

从多解矛盾到逻辑自治^{*}

——高中物理几个核心概念的思维构建与辨析

张 哲 (合肥市第一中学 安徽 230011)

廖祥勇 (安徽省金寨第一中学 安徽 237300)

杨明国 (安徽省六安第一中学 安徽 237000)

摘 要 在高中物理学习中,学生对核心概念的理解常出现多解矛盾现象。这些矛盾既可能源于学习者的思维误区,也可能源于物理规律在不同情境下的适用边界不同。文章选取质点模型、动能性质、基尔霍夫定律及电磁感应定律四个典型案例,通过对比分析不同解法的逻辑起点与推演过程,揭示其内在关联与统一规律,旨在呈现从认知矛盾到逻辑自治的思维进阶路径,为核心概念的深度理解提供思路。

关键词 多解矛盾 逻辑自治 概念理解 物理思维构建

文章编号 1002-0748(2025)12-0012

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

高中物理知识体系植根于核心概念及基本原理、定理与定律之上,虽常引入理想化模型,其结构依然缜密而简洁。然而,在特定条件下,部分常见知识点仍会引发理解障碍,呈现认知冲突的现象。本文将就此展开具体探讨。

1 旋转系统能不能用质点来处理?

例 1 如图 1 所示,一根长为 $4L$ 的轻杆,其两端分别固定质量均为 m 的 A 、 B 两个小球,中间某位置固定在水平光滑转轴 O 上, A 球距离转轴 O 为 $3L$, B 球距离转轴 O 为 L ,两小球均可视为质点,整个装置可在竖直平面内自由转动。现将轻杆拉至水平位置由静止释放,不计空气阻力,求 A 球摆至最低位置时的速度。

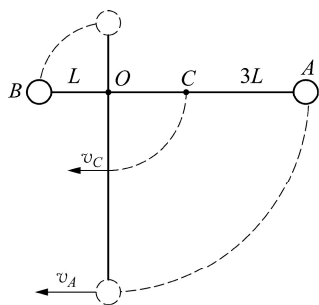


图 1

解法一:系统动能分开表示。

以 A 、 B 系统为研究对象,根据系统机械能守恒可得: $mg \cdot 3L - mg \cdot L = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$ 。

因为 A 、 B 两球共轴转动,角速度 ω 相同,所以

$$v_A = 3v_B。$$

解得 A 球摆至最低位置时的速度

$$v_A = \sqrt{\frac{18}{5}gL} = \frac{3\sqrt{10gL}}{5}$$

解法二:系统动能用 A 、 B 的合质心表示。

如图 1 所示,把 A 、 B 系统看成一个质点,其合质心 C 位于 A 、 B 的中点。

根据质心 C 机械能守恒得: $2mg \cdot L = \frac{1}{2} \cdot$

$2m \cdot v_C^2$,得: $v_C = \sqrt{2gL}$ 。

又因为 A 、 C 两点角速度 ω 相同,故: $v_A = 3v_C = 3\sqrt{2gL}$ 。

辨析:以上两种解法均依据机械能守恒定律,但答案却不相同。显然在解法二中将 A 、 B 系统当成一个质点处理是错误的,因为质点是一个理想化的模型,其概念是物体大小和形状可以忽略不计,而本题中 A 向下运动、 B 向上运动,系统运动过程中有转动,其大小和形状不能忽略,因此不能将其当成质点来处理。所以也就不能用 A 、 B 系统的合质心动能表示系统动能^[1]。

进一步研究:

A 、 B 系统绕 O 点转动的动能可由其转动惯量来求得^[2],系统转动惯量为

^{*} **基金项目:**本文系安徽省六安市教育科学课题“跨学科视角下高中物理职业生涯规划教育的研究”(课题编号:LK202362)的阶段性研究成果。

$$J = m \cdot L^2 + m \cdot (3L)^2 = 10mL^2$$

设 A 转到最低点时的角速度为 ω , 由机械能守恒定律可得

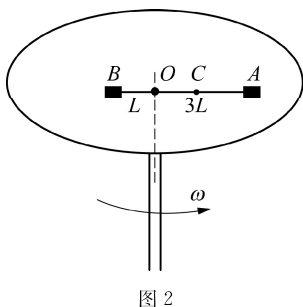
$$mg \cdot 3L - mg \cdot L = \frac{1}{2} J \omega^2$$

$$\text{解得: } \omega = \sqrt{\frac{2g}{5L}}, v_A = \omega \cdot 3L = \frac{3\sqrt{10gL}}{5}.$$

此结果与解法一相同, 进一步说明这个旋转系统不能直接简化成质点来使用机械能守恒定律。

例 2 如图 2 所示,

水平转盘的同一直径上分别放有质量均为 m 的两个小物体 A 和 B, A、B 位于转轴两侧, 距离转轴距离分别为 $3L$ 和 L , A 和 B 之间用一根轻质细线连接, 细线处于拉直但张力为零状



态, 两物体与转盘间的动摩擦因数均为 μ 。设最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 使转盘转动的角速度 ω 缓慢增大, 求 ω 为多大时两物体开始相对转盘滑动。

解法一: 设两物体刚要滑动时绳中的张力为 F_T , 则有

$$\text{对 A 物体: } F_T + \mu mg = m\omega^2 \cdot 3L;$$

$$\text{对 B 物体: } F_T - \mu mg = m\omega^2 \cdot L.$$

$$\text{联立解得: } \omega = \sqrt{\frac{\mu g}{L}}.$$

此解法采用隔离法分别对两物体进行受力分析, 根据打滑时的临界条件列方程求解, 答案正确^[3]。

解法二: 用合质心求解, A、B 的合质心为 C, 可知 C 到转轴 O 的距离为 L 。

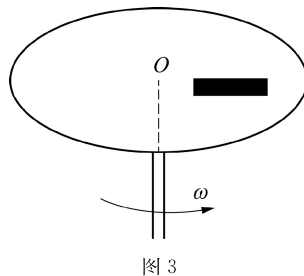
刚要打滑时对 C 使用向心力公式 $\mu \cdot 2mg = 2m\omega^2 \cdot L$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{L}}$ 。

用合质心求解与对 A、B 隔离分别列方程求解答案相同^[4]。

拓展: 可以假设 A、B 质量不同, 与转盘间的动摩擦因数也不同, 两物体位于转轴同侧或异侧, 利用上述两种方法分别求解, 结论仍然相同, 这便说明此转动系统可以用质点来处理, 显然与质点概念相违背, 但结论是正确的。为什么同样是转动系统, 例 1 中不能用质点处理, 而例 2 中则可以用质点处理呢?

辨析: 如图 3 所示, 以匀速转动的转盘作为非惯性参考系, 所放物体质量分布在同一直径上, 在圆盘

转动时系统与圆盘保持相对静止情况下, 系统所受的静摩擦力与惯性力平衡, 即: $F_{\text{惯}} = f = m\omega^2 r$ 。如果圆盘转动角速度 ω 缓慢增大, 当静摩擦力 f 达到最大静摩擦力 f_m 时系统便开始



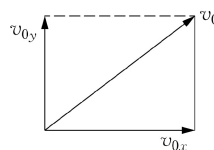
相对圆盘沿半径方向滑动, 因此在这一非惯性参考系中是一个平衡和加速问题, 只要系统质量沿着径向分布, 多个质点或长杆打滑时都会相对圆盘整体沿半径方向运动。在此参考系中, 系统运动属于平动, 可以用合质心的运动代替系统运动, 所以可以用合质心求其刚打滑时的角速度。如果系统各质点不沿径向分布, 且关于径向不对称, 当圆盘转动时, 以圆盘为参考系, 惯性力会产生一个扭矩, 系统就会有转动趋势, 打滑时会产生角加速度, 因此不能用质点来处理, 即不能用合质心求解, 这时需要引入转动惯量, 情况就比较复杂了。

综上两例, 在只涉及平动时属于运动学范畴系统可以用质点来处理, 因为能量与参考系有关, 所以转动系统通常不能简化为质点模型。

2 动能难道是“矢量”?

例 3 小球斜向上抛出, 初速度大小为 v_0 , 与水平方向的夹角为 θ , 求小球上升的最大高度 (不计空气阻力)。

解法一: 如图 4 所示, 将小球速度分解为水平分速度 v_{0x} 和竖直分速度 v_{0y} 。



由竖直方向上机械能守恒可得 $\frac{1}{2}mv_{0y}^2 = mgh$, 解得 $h =$

$$\frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \theta.$$

解法二: 小球运动可以分解为水平方向的匀速运动和竖直方向的竖直上抛运动。在竖直方向上使用运动学公式 $0 - v_{0y}^2 = -2gh$, 解得 $h = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \theta$ 。

解法一 中用到“竖直方向上动能转化为重力势能”求解结论是正确的, 这能否说明动能具有方向是矢量呢?

辨析: 两种解法结果虽然相同。但是, 解法一的

求解过程逻辑是错误的,因为机械能守恒中涉及的动能是标量,没有方向,不能在某一方向上使用。为什么结论是正确的呢?因为速度是矢量,沿水平和竖直两个方向正交分解,一定有关系式: $v_0^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2$,可推得: $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_{0x}^2 + \frac{1}{2}mv_{0y}^2$ 。看起来好像总动能等于两个分方向动能之和,其实这是速度正交分解的必然结果,是一种形式上的巧合,并不能说明动能是矢量。解法一中所谓竖直方向机械能守恒无非是应用运动学公式在竖直方向推出的一个等式,这个等式恰好看起来像“竖直方向上机械能守恒”。当两个分速度方向不垂直时,“总动能等于两个分方向动能之和”的结论也就不成立了。

3 基尔霍夫定律“不对了”?

基尔霍夫电流定律:电路中任一节点在任一瞬间,电流的总和等于零,即所有流入某节点电流的总和等于所有流出这个节点电流的总和。如图 5 所示,对于节点 O 有: $I_1 = I_2 + I_3$ 。

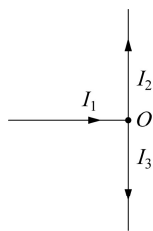


图 5

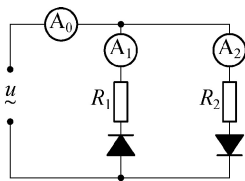


图 6

例 4 如图 6 所示,两个完全相同的电流表 A_1 和 A_2 接入两个支路中,定值电阻 $R_1 = R_2$ 。设二极管正向导通电阻为零,反向截止电阻为无穷大,不计电表内阻,电路两端接在交流电源上,干路中通入电流 $i = I_m \sin 100\pi t$ (A),图 6 中交流电流表 A_0 的示数应为 $I_0 = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 。两个支路中通过的是半波电流, A_1 、 A_2 的示数相等,应为其有效值,易知 $I_1 = I_2 = \frac{I_m}{2}$,显然此时 $I_0 \neq I_1 + I_2$,这是为什么呢?

辨析: 电流强度的定义为通过某一截面的电荷量与所用时间的比值,即定义式为 $I = \frac{Q}{t}$,其描述的是流过某一横截面电荷的流量。在恒定电流的电路中,通电时对于某个节点,在时间 t 内流入的电荷量等于流出的电荷量,其流量关系满足基尔霍夫电流定律。在交变电流的电路中,电流表的测量值是电流的有效值,是根据电流的热效应求得的,并不对

应电荷的瞬时流量,节点的瞬时流量仍然满足“流入等于流出”,因此也就没有“干路电流测量值等于各支路测量值之和”的对应关系。实际应用中,在三相交流电 Y 型接法中的中性点处各相电路的电流有效值也不满足这一关系。

4 法拉第电磁感应定律“有误”?

例 5 如图 7 所示,空间存在水平方向范围足够大的匀强磁场,磁场方向垂直纸面向里,小铜球用绝缘细线悬挂于 O 点,让小铜球在垂直磁场方向上来回摆动,空气阻力忽略不计,问小铜球摆动的振幅是否发生变化?

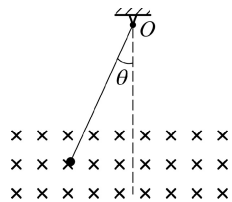


图 7

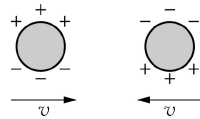


图 8

解法一: 可将小铜球看成若干个在摆动平面内的闭合导体环,由于在摆动过程中穿过这些导体环的磁通量不发生变化,根据法拉第电磁感应定律环中没有感应电流,因此小铜球的机械能守恒,振幅不变。

解法二: 如图 8 所示,当小铜球向右摆动时,可将其看成若干根上下方向的导线,每根导线切割磁感线都相当于一个电源,且上端是正极、下端是负极,这样小铜球的上端带正电,下端带负电;当小铜球向左摆动时恰好相反,即上端带负电,下端带正电。据此,铜球中虽没有环形电流,但是摆动中电子会有向上和向下的交替运动,从而形成涡流。由于铜球有电阻,会产生焦耳热,故小铜球的机械能不断减少,振幅不断减小。

辨析: 要解释上述两个相互矛盾的结论,首先需要搞清楚感生电动势和动生电动势的产生机理以及电荷被驱动的机制。对于感生电动势,磁场随时间变化,根据麦克斯韦电磁理论^[5],变化的磁场会在周围空间产生感应电场,这个电场是涡旋电场,其电场线是封闭的。电场直接作用于导体中的电子,使电子做定向移动,形成感应电流,这一过程中不需要导体相对于磁场运动。对于动生电动势,导体或导体的一部分相对磁场运动(切割磁感线)。设磁场不随时间而变,即没有感生电动势,导体中的自由电荷随导体一起运动将会受到洛伦兹力的作用,其效果是使导体两端带上等量异种电荷,这便产生了动生电

动势,当洛伦兹力大小或方向发生变化时,电荷不能稳定分布,于是在导体内做定向移动形成涡流。

综上所述,本题中的小铜球在摆动过程中虽不产生感生电动势,但是产生了动生电动势,而这个动生电动势的大小和方向不断变化,在球中会产生涡流,消耗了机械能,所以小铜球的振幅会不断减小。

拓展:根据上述分析,为了进一步探究导体在匀强磁场中运动是否会有机械能损失,可以通过以下案例甄别、解析。

如图 9 所示,在光滑水平面上存在水平方向上的匀强磁场,一个铜球在水平面上沿着垂直磁场方向滚动,不计空气阻力,铜球会切割磁感线产生动生电动势。而随着球的滚动,球上端始终带正电,下端始终带负电,这时,正负电荷相对球的位置发生了变化,故在球内形成涡流,使球做减速直线运动。

如图 10 所示,将上述铜球换成一个长方体铜块,使其在光滑水平面上沿着垂直磁场方向滑动,不计空气阻力,铜块会切割磁感线产生动生电动势,易判断铜块上端带正电,下端带负电。由于此时正、负电荷相对铜块稳定分布,使其上下产生稳定的电势差,即动生电动势,但是电荷相对铜块没有运动,故不会产生涡流,因此铜块做匀速直线运动,机械能保持不变。

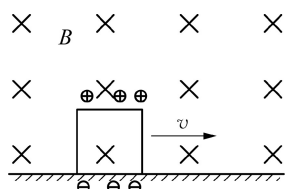


图 10

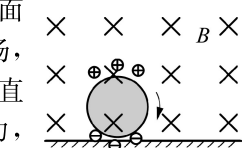


图 9

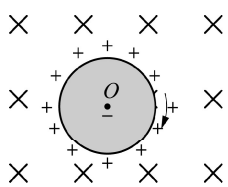


图 11

(上接第 27 页)

的依赖。另外,在半导体制冷片液化实验中通过冷热双面温差设计,替代传统酒精灯加热法,更安全直观地突破了学生的思维障碍。以“南北气候差异”为融合点,构建“现象观察—问题驱动—实验探究—本质提炼—实践应用”的跨学科递进式问题链的框架设计,通过地理现象牵引物理原理,以问题链驱动深度学习,深化地理、物理知识融通理解,强化知识整合与迁移能力,有效培养了学生的跨学科整合能力与科学思维。

未来,可进一步探索物理知识与不同学科的链接点,同时将低成本实验方案与问题链框架拓展至

如图 11 所示,将铜球沿直径方向固定一个转轴 O ,转轴与磁场方向平行,使铜球绕转轴无摩擦地转动,可将铜球看成若干径向辐条,其切割磁感线也会产生动生电动势,铜球外面带正电,转轴 O 处带负电,这时的电荷也是稳定分布的,不会产生涡流,因此铜球做匀速转动。

综上所述,在动生电动势的产生过程中,导体与磁场存在相对运动,穿过导体(看成闭合回路)的磁通量虽未发生变化,但导体内部电荷受洛伦兹力作用仍可能相对导体运动产生涡流,该涡流效应会导致导体发热,并伴随着机械能的损耗。这时导体作为电源并不对外供电,楞次定律也无法使用,所以并不影响法拉第电磁感应定律的准确性。

5 结 语

经典物理学以其严密的逻辑体系和完备的知识架构著称,学习者宜从事物的本质机理与内在因果关系出发,深入理解并灵活应用。其间若遇表象矛盾之结论,往往源于特定方法所依赖的逻辑前提存在局限或只看到事物的一个方面而忽略了其本质内涵,深入探究即可澄清歧见。

参考文献

- [1] 何磊,廖祥勇,杨明国. 例析高中物理发散性思维之佯谬[J]. 物理教师, 2024(6): 55—58.
- [2] 程守洙,江之永. 普通物理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2022.
- [3] 平佩,平功远. 一道转盘中绳连体习题的分析[J]. 物理教师, 2019(7): 62—63.
- [4] 郑金. 利用整体法巧解水平转盘上的绳连体问题[J]. 湖南中学物理, 2021(6): 74—78.
- [5] 赵凯华,陈熙谋. 新概念物理教程 电磁学[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.

各单元,为初中物理跨学科主题学习提供更丰富的实践范例,为新课标背景下的核心素养培养提供可复制推广的方案,也为教师创新教学设计与资源开发指明方向。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022 年版)[S]. 北京:北京师范大学出版社, 2022.
- [2] 欧旭升,刘作志. “纸”上得来终觉“妙”——例谈新材料纸在初中物理实验教学中的应用[J]. 物理教学, 2024(5): 77—80.
- [3] 欧旭升,刘作志. 初中物理跨学科实践作业的实施[J]. 中学物理, 2023(14): 7—10.