差和封闭气体的压强了。

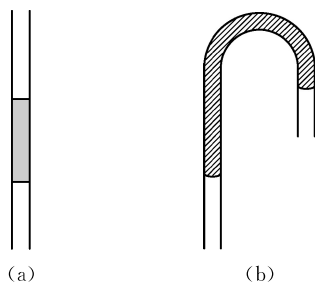


图 4

本题不仅再次表现了问题的劣构性,也对情境教学对于助力学生解决劣构问题的意义作了说明。

2 运用 PBL 教学法提高学生解决劣构问题能力

PBL 教学法是指问题式学习或者项目式学习的教学方法。PBL 教学法以问题为导向、在教师的引导下,通过学生小组讨论的形式,围绕问题独立收集资料,发现问题、解决问题,培养学生自主学习能力和高阶思维能力。

2.1 粒子的落点问题

例 3 半径不计的转轴,带动圆筒一起以角速度匀速转动。转轴上有一个小孔 k ,正对着筒上 k 平面上的 a 点,如图 5 所示。小孔中可以连续不断地发射出速率不变的粒子。若不考虑粒子飞行时的平抛效应,试确定粒子可能击中 k 平面上圆筒的位置。

尽管本题已经知道了系统做匀速转动,但角速

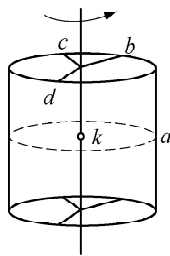


图 5

度大小并不知道,粒子飞行的轨迹也不确定,这就可能导致结论的不唯一。大部分学生对粒子能打中的边缘位置,直观判断可能是 b 、 c 、 d 三处。道理很简单,粒子飞出后到达边缘有一个时间差,圆筒在此时间内旋转另一个角度。据此也有人提出因为粒子连续发射,就可能打中筒上的各个点,形成弥漫的结果。也有人注意到了,假如粒子飞出后筒刚好旋转一周,也有可能击中 a 点。

在讨论、猜测的基础上,学生对两个关键问题:粒子运动的轨迹及特点、粒子击中 a 点需要满足什么条件?再次进行了问题讨论。使学生们明白了尽管粒子连续发射,但 k 点始终也在旋转。任何时刻喷口都是正对 a 点,与初始情况完全相同。而粒子发出后做匀速直线运动,其到达边缘的时间 t 是唯一确定的。这段时间内,圆筒只要有一定的角速度,转过的角度就应该唯一确定。所以击中边缘的位置只能是唯一的一个点,不存在弥漫现象。至于重新击中 a 点的情况,圆筒恰好转过一周只是特殊情况,只要满足圆筒旋转周期 T 恰好是粒子飞行时间 t 的整数倍,就可以做到重新击中 a 点。PBL 教学取得了圆满的成功。

2.2 两个学生电路设计

例 4 学习电磁开关的原理后,PBL 教学提出了完成应用电路设计的任务。学生经网上查询,从图 6、图 7 开始,了解了单刀单掷和单刀双掷开关的功能。并提出了如果将图 6 中的双掷点与图 7 中双电路合并,就可以形成双刀双掷开关的功能。在这个基础上,水位上涨报警器的设计图(见图 8)出现了。电动机驱动电路设计图(见图 9)出现了。甚至抢答器电路的设计图(见图 10)也出现了。在抢答器图中,电路没有动作时,两对掷点 A 、 B 都是接通并由 B 点供电。假设一号选手按下 K_1 开关,左侧电磁铁 A 、 B 掷点断开,切断了右侧电磁铁通路,二号选手操作开关 K_2 就将失效。同时左侧电磁铁由于 B 、 C 掷点接通, L_1 灯亮起,输出一号选手的信号。按照这样的结构,又可以甄别三号、四号选手的

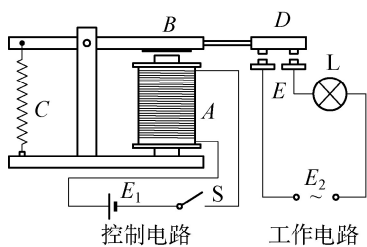


图 6

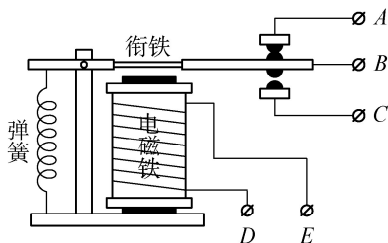


图 7

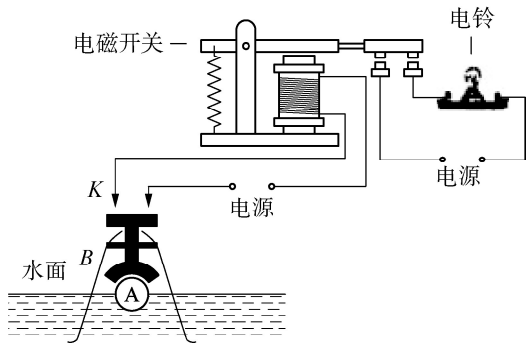


图 8

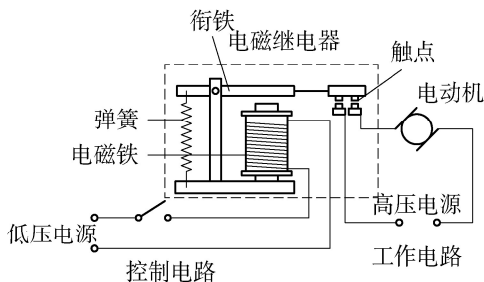


图 9

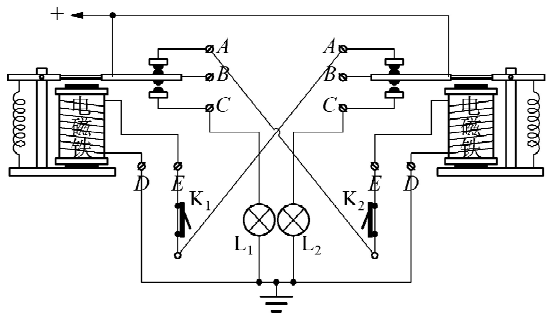


图 10

的结构中,取消 k_1 、 k_2 开关(由两组输入信号替代),就完成了最终四人抢答信号的识别。

这个学生 PBL 项目,是光电效应学习后利用光让学生体会了生活问题(劣构问题)的解决方法。

3 关注良构问题提高学生解决劣构问题的能力

良构问题是学生学习中最常见的。对于物理概念、规律的掌握,有着较大的帮助。而有些劣构问题,本身就有可能是良构问题的组合提高学生解决劣构问题的能力,应该关注良构问题的解决,使良构问题成为解决劣构问题的基础和支架。

电容器充放电时的能量损失

例 5 如图 11 所示,先将开关 S 与 a 点相连,用电压为 U 的电源给电容器 C_1 充电。待结束后,再将开关 S 与 b 点相连,用充满电的电容器 C_1 放电对 C_2 充电,直至 C_1 、 C_2 达到稳定。试判断从 C_1 放电至 C_2 充电结束的过程中,电场能量是否变化并分析其原因。

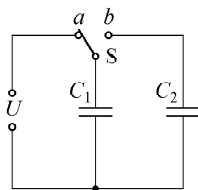


图 11

电场能量是否变化,可以通过计算验证。

开关拨向 a、电容器 C_1 充满电时,满足 $Q = C_1 U$ 。当开关拨向 b 时, C_1 与 C_2 相当于并联,由于电量守恒,所以两个电容器的总电荷没有变化,仍旧是 Q 。根据电容器能量的计算,电容器 C_1 充满电时能量为 $E_1 = Q^2 / 2C_1$,两电容器并联后的总能量则是 $E_2 = Q^2 / 2(C_1 + C_2)$ 。很明显 $E_2 < E_1$ 。

能量发生变化的原因,则是一个没有界定的开放问题。根据麦克斯韦电磁场理论,电容器充放电时,位移电流在流过内部介质时,会形成电流的焦耳热。另外,充放电回路类似于单匝线圈,能形成电磁波的辐射。所以根据电容器特征,验证电场能量变化是基础,麦克斯韦理论(包括电磁感应)则是原因解释的支架。

所以,劣构问题的解决和能力提升,必须重视劣构问题与良构问题的关系。由分解入手,发挥良构问题基础和支架的功能。将良构问题的解决思路和方法,迁移至劣构问题解决中。

抢答信号。将四位选手中的两组信号再送入图 10

4 把握好高阶思维培养中的分析、评价、创造的环节

中学生在遇到劣构问题时,往往会凭借着对问题“感觉”、根据自己的某些经验和“习惯性”操作方法,来解决问题。教学中应该从高阶思维能力培养的角度,加强分析、评价、创造环节的指导和把握,在评价的基础上达到问题的解决或创造。

水银溢出问题的讨论

例 6 开口向上的水银管中,水银封闭了一段理想气体,见图 12。加热气体至某一温度、并保持温度值不变,水银将自动溢出。

这个问题也属于劣构问题。因为加热至什么温度需要考量,最终的状态不确定(对学生新接触此题时)也需要考量。水银到达管口前气体是等压过程,到达管口开始溢出时是气体压强与温度都在变化的过程,而当达到某一温度值停止加热时,气体又是等温过程。

水银自动溢出时,压强由两个因素决定——温度和上方压强。温度不变时,若水银溢出一段高度,水银的压强就会减小(设变化量 Δp_1)。气体则由于体积膨胀压强也会减小(设变化量 Δp_2)。如果水银压强的减小比气体体积膨胀压强减小来的大即 $\Delta p_1 > \Delta p_2$,气体就会继续推动水银外溢。对这样的分析进行评价。

评价一:气体从水银自动溢出开始就是等温变化过程,图象应满足双曲线,如图 13 所示,其中 B 点为双曲线中点(对称点)。如果气体由压强、温度、体积决定的状态恰好在这一点,将气体体积用气柱长 L 表示,压强用汞柱高度 h 表示,那么上述两值应该相等。而图象下方(如 C、D 两点)气体的压强变化量一定小于体积变化量,即 $\Delta h < \Delta L$,这时水银就将自动溢出。如果气体由压强、温度、体积决定的状态不是处在 B 点,如 A 点,这时 Δh 就会大于 ΔL ,水银就将不再溢出。

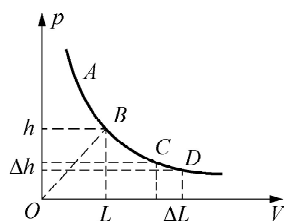


图 13

评价二:对水银自动溢出结果的评价——思维的拓展。

(1) 既然自动溢出的关键是压强变化,那么换一种方式,不用升温而采用降低外界大气压方式,是否可以实现呢?

(2) 图 13 中,等温线 B 点下方满足 $\Delta h < \Delta L$, B 点上方就应有 $\Delta h > \Delta L$ 。沿等温线上行,相当于在向上的管口中注入水银,最终会出现什么情况呢?

注重了分析、评价环节的教学,才能有效激活学生的思维。

5 加强科学思维方法的运用,提升劣构问题解决能力

对劣构问题的解决,要加强对科学思维方法的学习和实践。在教育部 2017 年版的高中物理课程标准中,明确提出了培养学生核心素养的要求,并对核心素养的内容作了较为详细的说明。对于物理劣构问题的解决,有着清晰的启发和引导作用。

5.1 物理建模

例 7 如图 14 所示。光滑轨道 abc 固定在竖直平面内, c 点与粗糙水平轨道 cd 相切。一质量为 m 的小球 A 从高 H_1 处静止落下,与 b 处质量为 m 的滑块 B 弹性碰撞。随后 B 滑块从 c 处运动到 d 处,且知 bd 高 H_2 , 滑块 B 通过 cd 段所用时间为 t 。将此过程类比光电效应的过程,则 A、B 分别相当于什么? 那个物理量可以类比为极限频率?

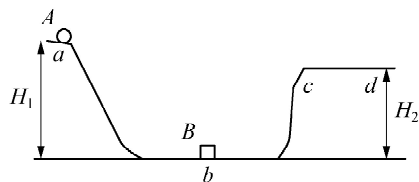


图 14

这里,对于要建一个类似于光电效应的模型是清晰的。教学中就应着眼在建模方法的点拨上。光电效应最主要的描述是在光子的照射下电子克服逸出功逸出。本题 A 球正碰 B 物,使 B 物脱离“势阱”也就是最核心的问题。高度为 H_1 斜面,提供的是 A 球碰撞前的能量;高度为 H_2 的轨道平面,决定了 B 物块在此的重力势能,亦即“势阱”、相当逸出功的大小。其他条件则是次要因素。由此可知, A 球相当于光子, B 物块相当于电子, H_1 高度提供的动能,相当于光子的能量, H_1 就可以类比为入射光的极限频率。

再比如科学推理。科学推理是由一个判断或多个判断推演出另一个新判断的思维过程。属于逻辑抽象思维的范畴,也是思维的高阶形式之一。高阶

思维也是研究物理问题必备的能力。科学推理包括由个别到一般、由一般到个别的“归纳—演绎法”和由因至果、由果至因的“分析—综合法”。而按照前提和结论的不同关系,还可以分为归纳推理、演绎推理和类比推理三种。

5.2 汽车的发动机效率

例 8 汽车质量为 800 kg,阻力为车重的 0.1 倍,若以 72 km/h 的匀速行驶了 2.5 h,耗油 20 L,且知 1 L 燃油可释放内能 3.212×10^4 kJ,试求该车发动机效率。

这题的前两个条件,已知了汽车的动力 $F = \mu mg$ 以及由速率和时间确定的位移 $s = vt$,这就知道了发动机的有效做功 $W_1 = Fs$ 。而耗油产生的总功为 $W = \lambda V$,所以效率 $\eta = (W_1/W)100\%$ 。这就是演绎推理。

而在我们的教材中,根据场的特征的比较,定义的电场强度 E 与磁感应强度 B ,则采用了类比推理的方式。

再如科学论证。科学论证是思维的分析、评价,获得结论的过程,它属于抽象思维的范畴,也包含了辩证思维的内容。科学论证需要建模、推理、类比等方法支持。方式也包括线性推证、归纳证明、反证、排除法证明、详谬证、实验证明等类型。

5.3 节日彩灯是并联还是串联?

例 9 这是生活中典型的劣构问题。有人根据灯的连接,判断是串联;有人根据小灯损坏一个后并不影响其他灯的发光,判断是并联。节日彩灯到底是串联还是并联,最好的办法就是解剖灯的结构,来进行论证。

灯泡解剖开后由图 15 可以看到,灯丝的下边多并联了一段涂有氧化铜的细金属丝。一旦有一个彩灯灯丝熔断,其他彩灯就会瞬间熄灭,使这个灯泡两端的电压达到 220 V,瞬间击穿那段细金属丝的氧化铜涂层,使这个彩灯重新形成通路,也使其他灯泡继续工作。所以实验论证的结果是:灯泡与灯泡之间为串联,灯丝与涂有氧化铜的金属丝之间属于并联。

再如质疑创新。质疑的思维,是真实场景事件与原有知识结构发生冲突而探究事物的起因和本质的思维过程。质疑的思维主要有三种形式。提问思维、追问思维、目标导向思维。质疑来自问题意识。问题意识是思维的动力。

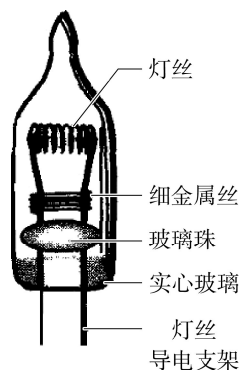


图 15

5.4 滑动片的位置

例 10 电学实验前,教师一般都要反复强调,滑动变阻器使用时,要将滑动片初始的位置置于变阻器阻值最大处。是这样吗?看一下图 16。从用电器安全使用的角度看,变阻器的初始位置应该是在电阻最小的位置,这样才能在变阻器调节过程中,用电器电流逐渐增加。这就是对实验过程的质疑。

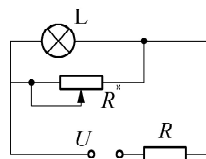


图 16

质疑的问题可以有很多,如乘飞机进行安检时,携带气压式热水瓶可以通过,而携带发胶(如摩丝)喷罐却一定被禁止。同样是按压就可以有液体流出的器具,差异在哪里呢?这就是对生活问题的质疑。

应该说,科学素养的内容,对于劣构问题的解决和思维的培养,予以了明确的指向。劣构问题的解决应该重视对于科学素养内容的学习和应用,使之成为劣构问题解决的重要策略。

参考文献

- [1] 张亚梅,陈曦. 解读乔纳森的问题解决观[J]. 教学研究, 2009(12): 66—67.
- [2] 钟志贤. 教学设计的宗旨: 促进学习者高阶能力发展[J]. 电化教育研究, 2004(11): 13—19.
- [3] 林勤. 高中中高阶段思维能力培养的实践研究[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2019. 6: 9.