

北京市2021年学业水平等级性考试 物理卷典型试题分析

北 辰

(续3月9日第1615期)

19. 类比是研究问题的常用方法。

(1) 情境1: 物体从静止开始下落, 除受到重力作用外, 还受到一个与运动方向相反的空气阻力 $f = kv$ (k 为常量) 的作用。其速率 v 随时间 t 的变化规律可用方程 $G - kv = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ (①式) 描述, 其中 m 为物体质量, G 为其重力。求物体下落的最大速率 v_m 。

(2) 情境2: 如图1所示, 电源电动势为 E , 线圈自感系数为 L , 电路中的总电阻为 R 。闭合开关 S , 发现电路中电流 I 随时间 t 的变化规律与情境1中物体速率 v 随时间 t 的变化规律类似。类比①式, 写出电流 I 随时间 t 变化的方程; 并在图2中定性画出 $I-t$ 图线。

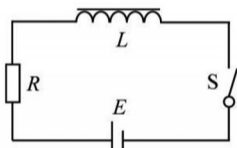


图1

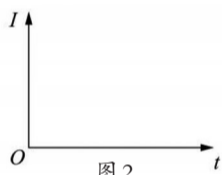


图2

(3) 类比情境1和情境2中的能量转化情况, 完成下表。

情境1	情境2
物体重力势能的减少量	
物体动能的增加量	
	电阻 R 上消耗的电能

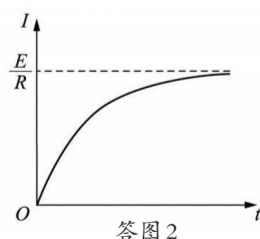
【参考答案】

(1) 当物体下落速度达到最大速度 v_m 时, $G = kv_m$

$$\text{得 } v_m = \frac{G}{k}$$

$$(2) \text{ a. } E - RI = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

b. 如答图2



答图2

(3)

情境1	情境2
	电源提供的电能
	线圈磁场能的增加量
克服阻力做功消耗的机械能	

【分析】

类比是科学研究的常用方法。在研究未知问题时, 若发现其与已知规律存在相似性, 则可以利用已知知识帮助解决这些未知问题。物理上许多重大发现都在类比中诞生, 例如库仑定律与万有引力定律、原子结构模型与行星模型、微观粒子的波粒二象性与光的波粒二象性等。

类比也是高中生学习物理的重要方法。在“温故知新”的过程中, 探究和理解不同领域物理内容中物理概念和规律, 降低认知负荷, 亲历科学方法, 获得成就感, 是激发学生学学习动机, 培养学生创新能力, 提升科学素养的有效方法。

本题设置了两个可以类比的情境。情境1中, 已知物体下落速率 v 随时间 t 的变化方程 $G - kv = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 。这种描述方式很新颖, 并不是熟悉的 $G - kv = ma$ 形式, 考生可能不太习惯, 但稍加分析不难发现, 它正是牛顿第二定律的体现。这个方程也可以让考生体会到物理学描述规律的特有语言, 简洁、美观而准确。

情境2中, 考生需要灵活运用类比的思想方法, 仿照上述方程写出类似方程。当然, 需要调用一定的知识储备, 只有熟知全电路欧姆定律、电磁感应定律、自感系数等概念, 才能正确写出电流 I 随时间 t 变化的方程 $E - RI = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ 。紧接着, 题目要求定性描绘 $I-t$ 图线。中学阶段学生虽不能由该方程解出函数表达式, 进而画出函数图象, 但可以通过定性分析情境1得到 $v-t$ 图线, 进而得到情境2中的 $I-t$ 图象。同时, 结合方程还可得出初始时刻的变化趋势和时间趋近于无穷大的渐近行为。

题目还要求考生类比两种情境下能量转化情况, 凸现能量概念在物理学中的重要地位。考生应明确情境1中的能量转化情况。物体在下落过程中重力势能的减少量一部分克服空气阻力做功转化为热能, 另一部分转化为动能的增加量。在情境2与情境1的类比中, 考生应推论出, 电源提供电能的一部分消耗在电阻上转化为焦耳热, 另一部分转化为何种能量是一个难点, 但考生通过联系电流的磁效应、自感现象中的能量转化、LC振荡电路中电磁能量转化、变压器能量的传输原理等相关知识, 可得出另一部分转化为线圈中的磁场能储存起来了。

题目设计让考生使用文字描述、公式、图表、图线等多重表征方法展示解决问题的结果和结论, 既避免了繁杂的计算, 也提醒了类比方法的多样性。

从作答情况来看, 考生主要有以下几方面问题: (1) 符号使用不

规范, 未使用题干给出的符号, 如将 v_m 写成 v , 结果用 mg 表示 G , 用 ε 代替 E 等。(2) 定性画出 $I-t$ 图线时, 未能在图线中标识电流的最大值。(3) 类比情境1和情境2中的能量转化情况时, 未能理解情景2的物理情景, 无法完成对两个情境能量转化情况的类比; 未能读懂题目要求, 填写做功情况。如情景1中将“克服阻力做功消耗的机械能”写成“空气阻力做功”, 情景2中将“电源提供的电能”写成“非静电力做功”等。这也反映出考生未认真审题, 未能明确理解题目要求。更深层次的原因是考生对物理概念和规律的掌握不清晰, 对物理情景背后的物理本质思考不到位。

实际上, 高中生可以理解的情境中还有3个能够与上述2个情境进行类比, 在此提供给读者, 以期促进以后的教学, 激励深入挖掘教学内容。

情境	方程
空气中物体自由下落	$G - kv = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$
直流电源对自感线圈充电	$E - RI = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
直流电源对电容器充电	$E - \frac{1}{C}Q = R \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
恒力对匀强磁场中 U 型导体框上的直棒加速	$F - \frac{B^2 l^2}{R} v = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$
直流电源驱动匀强磁场中 U 型导体框上的直棒加速	$E - Blv = \frac{mR}{Bl} \frac{\Delta v}{\Delta t}$

注重对物理思想方法的考查是北京高考物理试题的一贯特色。本题以一道完整的试题对类比方法进行考查还是首次。这也充分体现了“重视对思想方法考查”这一命题思想的坚定, 意在引导中学物理教学避免“重知识、轻方法”“重结论、轻过程”“重刷题、轻思考”等不良状况, 突出科学思维与科学探究的含量, 重视具体科学方法的渗透, 让思维方法的教学不再是“无米之炊”, 切实将学科素养的培育落地生根。

20. 秋千由踏板和绳构成, 人在秋千上的摆动过程可以简化为单摆的摆动, 等效“摆球”的质量为 m , 人蹲在踏板上时摆长为 l_1 , 人站立时摆长为 l_2 。不计空气阻力, 重力加速度大小为 g 。

(1) 如果摆长为 l_1 , “摆球”通过最低点时的速度为 v , 求此时“摆球”受到拉力 T 的大小。

(2) 在没有别人帮助的情况下, 人可以通过在低处站起、在高处蹲下的方式使“摆球”摆得越来越高。

a. 人蹲在踏板从最大摆角

θ_1 开始运动, 到最低点时突然站起, 此后保持站立姿势摆到另一边的最大摆角为 θ_2 。假定人在最低点站起前后“摆球”摆动速度大小不变, 通过计算证明 $\theta_2 > \theta_1$ 。

b. 实际上人在最低点快速站起后“摆球”摆动速度的大小会增大。随着摆动越来越高, 达到某个最大摆角 θ 后, 如果再次经过最低点时, 通过一次站起并保持站立姿势就能实现在竖直平面内做完整的圆周运动, 求在最低点“摆球”增加的动能 ΔE_k 应满足的条件。

【参考答案】

(1) 根据牛顿运动定律

$$T - mg = m \frac{v^2}{l_1}$$

$$\text{得 } T = mg + m \frac{v^2}{l_1}$$

(2) a. 设人在最低点站起前后“摆球”的摆动速度大小分别为 v_1 、 v_2 , 根据功能关系得

$$mgl_1(1 - \cos \theta_1) = \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$mgl_2(1 - \cos \theta_2) = \frac{1}{2}mv_2^2$$

已知 $v_1 = v_2$, 得

$$mgl_1(1 - \cos \theta_1) = mgl_2(1 - \cos \theta_2)$$

因为 $l_1 > l_2$, 得 $\cos \theta_1 > \cos \theta_2$

所以 $\theta_2 > \theta_1$

b. 设“摆球”由最大摆角 θ 摆至最低点时动能为 E_k , 根据功能关系得

$$E_k = mgl_1(1 - \cos \theta)$$

“摆球”在竖直平面内做完整的圆周运动, 通过最高点最小速度为 v_m , 根据牛顿运动定律得

$$mg = m \frac{v_m^2}{l_2}$$

“摆球”在竖直平面内做完整的圆周运动, 根据功能关系得

$$E_k + \Delta E_k \geq 2mgl_2 + \frac{1}{2}mv_m^2$$

得

$$\Delta E_k \geq \frac{5}{2}mgl_2 - mgl_1(1 - \cos \theta)$$

【分析】

单摆是力学常见的研究对象和理想化模型, 物理内涵丰富, 在研究圆周运动、机械能守恒、简谐运动, 甚至在研究地球自转等方面都可见到它的身影。实际上单摆是从实际情况中抽象出来的物理模型。它要求摆球质量尽量大、尺寸尽量小(当作质点), 摆线很长、很软、质量小得可忽略不计。因为实验室很容易达到这些要求, 考生容易见到接近这一模型的实际存在, 所以经常不自觉地吧实际情况和抽象模型混淆。

本题中的秋千严格说不满足上述要求, 至少人和踏板不能当作质点(其尺寸不比摆绳长度小很多)。但题中明示把秋千简化为单摆, 用单摆模型研究人在秋千上的摆动。这是科学研究中突出主要矛盾的典型范例。因此本题强烈暗示, 应在单摆模型下分析和计算, 并且将人站起前后的单摆摆长

分别认为 l_1 和 l_2 , 以便把不同性质(摆长、最大摆角等)的单摆连接在一起。如果把实际情况与抽象模型混为一谈, 将给本题的理解带来很大困扰。

本题主要考查考生对圆周运动、牛顿第二定律、动能定理、重力势能、机械能守恒、功能关系等知识点的理解和掌握。如果仅是摆长不变的单摆来回摆动, 或摆球在竖直平面的圆周运动这样熟知的物理模型, 必然失去新鲜感。但是荡秋千可以通过“低处站起、高处蹲下”的方式荡得越来越高, 这样就可以把荡秋千这个实例纳入不同摆长单摆模型的连接和过渡问题。

对单摆在摆球运动到最低点时, 摆线被铁钉绊住而截短摆长的情况, 高中生很熟悉, 绊住前后摆球的速度相等应是基本认知。本题模型不同之处在于摆线不在上端截短, 而在下端截短。截短前后速度还连续吗? 答案是不一定, 但其原因已超出高中阶段的知识范围, 也不是质点模型可以解决的。所以本题避开了具体机制, 仅假设速度不变(2)a和动能有增量(2)b来考查, 但这不影响单摆模型及其过渡模型的应用。

如果考生充分理解了本题为单摆模型及其过渡问题, 计算就比较简单了, 利用能量守恒、圆周运动性质和牛顿定律即可解决问题。对(2)a问题, 考生作答的典型错误在于认为全过程机械能守恒。(2)b问题的作答关键在于对过渡过程必须有清醒的认识, 即仅通过动能增量 ΔE_k 对两单摆最低点的速度做过渡。解答关键在于选取研究过程并依据功能关系进行分析。如部分考生以下蹲时最低点为零势能面, 考虑人在最低点站立前到站立后运动到最高点的全过程, 人站立后总能量为 $E_1 = mgl_1(1 - \cos \theta) + \Delta E_k + mg(l_1 - l_2)$, 运动到最高点时总能量为 $E_2 = mg(l_1 + l_2) + \frac{1}{2}mgl_2$, 运用能量关系即可求解。

本题强调了物理模型的重要性, 也揭示了模型的局限性。这提醒学生在学习中、教师在教学中要充分注意到, 物理模型和实际情况是有区别的, 解决不同问题要采取不同的物理模型, 不能期待一个模型解决所有问题, 避免钻牛角尖。

本题表面上是计算题, 实际上是开放题。如果深究动能增加的原因, 则需用到质点组系统、刚体等模型, 甚至热学、生物学等知识。这些都可以是学生进入大学后的研究课题。学生若能将此题的情境带入以后的学习和研究中, 会带来宽阔的进阶空间, 这是命题者乐见其成的。

(续完)