

从物理概念的建立到物理观念的形成

——以“能量观念的形成”教学为例

邬晨海 (上海市曹杨第二中学 上海 200062)

摘 要 物理观念是物理概念和规律经过深度整合后在学生头脑中形成的对物质世界的总体认识,是物理学科核心素养的重要组成部分。文章基于《普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)》对物理观念的界定,首先辨析了物理概念与物理观念在认知层次上的本质差异,分析了当前高中物理教学中能量观念形成面临的主要障碍;在此基础上,借鉴概念转变理论和 SOLO 分类理论,提出了从“具体概念→局部规律→普遍原理→核心观念”的进阶路径,以及“能量流”追踪、跨情境迁移等具体教学策略;最后,构建了能量观念形成的四层级表征模型,为教学评价提供参考。

关键词 物理概念 物理观念 能量观念 观念形成 核心素养 能量流

文章编号 1002-0748(2026)10-0011

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

从概念到观念的提升,意味着学习重心从“知道是什么”转向“理解为什么和如何用”。这要求教学不再满足于概念的孤立识记与公式的机械套用,而要引导学生整合概念之间的联系,领悟概念背后的核心思想。

1 物理概念与物理观念的学理辨析

1.1 物理概念的特征与本质

物理概念是物理学知识体系的基本单元,是对物理事物和现象的本质属性进行抽象概括的结果^[2]。物理概念具有以下基本特征:(1)科学性,即物理概念反映客观物理世界的本质规律,是经过严格的观察、实验和理论推演建立的;(2)抽象性,即物理概念是从大量具体的物理现象和事实中通过分析、综合、比较、归纳等思维活动概括而来,是从个别到一般的抽象过程的产物;(3)层次性,即物理概念存在从低级到高级的发展层次,概念之间存在递进关系;(4)系统性,即物理概念并非彼此孤立,而是通过物理规律相互联系,形成概念网络^[3]。

以能量概念为例,动能、势能、功、功率等均属于具体的物理概念,学生掌握这些概念意味着知道其物理意义、定义式和适用条件,能进行定量计算,这属于安德森等人所区分的陈述性知识和程序性知识的范畴^[4]。

1.2 物理观念的内涵与特征

物理观念是在物理概念和规律的基础上,经过深度整合、提炼和升华后形成的对物质世界的总体认识^[1]。与物理概念相比,物理观念具有以下特征:

(1)统摄性,物理观念能够统摄和组织大量具体概念和规律,形成一致的认知框架;(2)迁移性,物理观念可以迁移,应用于新的、陌生的物理情境中去分析和解释现象;(3)生成性,物理观念不仅是已有知识的总结,更是认识新问题、发现新规律的思维工具;(4)价值性,物理观念蕴含着对物理学方法论的认同,体现了用物理学视角看待世界的自觉意识^[5]。郭玉英等人指出,物理观念的核心功能是“用少数关键性概念将众多物理知识联为一致的整体”,并将其视为“学生理解或探究更复杂概念的关键工具”^[6]。

1.3 从概念到观念:进阶的认知机制

从物理概念到物理观念的发展并非简单的知识累加,而是认知结构的质性重组。根据 Biggs 和 Collis 提出的 SOLO 分类理论^[7],学生的认知水平可以从“单点结构”(掌握单个概念)经“多点结构”(掌握多个概念但彼此孤立)、“关联结构”(概念之间建立联系)发展到“拓展抽象结构”(形成可迁移的抽象原理)。物理观念的形成对应于从关联结构到拓展抽象结构的认知跃升。

2 当前高中能量概念教学的局限

审视当前教学实践,以下几个方面的因素阻碍了能量观念的有效形成。

2.1 碎片化教学割裂了能量知识的内在统一性

能量知识常被分割于力学、热学、电磁学等不同章节,机械能守恒在力学中讲授,焦耳定律在电学中出现,内能变化在热学中讨论。然而,不同形式能量在转化中的守恒这一核心思想,往往缺乏跨章节的

有机整合。已有研究表明,碎片化的知识呈现方式不利于学生建构整体性的概念框架^[8]。学生得到的往往是孤立的知识碎片,而非完整的能量图景。

2.2 教师对物理观念的理解和教学意识不足

部分教师自身对物理观念的理解不够深入,缺乏将观念显性化、系统化的意识^[9]。教学中更多关注具体知识点和解题技巧的传授,忽视引导学生从更高的认知层次思考物理学的思想方法。观念形成需要反复应用、深度反思和跨情境迁移,这种慢工出细活的长周期教学过程在当前快节奏的教学环境中难以充分展开。

2.3 教学模式制约了学生的深度建构

长期形成的讲授法教学难以激发学生的深度思

考和观念建构,物理观念的形成需要学生主动参与、质疑反思和自主建构^[10]。这要求教学方法从传授法向探究法转变,然而,教学改革在实践中推进缓慢,观念建构所需的探究性、反思性教学活动未得到充分实施。

3 促进能量观念形成的教学策略

3.1 以能量观念为线索重组相关内容教学序列

物理观念的形成是一个长期的渐进过程。上科版高中物理教材中,直接或间接涉及能量内容有 26 节之多。笔者将能量观念的形成划分为三个教学阶段(见图 1)。

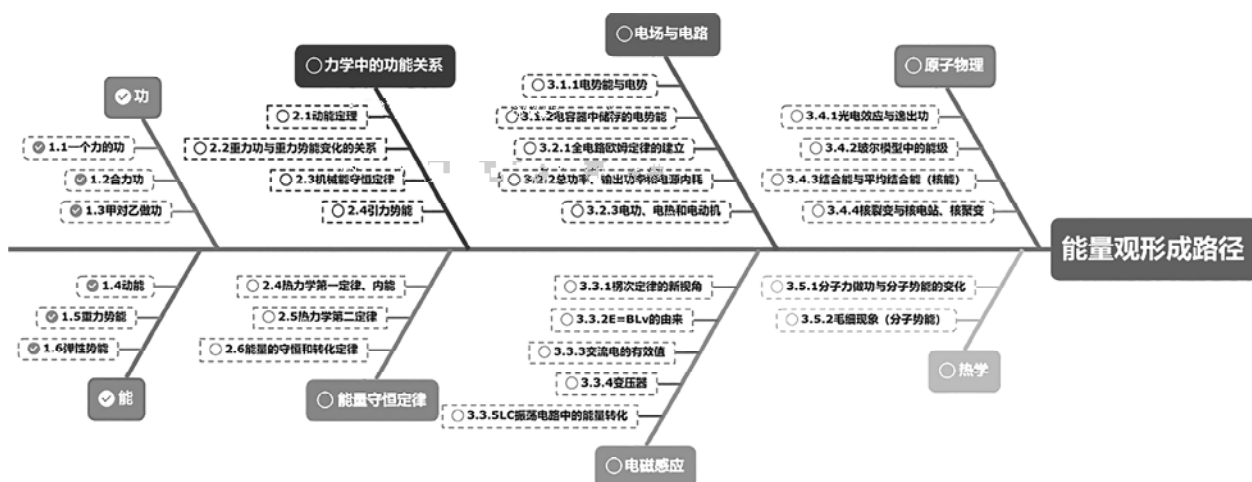


图 1

第一阶段:概念奠基。建立功、能的基本概念,此阶段功和能彼此独立,学生处于 SOLO 分类中的“单点结构”或“多点结构”水平。

第二阶段:关系构建。通过动能定理在功和能之间搭建桥梁;机械能守恒定律让学生首次体验能量转化过程中的守恒;热力学第一定律将视野从力学拓展到热学,为能量守恒和转化定律的建立做好铺垫。至此,学生的认知开始向“关联结构”水平发展。

第三阶段:观念统摄。以初步建立的能量观为分析工具,在电场、电路、电磁感应、原子物理等后续教学中,运用能量视角发现新规律、解决新问题。通过反复的跨情境应用,学生逐步达到“拓展抽象结构”水平。

3.2 以“具体概念→局部规律→普遍原理→核心观念”为路径逐级进阶

教师应以清晰的顶层设计,引导学生沿着逐级进阶的路径发展能量观念。具体而言:在完成功、能等

具体概念的教学后,通过探究实验或理论推导建立动能定理,获得力学范畴内的局部规律,第一次在功和能之间建立定量联系;在了解焦耳研究能量转化的实验及其结果、学习热力学第一定律后,局部规律进化到更具普遍性的原理,能量守恒定律得以自然建立。

能量观念在此后的电磁学、原子物理学教学中持续发挥统摄作用。电势能的引入、全电路欧姆定律的建立、楞次定律的能量解释、动生电动势 $E = BLv$ 的推导、LC 振荡电路中的能量转化、光电效应中的能量关系、玻尔模型中的能级分析等内容,都贯穿着能量线索。通过在这些新情境中反复应用,能量观念得到强化和内化。

3.3 以“能量流”追踪为线索,深化功的物理意义

一个具有能量的物体通过做功向其他物体传递能量,功的正负体现了能量的流向,引导学生追踪能量从哪里来、到哪里去,是培养能量观念的有效抓手。

例题 1 图 2 所示为利用斜面顶升物体的示意图, A 是倾角为 θ 的斜面, 静止在光滑水平面上。C 是下端带滑轮的轻质硬支撑杆, B 是固定的导轨, 只允许支撑杆 C 沿竖直方向运动, P 是被顶升的重物, 重力为 G 。当在斜面的右侧作用一水平向左的推力 F 时, 重物 P 就可以被顶高, 不计一切摩擦阻力。当重物 P 从静止开始被缓慢顶高 h , 水平推力 F 至少多大?

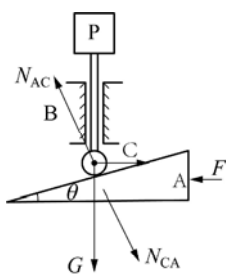


图 2

这是一个典型的静力学问题, 由支撑杆 C 的平衡得 $N_{AC}\cos\theta = G$, 由斜面 A 的平衡得 $N_{CA}\sin\theta = F$, 最终得 $F = G\tan\theta$ 。对于上述问题, 我们可以设计如下系列问题: 物体 A 在被推力 F 向前推动 x 的过程中, 推力 F 做功了吗? 推力做功的物理意义是什么? 人施加的力 F 做正功的物理意义是什么? 人通过做功提供的能量去了哪里? 推力做功和物体 P 增加的重力势能是什么关系? 物体 P 上升的高度和斜面 A 前进的距离是什么关系? 在教师设计的系列问题引导下, 学生得到如下方程: $h = x\tan\theta$, $Fx = Gh$, 得到 $F = G\tan\theta$ 。此时教师不妨再加一个问题, 如果水平推力 F 加倍, 能量又是如何转化的呢? 多输入的能量去了哪里? 通过一题多解, 一题多变的策略, 让学生体验到, 能量观念是分析物理问题的重要视角, 具有普适性。

3.4 在新情境中运用能量视角, 发展到“拓展抽象结构”, 体验能量观的普适性

掌握能量守恒原理后, 能量视角可以成为探索未知领域的有力工具。以下案例展示了如何在电磁学教学中引导学生运用能量观念。

导体在匀强磁场中切割磁感线产生的动生电动势 $\epsilon = BLv$, 这个关系是怎么得到的呢? 我们可以从法拉第电磁感应定律出发, 推得上述结论; 我们也可以从导体棒中的电子在洛伦兹力和电场力作用下达到平衡得到同样的结果; 我们也可以让学生创设情境, 从能量的守恒和转化的角度得到上述结论。

导体棒在拉力 F 的作用下沿着光滑水平轨道向右做匀速直线运动, $F = F_{安} = ILB$, 拉力做的功全部转化为整个电路所产生的焦耳热, 因此有

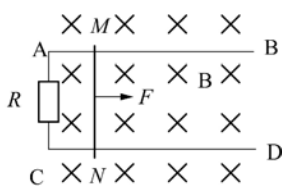


图 3

$$Fv = F_{安}v = ILBv = I^2(R+r)$$

$$BLv = I(R+r) = \epsilon$$

在学习洛伦兹力的时候, 教师提出系列问题: 安培力是洛伦兹力的宏观表现, 你如何理解? 洛伦兹力不做功, 你如何理解? 洛伦兹力不做功, 但安培力可以做功, 你如何理解? 切割磁感线的导体棒中的电子获得能量了吗? 获得什么能量? 获得的能量从哪里来? 面对一个新情境, 探寻能量从哪里来, 到哪里去应该成为一种习惯, 这应该是能量观是否建立起来的一个重要的标志。

为了引导学生解决上述问题, 教师创设了如下情境。

例题 2 如图 4 所示, 在垂直于纸面向里的匀强磁场中, 一内壁光滑, 长为 l 的绝缘细管 MN, 在人手施加的力 F 的作用下沿纸面以速度 v_x 向右做匀速运动。在管的 N 端有一电量为 q 的带正电小球 (可看作质点), 某时刻将小球释放, 小球将会沿管以 v_y 匀速向上运动。已知磁感应强度大小为 B , 小球的重力为 mg 。在小球沿管从 N 运动到 M 的过程中, 试分析小球所受各力对小球做功情况。

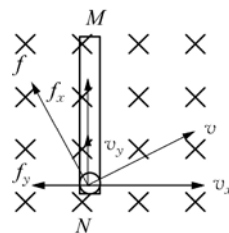


图 4

洛伦兹力方向判断依据左手定则, 由洛伦兹力 f 始终与速度 v 垂直得: $W_f = W_{fx} + W_{fy} = 0$, 其中 $f_x = qv_yB = mg$ 和 $f_y = qv_xB = F$, f_x 和 f_y 是 f 的两个分力。由球和管一起向右匀速运动得 $f_y = -N_{12} = N_{21} = -F$, 其中 N_{12} 是管道对球的弹力, $W_F = -W_{fy} = W_{fx} = -W_G = \Delta E_p$ 。通过上述推理, 我们发现人的手通过对管与球构成的系统做功, 输入能量, 让小球获得重力势能。金属管、磁场都不提供能量, 它们都充当能量的传递者的角色。

把绝缘管道变换成金属棒, 把小球变为电子, 若电子重力忽略不计, 则电子在洛伦兹力的作用下在 N 端聚集, M 端失去电子带正电, 棒 MN 中形成由 M 指向 N 的电场, 电子在向 N 端迁移过程中, 克服电场力做功获得电势能源于拉金属棒的手通过做功输入的能量。

3.5 将能量观念延伸至科学态度与责任
学习热力学第二定律后, 应引导学生理解能量转化中的不可逆性: 尽管能量总量守恒, 但高品质能源在转化过程中品质下降, 可利用性持续衰减。这一认识有助于学生将能量观念从定量分析工具延伸至科学态度层面, 形成节能环保的理性意识。

在学习了电功率知识的基础上,让学生分析生活中常见的节能行为的合理性:能否让旧电池发挥“余热”?

例题 3 有人在使用手电

筒时,电池用旧了舍不得扔掉,便换一节新电池与一节旧电池混串使用,测量发现新旧电池的电动势相差不大,而新、旧电池的内阻相差较大,数据如下:新

电池 $\xi_1 = 1.5 \text{ V}$, $r_1 = 0.3 \Omega$, 旧

电池 $\xi_2 = 1.2 \text{ V}$, $r_2 = 7.8 \Omega$, 小电珠为 2.7 V , 1.8 W , 试问:这样的节电措施可行吗?

在正常情况下,电源是电路中能量的提供者,而在本例中,旧电池的总功率为 P_1 , $P_1 = I\xi_2 = (\xi_1 + \xi_2)\xi_2/(r_1 + r_2 + R_L) = 0.267 \text{ W}$, 而自身消耗的功率为 P_2 , $P_2 = I^2 r_2 = 0.385 \text{ W}$, 显然,此时旧电池“入不敷出”,非但不提供能量,反而成了一个能量的消耗者,这种方法得不偿失。该案例将能量分析与日常生活相联系,帮助学生认识到能量观念在评估实际问题中的应用价值。

4 能量观念形成的水平表征

物理观念的形成不是有或无的二元状态,而是存在由低到高的连续发展过程。参考郭玉英等人关于物理观念发展水平的研究^[7]和 SOLO 分类理论^[8],笔者将能量观念的发展划分为以下四个水平层级:经验直觉水平(对应 SOLO 分类中的前结构水平)、概念识别水平(对应 SOLO 分类中的多点结构水平)、规律应用水平(对应 SOLO 分类中的关联结构水平)和观念统摄水平(对应 SOLO 分类中的拓展抽象结构水平)。观念统摄水平是物理观念形成的终极目标,这一目标的达成通常具有如下特征。

(1) 特征一:建立了“系统”和“转化”的全局观。

学生不再孤立地看待某个力或某个物体的运动,而是能自觉地划定系统,明确分析对象,识别能量形态,能准确指出系统中存在哪些形式的能量,追踪能量流向,能清晰地描述问题过程中,能量是如何在不同形式之间转化的。关键表现:在分析复杂过程时,他的第一反应是画一张能量转化的“能流图”而不是仅做受力分析。在分析新的物理现象和过程时,养成多问几个能量从哪里来,能量去了哪里的问题:带电物体在电场中被加速,获得的动能从哪里来? 推动活塞,压缩气体,人通过做功提供的能量去了哪里? 毛细现象中液柱上升,增加的重力势能从哪里来? 核裂变、核聚变释放出巨大的能量从哪里来?

条形磁铁从高处下落穿越线圈所在平面,如图 6 所示,圆环中的感应电流方向如何判断? 我们当然可以用楞次定律进行判断,我们也可以从能的角度,换个视角分析该过程:磁铁下落过程到达图示位置时,线圈中发生电磁感应现象,有焦耳热产生,焦耳热从哪里来? 焦耳热来源于条形磁铁下落过程中损失的机械能,通过磁场力做功,在磁铁和线圈之间发生了能量的转移,在机械能和内能之间发生了转化。条形磁铁下落过程中机械能损失,势必受到一个向上的磁场力,由此可推断线圈中存在逆时针(俯视)方向电流。

(2) 特征二:掌握“功是能量转化的量度”这一核心桥梁,这是能量观念定量分析的基石。

电容器是一个储能元件,通过充电过程,将电势能储存在电容器中, $q-U$ 图象可视为功示图,由 $q=Cu$ 知, q 和 U 呈正比关系。把横坐标 $n(n \gg 1)$ 等分,每一份电量 Δq 充入电容器,电场力做功 $\Delta q U_{AB}$, 图中条形面积之和就是储存在电容器中的电势能为 $E = qU/2 = CU^2/2$ 。现将电容器和电源断开,将轻质上极板缓慢向上移动,使两板间距离从 d_1 增大到 d_2 , 上述过程中拉力 F 做了多少功? 电容器中的电势能的变化量是多少? $Q = Cu$, 得 $u = Q/(\epsilon S/d) = Qd/\epsilon S$, 则 $E = uQ/2 = Q^2/2\epsilon S$, 上述过程中两板间电场强度不变,在将板间距从 d_1 增大到 d_2 的过程中,拉力 F 是恒力, $W_F = (Q \cdot E/2)(d_2 - d_1) = (d_2 - d_1)Q^2/2\epsilon S$; 电容器中储存的电势能变化量为 $\Delta E = QU_2/2 - QU_1/2 = Q[Q(d_2 - d_1)/\epsilon S]/2 = (d_2 - d_1)Q^2/2\epsilon S$, 拉力做功等于电容器中电势能的增加量。计算上述过程中拉力做功和电势能的变化仅仅是一种程序性知识^[5], 但寻找两者之间的关系,从 SOLO 分类理论^[8]的角度看,从

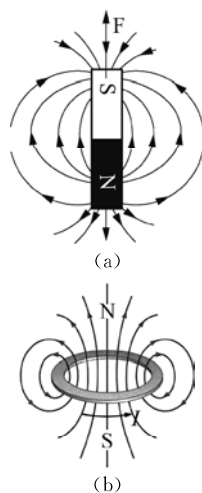


图 6

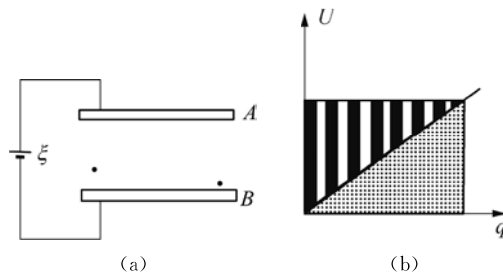


图 7

多点结构上升到关联结构。

(3) 特征三:能将“守恒”思想作为分析问题的首选视角和终极判断,这是能量观念成熟的最高体现。

教师设计开放性情境,在探索未知规律的过程中体验能量观的普适性,逐步养成从能量的视角分析、解决问题的倾向和习惯。

某同学为了探究弹簧振子的振动周期 T 与振子质量 m 间的关系,用天平测量弹簧振子的质量,用光电门传感器测量弹簧振子的振动周期 T ,测得的实验数据见表 1,根据实验数据画出如图 8 所示的图象。如何设置坐标可使实验数据在坐标系中描出的点分布在一条过原点的直线上? 写出周期 T 与振子质量 m 间的函数关系。这是教科书上的一道习题,着重考查学生对实验数据的处理能力,通过对 $T-m$ 图象的观察,猜测 $T-m$ 之间的函数关系,通过坐标变换,化曲为直,验证猜想正确与否。

表 1

实验序号	振子质量 m/kg	周期 T/s
1	0.10	0.14
2	0.20	0.20
3	0.40	0.28
4	0.60	0.35
5	0.80	0.40

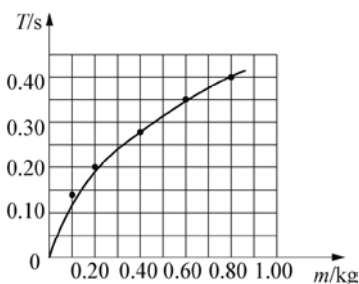


图 8

对于教科书上所创设的情境,我们可以充分挖掘其中的教学价值。是否可以引导学生运用所学的机械能守恒定律对弹簧振子振动周期和哪些因素有关,有什么样的关系进行预测呢? 由系统机械能守恒得: $kA^2/2 = kx^2/2 + mv^2/2$, 对于质量一定的振子,任何位置 x , 满足 k 越大, v 越大, 完成一次全振动的时间(即周期 T)越少, 由此判断: 弹簧振子振动周期 T 和弹簧的劲度系数负相关; 对于同一弹簧, 任何位置 x , 都有 m 越大, v 越小, T 越大, 周期 T 和振子质量 m 正相关, 由此猜测 T 正比于 m/k , 你怎么看? 如果振子周期仅与上述两个物理量有关, 由于 m/k 的单位为“ s^2 ”, 由此猜测周期正比于 $\sqrt{m/k}$ 。在探究弹簧振子周期过程中以能量观为核心, 应用了控制变量、量纲等多种方法。

在命题环节融入物理观念不同层次认知的考核, 关键是超越单纯知识记忆, 设计能区分学生理解深度的问题。核心思路是依据经验、映射、关联、系统这四个观念层次, 逐级设问。

①经验层次: 考查对物理现象的直观感知和回忆。

可设计直接基于生活经验的题目; ②映射层次: 考查将具体现象对应到抽象物理概念或规律的能力。可设置情境, 要求学生用标准物理语言描述, 并做简单的单因素分析。识别物理量的定义、单位、简单公式; ③关联层次: 考查在多因素、多过程中建立联系, 并运用多个规律进行分析推理的能力; ④系统层次: 考查构建统一观念体系, 在新情境中迁移、批判或创新的能力。

例题 4 大型燃煤发电机组输出的是正弦交流电, 远距离输电过程中通常经过升压变压器和降压变压器, 变压器视为理想变压器, 最终到达用户端。对于任意一个变压器, 输入端线圈匝数为 n_1 、输出端线圈匝数为 n_2 , 输入电压为 U_1 、输出电压为 U_2 , $U_1 : U_2 =$ ①; 降压变压器输入电流为 I_1 、输出电流为 I_2 , 由①式推导出电流强度 I_1 、 I_2 和匝数 n_1 、 n_2 的关系 ②; 小明听老师说 U_1 决定 U_2 、 I_2 决定 I_1 , 对于前半句表述, 小明表示认可, 但是对于后半句话, 感到很困惑, 如果这句话正确, 那不是意味着用户需要多大的电功率, 变压器就能输出多大的电功率?! 结合图 9 谈谈你是否认可该判断, 说说你对这个问题的理解 ③。

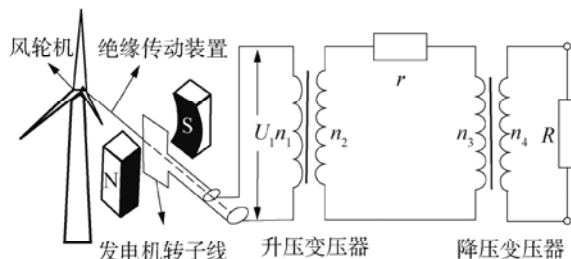


图 9

问题①属于经验层次, 考查的是记忆; 问题②属于映射层次要求学生用标准物理语言描述, 并做简单的单因素分析; 问题③属于关联层次: 考查在多因素、多过程中建立联系, 并运用多个规律进行分析推理的能力, 要求学生有“能量流”的意识: 输出电流增大导致每一个回路电流增大, 发电机的线圈内电流增大。安培力对发电机的转动来说是阻力, 需要克服更大的阻力匀速转动, 需要提供更大的动力(例如水轮机), 动力的功率增大, 如果发电机无法完成上述要求, 则突破供电网络的能够正常工作的上限, 用户的要求就无法满足。

从能量概念到能量观念的提升, 本质上是一场物理学习方式的转型: 从传授知识转向建构世界观和方法论的物理学。它要求教师自身具备清晰的观念意识, 在教学中敢于“慢下来”, 深耕概念背后的逻辑

(下转第 26 页)

“几何作图解题法(找圆心、定半径、画弦长、找集合关系)”,会容易因空间模型建构能力不足而陷入推导泥潭。基于通解结构的配速法,展现出了不依赖图形直观直觉的解题稳健性,它将带电粒子在空间场中的轨迹问题,解构为一个描述系统整体演化的“特解运动”与一个描述局部回旋的“齐次圆周运动”的线性叠加问题,如本题中匀速直线运动与匀速圆周运动的叠加。这种解题范式的跃迁,向学生直观展示了物理学运用数学穿透复杂现象表象的逻辑美感。

4 方法论视域下的教研思考与教学启示

4.1 让解题技巧回归物理观念

任何解题技巧的生命力,都深植于其背后的基本物理原理。配速法绝非凭空拼凑的解题术,而是“运动独立性原理”在经典力学中的又一应用。教学设计不应再将其包装为某种“解题秘籍”,而应把它还原成物理学处理复杂问题的典型思维,剥离背景的干扰,让高阶方法回归朴素的本源。

4.2 以“高观点”铺设“低起点”的认知阶梯

教研工作的深度,体现在“将高等物理背景转化为高中课堂语言”的能力上。高中生虽未接触常微分方程,但对“运动的合成与分解”并不陌生。基于本文梳理的通解结构,教研中可引导教学顺着学生的直觉,设计“三步设问”:第一步设问背景:“什么样的分速度,能让带电粒子在这电磁场里长久维持受力平衡?”由此自然引出对应特解的漂移速度 $\vec{\xi}$;第二步追问扰动:“扣除这个平衡背景后,粒子剩下的初速度 $\vec{v}(0) - \vec{\xi}$ 在纯磁场中会如何运动?”学生依据洛伦兹力特点,能迅速判定其为匀速圆周运动;第

三步图象合成:引导学生在头脑中将“匀速漂移”与“匀速圆周”做平移叠加。这一过程,让抽象的数学结构顺理成章地落地为直观的物理图象,实现了逻辑推演与学生认知的自然衔接。

4.3 理清压轴题命题的逆向生成逻辑

理清微分方程的通解结构,也为一线教师透视高考压轴题打开了新的窗口。纵观近年各类复合场综合题,命题者的构题逻辑往往采用逆向设计的方法,先在坐标系中设定好旋转角速度 ω_0 与漂移速度 $\vec{\xi}$,写出标准的轨迹方程,随后在轨迹上截取某个特定的节点(如本题中的挡板小孔 K),反推出看似复杂的初始位置与发射条件,最后将其隐蔽在题干表述中。当教师看清了这一底层生成逻辑,在高三复习中就能跳出“见招拆招”的盲目性,带领学生透过千变万化的试题情境,去识别那些本质完全同构的物理模型,使备考真正建立在学科理解的高度之上。

参考文献

- [1] 费曼,莱顿,桑兹. 费曼物理学讲义(新千年版)第2卷[M]. 李洪芳,王子辅,钟万衡,译. 上海:上海科学技术出版社,2020:159—172.
- [2] 庞特里亚金. 常微分方程(第6版)[M]. 林武忠,倪明康,译. 北京:高等教育出版社,2006:27—34.
- [3] 罗杰·海恩,查尔斯·约翰逊. 矩阵分析[M]. 张明尧,张凡,译. 北京:机械工业出版社,2005:47—52.
- [4] 王栋然. “配速法”与“洛伦兹力冲量法”的深入分析——从2024年高考山东卷物理最后一题谈起[J]. 中学物理教学参考,2024(22):66—69.
- [5] 李松柏,李勇强,任安炳,等. 复合场中摆线运动的解法与模型拓展探究——以2024年高考山东省物理卷压轴题为例[J]. 物理教学,2025(5):68—72,67.
- [6] 教法,2014(8):82—87.
- [7] Anderson L W, Krathwohl D R. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing [M]. New York: Longman, 2001.
- [8] 廖伯琴. 普通高中物理课程标准(2017年版)解读[M]. 北京:高等教育出版社,2018.
- [9] 郭玉英,姚建欣,张玉峰. 基于学生核心素养的物理学科能力研究[M]. 北京:北京师范大学出版社,2017:2.
- [10] Biggs J B, Collis K F. Evaluating the Quality of Learning: The SOLO Taxonomy [M]. New York: Academic Press, 1982.
- [11] 胡卫平. 科学思维的发展与培养[M]. 北京:科学出版社,2019.
- [12] 彭前程. 落实物理核心素养培养的关键与建议[J]. 物理教学,2019(3):2—5.
- [13] 陈刚,舒信隆. 新编物理教学论[M]. 上海:华东师范大学出版社,2006.
- [14] 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)[S]. 北京:人民教育出版社,2020.
- [15] 阎金铎,田世昆. 中学物理教学概论[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [16] 邢红军. 物理概念的本质特征及其教学含义[J]. 课程·教材·

参考文献

(上接第15页)

辑和思想;善于“连起来”,打破章节壁垒;乐于“拓出去”,连接真实世界与跨学科思考。当学生不仅能用能量公式解题,更能自觉运用“能量转化与守恒”的视角去审视自然现象、技术产品乃至社会议题时,物理教育才真正完成了其核心使命——赋予学生一种理解世界的科学眼光,一种理性而深刻的思维方式。这,正是从物理概念到物理观念跃迁的终极价值所在。