

【备考指导】

基于物理思想方法的专题复习单元设计

——以“守恒思想”教学为例

张健 王华 李春密

【摘要】物理思想方法是人类探索物质世界的智慧结晶,是中学物理教育的重要内容之一。基于物理思想方法进行知识梳理、专题复习可以使学生对物理知识形成系统认识,深刻理解物理学解决问题的思路 and 模式。文章以守恒思想为例,探讨了守恒思想的本质;系统梳理了高中物理教学中有关守恒思想的素材并举例分析其教学价值;又以守恒思想为例进行了单元专题复习设计,以期为广大一线教师提供参考。

【关键词】科学思想方法;专题复习;单元教学设计;守恒思想

物理学是一门实验科学,也是一门崇尚理性、遵循逻辑推理的理论科学,物理学还是一门带有方法论性质的学科。物理学在长期的发展过程中,形成了一整套研究问题和解决问题的科学方法。这些方法不仅对物理学的发展起了重要的作用,而且对其他学科的发展也产生了一定的影响,深刻地改变着人们的思想、观念和思维方式。

物理思想方法是一种认识方法,是一种思维体系,是学生获得知识的重要手段,是联系各领域知识的纽带,它比物理知识具有更强的稳定性、更高的概括性和更普遍的适用性。它能帮助学生透彻理解知识,建构起物理知识体系;帮助学生形成独立探究问题和解决问题的能力,促进学生核心素养的发展,提升科学思维能力与水平。

一、守恒思想

诺贝尔物理学奖获得者劳厄曾说:“物理学的任务是发现普遍的自然规律。因为这样的规律最简单的形式之一表现为某种物理量的不变性,所以对于守恒量,寻求不仅是合理的,而且也是极为重要的研究方向。”守恒量是指无论某事物的知觉特征怎样变化,它的量始终保持不变,是物质变化过程中最本质、最基本的特征之一。

物理学家在繁杂的变化中发现了物质运动遵循各种物理量的守恒定律,如质量守恒定律、动量守恒定律、机械能守恒定律、能量守恒定律、电荷守恒定律等。这些守恒定律反映了自然界的和谐统一。每一种守恒律均揭示蕴含其中的一种对称性^[1]。当代理论物理学家正高度自觉运用对称性和与之相应的

守恒律去寻求物质结构更深层次的奥秘。

讨论物理量的守恒离不开与之相互作用的因素,物理学上常将物体及与之相互作用的因素视为一个系统。物理量的守恒定律表明,物质所处的系统若没有外界的因素使系统的这些物理量发生变化,则系统内这些物理量的总和保持不变,这些物理量只在该系统内部转移或转化。若由于外界因素的作用,使得系统中的某个物理量发生变化,则系统中该物理量的增加量(或减少量)等于外界向该系统输入(或抽取)的量。总之,系统内的这些物理量总和不会凭空地增加或减少,物理量的守恒性保证了系统的相对稳定性。守恒定律只有在合适的系统和范围内才适用。因此要在高三复习时让学生明确守恒定律的系统选取、阶段划分和条件判断,灵活适用守恒思想解决物理问题。

二、守恒思想与中学物理教学

(一)守恒思想的教学价值

(1)帮助学生建构物理概念

动量是描述物体运动状态的物理量,也是适用范围最广的概念之一。学生在学习了动能后,能用能量观念“量度物体的运动”,他们会对引入动量的必要性有质疑。因此教学中可以以“寻求碰撞中的不变量”为线索,让学生对碰撞中的不变量提出猜想,设计实验进行研究。通过多轮“实验方案设计→明确猜想→收集证据→数据分析→得出结论”的探究过程,逐步达到对不变量的正确认识。通过分析实验数据,发现碰撞中的不变量(或者说守恒量)是 mv 乘积的矢量和。可见 mv 具有重要的意义,自然

引导学生建立起动量的概念。

(2) 帮助学生理解物理规律

库仑定律是电荷间相互作用时遵循的基本规律,教材对该定律的形成过程与建构过程介绍得比较简单,在教学中教师要对其蕴含的物理思想进行发掘与渗透^[2]。比如在讲解两电荷相互作用力的方向时,学生能够理解力沿二者连线方向,这是空间均匀、各向同性的必然结果。教学实践发现,如果从能量守恒角度(“第一类永动机不能制成”)来说明效果更好。我们假设电荷 q_1 和 q_2 作用力不沿连线方向,而如图 1 所示,这时将 q_1 与 q_2 固定在一个绕中心轴 O 转动的圆盘上,容易发现圆盘将永远运动下去,这显然不符合事实。学生由此自然认识到库仑力应该沿两电荷连线方向。

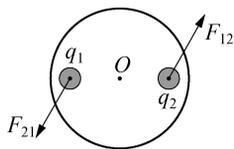


图 1

再如,学生能根据典型电场线分布得出“电场线疏密表示各点场强大小”的定性认识。如果再通过“电场线数目守恒”来计算点电荷单位面积上的电场线条数(即疏密)与场强的关系,则学生可以深化对这一规律的认识,提升物理思维水平。如图 2 所示,假设等势面 S_1 、 S_2 到点电荷的距离分别为 r_1 、 r_2 ,通过计算可知: S_1 、 S_2 上单位面积通过的电场线条数之比 $\frac{N_1}{N_2} = \frac{N_0}{4\pi r_1^2} : \frac{N_0}{4\pi r_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{E_1}{E_2}$,即电场强度和电通量密度成正比。

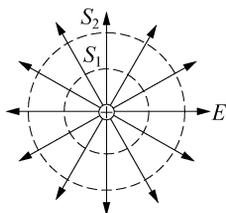


图 2

(3) 帮助学生解释物理现象

在实际生活中经常看到这种现象:适当调整开关,可以看到从水龙头中流出的水柱越来越细,如图 3 所示,这种流速差异实质上是质量守恒的反映。假设垂直于水柱的横截面可视为圆,在水柱上 A 、 B 处取两个横截面 S_1 、 S_2 ,经过 S_1 、 S_2 的水流速度大小分别为 v_1 、 v_2 ,如图 4 所示。由于流体不可压缩,流动过程中位于截面 S_1 、 S_2 之间的流体体积和质量都应不变,因此在某段时间 Δt 内通过截面 S_1 流入这一空间

的流体质量应等于同一时间内通过截面 S_2 流出的质量,即流量: $Q = \rho v_1 \Delta t S_1 = \rho v_2 \Delta t S_2$,由此得: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}$,这说明理想流体在稳定流动时,通过流管的流速与流管的横截面积成反比,该关系称为流体的连续性方程。



图 3

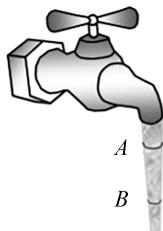


图 4

运用守恒思想往往可以对许多物理现象作出简洁、圆满的解释,尤其是当理论计算很繁杂或难以用理论作严密计算时,这种解释更显出它独特的魅力^[3]。

(4) 帮助学生解决物理问题

例 1 (2020 年北京高考)在同一竖直平面内,3 个完全相同的小钢球悬挂于同一高度;静止时小球恰能接触且悬线平行,如图 5 所示。在下列实验中,悬线始终保持绷紧状态,碰撞均为对心正碰。以下分析中正确的是 ()

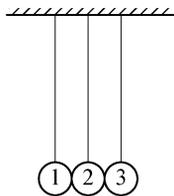


图 5

(A) 将 1 号移至高度 h 释放,碰撞后,观察到 2 号静止,3 号摆至高度 h 。若 2 号换成质量不同的小钢球,重复上述实验,3 号仍能摆至高度 h

(B) 将 1、2 号一起移至高度 h 释放,碰撞后,观察到 1 号静止,2、3 号一起摆至高度 h ,释放后整个过程机械能和动量都守恒

(C) 将右侧涂胶的 1 号移至高度 h 释放,1、2 号碰撞后粘在一起,根据机械能守恒,3 号仍能摆至高度 h

(D) 将 1 号和右侧涂胶的 2 号一起移至高度 h 释放,碰撞后,2、3 号粘在一起向右运动,未能摆至高度 h ,释放后整个过程机械能和动量都不守恒

分析与解答 本题以牛顿摆为素材,通过摆起更多数量的球、更换质量不同钢球、对钢球涂胶使其粘在一起等情景设置,引导学生用机械能守恒、动量守恒的思想深入分析实验背后的丰富的物理原理。

本题答案为D。

(二)课程标准中有关守恒思想的教学素材

笔者整理了人教版普通高中物理教科书中有关守恒思想的教学素材,见表1。

表1 “守恒思想”相关素材

| 教材 | 章 | “守恒思想”相关素材 |
|-----|-----------------|----------------------|
| 必修2 | 第八章 机械能守恒定律 | 机械能守恒定律 |
| 必修3 | 第九章 静电场及其应用 | 电荷守恒定律;点电荷电场(电通量) |
| | 第十一章 静电场中的能量 | 电势能和电势;电容器储能 |
| | 第十二章 电能 能量守恒定律 | 电路中的能量转化;闭合电路欧姆定律 |
| | 第十三章 电磁感应和电磁波初步 | 电磁感应现象及应用;电磁波的应用 |
| 选必1 | 第一章 动量守恒定律 | 动量守恒定律;碰撞;反冲与火箭 |
| | 第二章 机械振动 | 简谐振动的能量 |
| | 第三章 机械波 | 波的反射、折射;干涉与衍射 |
| | 第四章 光 | 全发射;光的干涉、衍射、偏振 |
| 选必2 | 第一章 安培力和洛伦兹力 | 质谱仪和回旋加速器 |
| | 第二章 电磁感应 | 楞次定律;法拉第电磁感应定律 |
| | 第三章 交流电 | 变压器、电能的输送等 |
| 选必3 | 第一章 分子动理论 | 分子动能和分子势能 |
| | 第二章 气体、固体和液体 | 气体的等温、等压、等容变化 |
| | 第三章 热力学定律 | 热力学第一定律、能量守恒定律 |
| | 第四章 原子结构和波粒二象性 | 普朗克黑体辐射理论;光电效应;玻尔模型等 |
| | 第五章 原子核 | 衰变、裂变、聚变、结合能等 |

可以看出,守恒思想在每册教科书内容中都有所体现,有所要求,每学习完一部分内容就深化提高一次对守恒思想的认识。在高三专题复习时,可以把“守恒思想”作为主题进行单元教学设计,全局统筹复习内容,比较不同守恒定律的使用情境和条件,在整合中、比较中突出物理思想方法的独特价值,对学生产生深刻持久的影响。

三、“守恒思想”单元学习活动设计

(一)单元设计思路说明

通过创设 α 衰变情境,提出问题,明确各种守恒

定律的内容与判定条件;然后引导学生分析动量守恒问题,结合材料了解动量守恒定律在物理学史、科技前沿发展中的具体应用^[4];再从冲击摆(见图9)入手分析整个过程的机械能变化,比较图6到图8机械能变化情况,总结系统机械能守恒的条件,从功与能的关系出发深化对机械能守恒本质的理解。最后从感应起电现象入手,研究电荷守恒问题,基于电荷守恒分析恒定电流电路中串联和并联的电流规律;进一步可以拓展研究流量与通量的问题。



图6



图7



图8

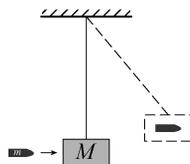


图9

通过本单元学习,可以帮助学生运用守恒思想整合各模块的物理知识,总结解决问题的思路和方法,提升模型建构能力和问题解决能力。

(二)创设问题情境,明确学习主题

情境 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中,一个静止的放射性原子核发生了一次 α 衰变。放射出的 α 粒子(${}^4_2\text{He}$)在与磁场垂直的平面内做圆周运动,其轨道半径为 R 。以 m 、 q 分别表示 α 粒子的质量和电荷量。放射性原子核用 ${}^A_Z\text{X}$ 表示,新核的元素符号用 Y 表示。

问题 (1)写出该 α 衰变的核反应方程式;(2)设该衰变过程释放的核能都转化为 α 粒子和新核的动能,新核的质量为 M ,求衰变过程的质量亏损 Δm ;(3)衰变过程满足哪些守恒定律?它们的适用条件各是什么?

(三)以“动量守恒定律”复习为例说明课时设计思路

(1)从典型模型入手,明确系统、划分阶段、判定守恒。

(2)呈现高考问题情境,培养学生模型建构能力。

例 2 (2015 年北京) 实验观察到, 静止在匀强磁场中 A 点的原子核发生 β 衰变, 衰变产生的新核与电子恰在纸面内做匀速圆周运动, 运动方向和轨迹示意如图 10 所示。则 ()

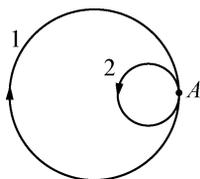


图 10

- (A) 轨迹 1 是电子的, 磁场方向垂直纸面向外
 (B) 轨迹 2 是电子的, 磁场方向垂直纸面向外
 (C) 轨迹 1 是新核的, 磁场方向垂直纸面向里
 (D) 轨迹 2 是新核的, 磁场方向垂直纸面向里
- (3) 与科技前沿相联系, 突出 STSE 理念, 提升学生问题解决能力。

例 3 美国物理学家康普顿及其团队将 X 射线入射到石墨上, 发现被石墨散射的 X 射线中除了有与入射波长相同的成分外, 还有与入射波长不同的成分。我国物理学家吴有训在此项研究中也做出了突出贡献, 因此物理学界也把这一效应称为“康普顿-吴效应”。由于这一现象很难用经典电磁理论解释, 所以康普顿提出光子不仅有能量, 也具有动量, 光子的动量 p 与其对应的波长 λ 之间的关系为 $p = \frac{h}{\lambda}$ (h 为普朗克常量)。进一步研究表明 X 射线的散射实质是单个光子与单个电子发生碰撞的结果。由于电子的速度远小于光的速度, 可认为电子在碰撞前是静止的。现探测到散射 X 射线的波长不同于入射 X 射线的波长。

问题 请你构建一个合理的相互作用模型, 解决以下问题:

- (1) 请定性分析散射后 X 射线的波长 λ' 与入射 X 射线的波长 λ 的大小关系;
- (2) 若已知入射 X 射线的波长为 λ , 散射后 X 射线的波长为 λ' 。设散射 X 射线相对入射方向的偏转角为 θ 。求 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 时电子获得的动量。

解析: (1) 由于入射光子把一部分能量给了电子, 则散射后光子的能量减小, 光子的频率 ν 减小, 根据 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ 可知, 光子的波长变大, 即 $\lambda' > \lambda$ 。

(2) 建立如图 11 所示的坐标系。设电子获得的动量 p 的方向与入射 X 射线方向的夹角为 φ , 动量 p

在 x 、 y 方向上的分量分别为 p_x 、 p_y , 根据动量守恒定律有:

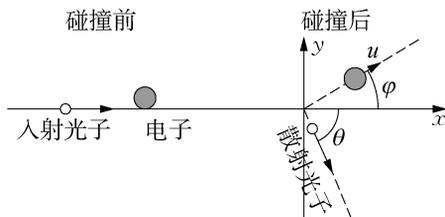


图 11

x 方向: $\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos\theta + p_x$ y 方向: $\frac{h}{\lambda'} \sin\theta = p_y$ 且 $p_x^2 + p_y^2 = p^2$, 解得:

$$p = h \sqrt{\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2}}, \tan\varphi = \frac{p_y}{p_x} = \frac{\lambda}{\lambda'}$$

四、结语

物理思想方法是人类探寻自然界物质基本结构及其相互作用规律的过程中总结的认识方法, 是人类宝贵的精神财富。在高考备考中, 基于物理思想方法统整模块知识, 可以改变学生知识缺乏整合、碎片化的状态, 使之结构化、系统化; 通过解释变化情境背后的“不变性”, 可以增强学生解决新情境、新问题的自信心; 通过这样专题化、进阶式的设计可以适合更多不同层次的学生, 使学生的认知水平螺旋式上升, 不断提高解决问题的能力, 促进核心素养的发展。

参考文献:

- [1] 漆安慎, 杜焯英. 力学(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 174-177.
- [2] 王华, 张健, 李春密. 渗透物理学史, 促进规律建构——以“库仑定律”为例兼谈物理定律教学[J]. 物理教师, 2017, 38(7): 9-11.
- [3] 王溢然, 徐燕翔. 守恒[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2019: 85-120.
- [4] 张健, 王华, 李春密. 基于教科书物理学史素材发展学生核心素养的教学策略研究[J]. 物理教师, 2021, 42(11): 7-12.

【作者简介】 张健、王华, 北京师范大学第二附属中学(北京 100088); 李春密(通讯作者), 北京师范大学物理系(北京 100875)。

【原文出处】《物理教学》(沪), 2023. 3. 12 ~ 15