

以学科内容“深度系统化”为基础， 促进物理观念水平提高

马永毅 (河北辛集中学 河北 052360)

摘 要 本文通过对物理课程标准中“物理观念”五个层次学业质量标准水平的分析,梳理出了物理观念水平提高的详细途径。通过分析学科内容“深度系统化”的内涵及表现,提出了依托基本结构系统、有效应用系统、优化提升系统,并设计了“基本结构系统”形成流程,和“有效应用系统”形成流程,提出从知识点主线、模型主线、方法主线、主题主线等多角度的去建立动态优化提升系统的设想。

关键词 物理观念水平 深度系统化 基本结构 综合应用 关键概念

文章编号 1002-0748(2023)5-0008

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

辞海中提到观念是“客观事物在人脑中的概括”,2020 年教育部新修定的普通高中课程标准中指出:物理观念“是从物理学视角形成的关于物质、运动与相互作用、能量等的基本认识;是物理概念和规律等在头脑中的提炼与升华”^[1]。概括起来物理观念是对“物理学科内容”的一种认识、一种升华。图式理论认为每个人头脑中都存在大量对事物结构性认识的图式,它们也将成为理解和认识新概念、复杂概念的经验基础^[2]。建构主义理论认为,认知结构就是通过同化与顺应过程逐步建构起来的。反省心理学认为,人的意识浅层信息块中信息化程度越高,联想能力、想象能力和灵感、直觉、幻想等创造性思维能力也就越强,就越能解决问题^[3]。综上所述,结构化、网络化、系统化是实现认知和升华的基础,也是形成物理观念的保障。

1 物理观念水平的划分及其表现形式

高中物理学业质量标准,以物理观念为例,将学生所能达到的学业水平划分为五个层次,不同层次间由低到高逐渐递进,具体如表 1 所示^[1]。通过分析发现,从“观察自然现象”到“形成初步的物理观念”到“具有物理观念”再到“具有清晰的物理观念”直到“具有清晰、系统的物理观念”,物理观念形成具有阶段性、层次性,水平的高低与学科内容清晰程度、系统化程度密不可分;从“能应用物理知识解决实际问题”到“能综合应用物理知识解决实际问题”,再到“能灵活应用所学的物理知识解决实际问题”,可以发现物理观念水平高低

的特征性表现还与综合应用程度、迁移灵活程度有关。

表 1 物理观念

水平 1	能从物理学的视角观察自然现象,具有将物理学与实际相联系的意识
水平 2	形成初步物理观念,能从物理学视角解释一些自然现象,能应用物理知识解决一些实际问题
水平 3	具有物理观念,能从物理学的视角描述和解释自然现象,能应用物理知识解决实际问题
水平 4	具有清晰的物理观念,能从物理学的视角正确描述和解释自然现象,能综合应用物理知识解决实际问题
水平 5	具有清晰、系统的物理观念,能从物理学的视角正确描述和解释自然现象,能灵活应用所学的物理知识解决实际问题

2 物理观念水平提高的途径分析

2.1 通过各层级概念、规律的学习逐步形成以大概念为核心的知识体系

物理观念建构的基本途径如图 1 所示,各层次物理观念形成的基础,都是从学科事实、经验、技能、方法出发,不断抽象、概括出学科具体概念、学科关键概念、学科大概念、大概念的过程。新教材一般以学科大概念作为每章的教学主题,以学科关键概念作为每节的教学主题。例如学科大概念“机械能”对应新教材“机械能”一章,学科关键概念“动能定理”对应“动能、动能定理”一节。通过课堂教学,逐步形成以学科大概念为核心以关键概念为基点的网络结构。新课程教学中,大部分学生能做到对所学物理概念、规律有初步的了解和认识,也能做到识别简单的关联,能达到物理观念水平 1。

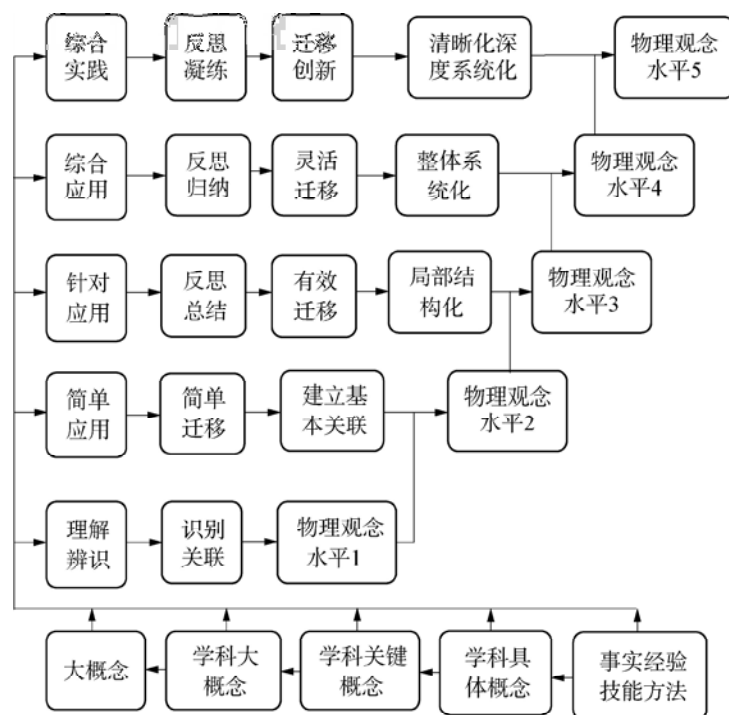


图 1

2.2 通过综合程度不同的应用,逐步提升知识体系的横向系统化程度

如图 1 所示,要使物理观念水平在原有知识网络结构基础上提高,则离不开对概念、规律的应用、反思、迁移,随着应用问题情景化程度及综合性、实践性提升,对迁移的灵活性程度要求也逐渐提高,这就需要及时对应用过程进行反思归纳,如此反复,能有效促进学科内容整体化、结构化、系统化。

2.3 随着学科内容系统化程度加深,将有效促使物理观念水平提高

在实际的教学中,很多学生并不是知识、概念、规律不知道和不了解,而是理解得不深入、不透彻,缺乏建立物理量之间、规律之间、规律与情境之间的深层关联,造成学科知识碎片化,而知识的碎片化将极大影响迁移的灵活程度,使得在综合应用中受到制约。如图 1 所示,物理观念水平的高低在很大程度上受到学科内容系统化程度的制约。因此要使学生在综合应用中,主动探索、积极反思,促使学科内容逐步结构化、系统化、深度系统化,只有经历这个过程才能促使物理观念水平有效提高,反之缺乏深度系统化,将无法将物理观念水平提高到高层次。

2.4 通过分阶段学习反思,知识体系不断丰富,物理观念水平逐步提升

如图 1 所示,物理观念水平的提升还依赖于个

人不断地学习与反思。学科内容的学习也是由简单到复杂,由一个方面到多个方面,由表层认识到深入理解,随着新知识的学习,会使得学科知识体系不断丰富,并融会贯通,进一步促使学科知识系统化程度提升,潜移默化中物理观念水平也在提高。

3 物理学科内“深度系统化”的内涵及表现

3.1 物理学科基本结构系统

物理学科基本结构系统主要是指围绕着物质、运动与相互作用、能量等方面内容建立起来的,由物理知识、物理方法、物理技能、物理概念、物理规律、应用方法、实践经验等构成的,以大概念为核心的层级网状结构体系。

3.2 物理学科内容系统化

如图 2 所示,物理学科内容系统化过程一般需要经历三个阶段。第一阶段是形成学科基本结构系统,通过对概念、规律的学习,初步形成以学科大概念为核心的,学科知识与概念结构化系统;第二阶段建立有效应用系统,该系统是在前一阶段基础上,通过综合程度不同的应用、反思、迁移、归纳、总结而形成的。以概念、规律综合应用、横向关联为重点,有关问题解决的方法、策略、思维、运算、流程等内容所构成的结构体系;第三阶段是优化提升系统,通过后期不断学习新知识、掌握新技能、新方法,持续对前两个系

统拓展和提升,使得前两个系统结构更优化,更完善。

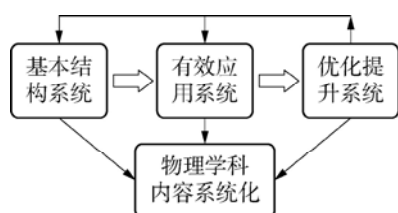


图 2

3.3 深度系统化的内涵

深度系统化是指形成的各阶段系统内部的关联更直接有效,在应用中关联逐步被强化,关联更清晰层次更分明,关联的角度更丰富,牛顿运动定律、能量守恒与转化定律、电场、磁场等学科大概念在结构体系的核心地位更突出,统摄学科知识结构的效果更显著。

3.4 深度系统化的表现

系统化程度的加深主要表现在系统化的学科知识结构逐渐由模糊变得清晰;在面对实际问题时,能有效提取关键信息,并恰当的选择物理规律、方法;概念、规律、方法的迁移更灵活;物理模型识别变得更直接有效。

4 实现“物理学科基本结构”深度系统化

4.1 关键概念的深度关系建构

在教学实践中经常会发现,对于一个物理规律学生能准确表达,但在实际应用中无法建立规律中物理量之间的关系。例如,提问学生什么是牛顿第二定律,学生会回答 $\sum F = ma$,但在面对具体问

题,需要求解某时刻物体加速度时,却不能直接反应出需要该时刻物体所受的合力,对于通过受力分析,正交分解求合力的方法也就更感到困惑。究其原因是在关键概念上的深度关系建构。概念规律生成建构有其内在的规律,这一点新教材在章节内容设计上已有所侧重。例如在牛顿第二定律之前设置了一节“探究加速度与力质量的关系”就是希望学生通过分组实验进行探究,进而深刻体会到加速度与合力及质量的必然的因果关系。类似这样的问题还有很多,如电场强度与电场力之间的关系;电势与电势能的关系;动能的变化与合力做功的关系;重力势能变化与重力做功的关系;动量的变化与合力冲量的关系;复杂曲线运动平抛运动、抛体运动、匀强电场中的类抛体运动与运动合成与分解方法间的关系等。

要实现关键概念内部关系的深度建构,需要遵循四条基本原则。第一,要遵循学生的认知规律设置合理恰当的教学环节(如图 3 所示),教学环节围绕关键概念建构逐级递进:“感性认识→定性关系→定量关系→内涵理解→外延论证→应用迁移→关联拓展”;第二,如表 2 所示,在每个环节中,针对教学目标确定、教学内容选择、课堂问题设置三个方面,都要围绕关键概念内部关系建构展开,以便达到深度建构的目的;第三,在教学方法、学生活动设计上,围绕关键概念深度关系建构,设置科学探究活动,引导学生积极参与,有效促进深度系统化形成;第四,将学科大概念变为一种思维方式渗透到教学各环节,将有效促进关键概念内部关系的深度建构。

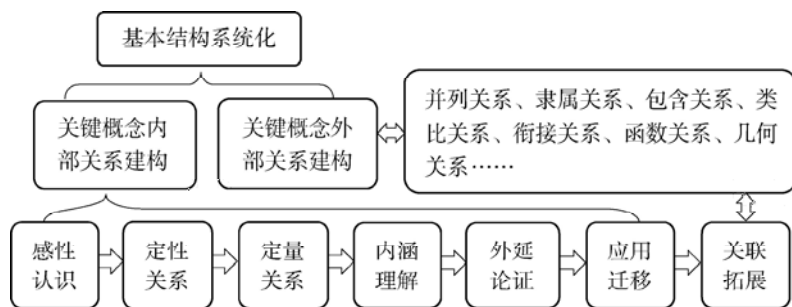


图 3

4.2 关键概念深度关系建构模板

表 2 关键概念深度关系建构模板——以“动能、动能定理”一节为例

关键概念：“动能定理”		总目标：“牢固建立合力做功与动能变化的关系”			
教学环节	目标设定	教学内容	问题设置	教学方法	学生活动
遵循认知规律	从多角度建构深度关系	精选突出关键概念深度关系的内容	问题设置围绕深度关系建构	据目标内容定方法	引导参与主动探索

(续 表)

教学环节	目标设定	教学内容	问题设置	教学方法	学生活动
感性认识	感受动能、动能表达式来源分析激发探索欲望	海啸、风力发电、子弹射入鸡蛋的慢镜头等,展示物理学史动能表达式的不同观点	动能与哪些因素有关? 分析历史的争论动能的表达式	问题情境	阅读、感受、思考
定性关系	定性分析动能发生变化的原因是有力做功	展示高射炮弹的发射、火箭的发射、子弹射入木块的过程	物体获得动能源于哪里,获得动能途径?	问题启发; 提问互动	思考、表达
定量关系	创设简单情境,引导学生探索动能定理定量关系式	 <p style="text-align: center;">图 4</p> <p>光滑水平面,质量为 m 物体,在与运动方向相同的恒力 F 作用下发生一段位移 l,速度由 v_1 增到 v_2</p>	根据所给的情境,探究 F 做功和 v_1 、 v_2 的关系?	问题探究; 自主推理	思考、探索、推理
内涵理解	从功能关系角度理解动能定理中合力做功	对推导过程进行论证	动能的变化由哪个力做功衡量? 为什么?	问题启发; 提问互动; 推理论证	思考、论证、表达
外延论证	将动能定理的条件拓展到变力、曲线运动、多过程问题	创设情境变力做功与曲线运动可以采用微分法而后再代数求和	变力作用下动能定理是否成立? 曲线运动动能定理是否成立?	问题引导; 分组讨论; 展示评价; 归纳总结	思考、论证、分组讨论、展示、评价
应用迁移	能在复杂情境中灵活应用动能定理并能充分体会其优点	(1) 动能定理在单过程、多过程中的应用; (2) 动能定理在变力、曲线运动中的应用; (3) 动能定理与牛顿运动定律综合应用; (4) 动能定理能量守恒的综合应用……	自主训练	独立思考、反思、迁移	
关联拓展	建立动能、动能定理与其它规律的关联	(1) 动能定理、匀变速运动公式比较分析; (2) 动能定理、动量定理比较分析; (3) 动能定理与牛顿第二定律的综合; (4) 动能定理与能量守恒、功能关系……	课后反思; 自主研究; 交流讨论; 总结归纳	分阶段反思、归纳、总结	

4.3 物理学科基本结构系统的形成

关键概念的深度关系建构只是完成了网络基点的建立,要将这些基点有效关联起来才能形成物理学科基本结构系统,如图 3 所示,这种关联的建立有两种方式。方式一,从学科大概念出发建立与关键概念的关联,这种关联属于包含关系、隶属关系。例如功能关系与动能定理就属于包含、隶属关系,功能关系指出功是能量转化的量度,动能定理则将这一观点具体化了,物体动能的变化就是由物体所受合力做的功来衡量,这种衡量关系不会因为物体做直线运动还是曲线运动而改变、也不会因为物体受恒力还是变力而改变,因此动能定理丰富了功能关系,同时功能关系也暗示了所有的能都会找到一一对应衡量它变化的功,这种关联的建构往往使学科大概念及关键概念都变得易于理解和接受;方式二,从关键概念出发建立与其他概念规律的关联,这种关联属于并列关系、类比关系、衔接关系、函数关系、几何关系……。例如动能定理和动量定理的类比关系,

一个反应了合力在空间上的积累效果,另一个反应了合力在时间上的积累效果;两个定理都适用于解决变力问题,但动能定理更适合力随空间变化的情境,动量定理则更适合力随时间变化的情境;由于一个是标量式,另一个是矢量式,因此两个方程运算的法则不同,尤其在处理曲线运动问题时表现明显;两个规律都能解决多过程问题;两个规律也可以同时应用到同一个过程,如果合力是恒力,则合力功中的合力与合力冲量中的合力相同,不易出现混淆,当合力是变力时,用动能变化除以位移计算的平均合力,和用动量变化除以时间计算的平均合力,两者含义不同,因此数值也往往不同,并非是哪种方法求错了;两者在选用时,动能定理更适合处理位移、功、能的问题,动量定理更适合处理时间、动量问题……。

上述两种关联拓展的方式在教学中往往被弱化,只是学生在应用过程中偶尔涉及,这一点成为了制约学科基本结构系统化的重要因素。随着学生所学知识的增多,可以适时恰当的安排课时,采用作业

布置、课后反思、自主研究、讨论交流、展示评价、总结归纳的教学策略,系统地建立规律间的相互关联。

5 建立有效应用系统各环节间深度关系

5.1 应用情境与物理概念规律之间的深度关系建构

学生在面临实际应用情境时,不能自然而然地提取相关物理概念、规律、方法。分析原因主要有四个方面,第一是容易陷入与问题解决无关的陌生信息而不能自拔;第二是将由实际情境向物理问题转化的能力不足;第三是不能将复杂的问题进行有效的分化;第四是不能针对具体物理问题有效调取相应的物理规律、方法。

如图 5 所示,建立应用情境与物理概念规律间的深度关系,重点从三个角度来培养。第一培养从复杂的应用情境中提炼物理情境、物理条件、物理问题的能

力。这种能力指从物理的视角理解实际应用问题的能力,该能力主要包括有,简化:“剔除与所研究问题无关的信息”;翻译:“将实际的语言描述翻译成物理语言”;转化:“将实际情境转化为物理情境”;抽象:“将实际情境抽象为合理化模型”。第二培养分析物理问题的能力。对于物理问题要学会状态分析、过程分析、受力分析、实际运动过程分析、动量过程分析、能量过程分析、图像分析等分析手段,有效的将复杂的物理问题分化为多个小问题、多个关键状态问题,并抓住核心问题。第三建立典型物理问题与物理规律、方法之间的深度关系,这种深度关系有赖于前面“基本结构系统”的建立,如表 3 所示,建立了“典型运动情境问题”与“核心规律应用”之间的关系,该环节需要重点培养的能力包括识别、比较、筛选、提取,这一点类似于人脸识别,识别时抓住脸部的多个特征点,利用实际情境提取最恰当的物理规律,也需要多个特征点的匹配。

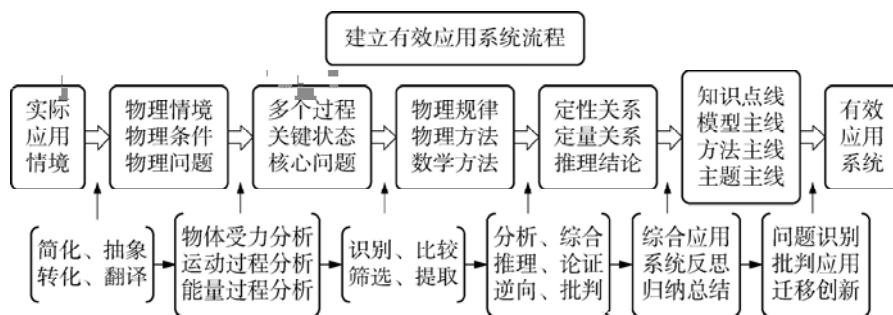


图 5

表 3 运动与相互作用应用系统化:建立规律与情境的对应关系

对象	典型运动情境问题	动力分析及规律	核心规律应用
单物多物状态	单物、多物平衡问题	$\sum F = 0$	三角形法、正交分解法
	单物不同状态瞬时性问题	不同状态 $\sum F$ 不同	牛顿第二定律
	系统某状态瞬时性问题	$\sum F = m_1 a_1 + m_2 a_2 + \dots$	系统牛顿第二定律
单物运动	自由落体运动问题; 匀变速直线运动问题	$\sum F = ma$, 加速度恒定, 合力与速度共线	匀变速直线运动, 速度时间关系、位移时间关系
	平抛运动、抛体运动问题; 匀变速曲线运动问题	$\sum F = ma$, 加速度恒定, 合力与速度不共线	利用运动合成分解建立, 速度时间关系、位移时间关系
	匀速圆周运动问题; 一般圆周运动问题	$\sum F_n = m a_n$, $\sum F_\tau = m a_\tau$	向心加速度与线速度、角速度、周期关系

(续 表)

对象	典型运动情境问题	动力分析及规律	核心规律应用
单物运动	简谐运动问题	$\sum F = -kx$	振动位移与时间关系
	单物变加速直线运动问题; 单物变加速曲线运动问题; 单物多过程位移、功能问题	$\sum F(x)$ 随位置或区域变化	利用动能定理建立, 初末动能的关系
	单物变加速直线运动问题; 单物碰撞平均力问题; 单物多过程时间动量问题	$\sum F(t)$ 随时间变化	利用动量定理建立, 初末动量的关系
多物运动	流体冲击力问题	冲击力恒定	
多物运动	两物体追及、相遇问题	仅运动关联不涉及受力	两物位移、速度、时间关联

(续 表)

对象	典型运动情境问题	动力分析及规律	核心规律应用
	板块相对滑动问题; 两物体分离问题; 传送带问题	$\sum F_m = ma_m$ $\sum F_M = ma_M$	建立两物体间位移 关联、速度关联、时 间关联、加速度 关联
	多物间相互作用, 系统总机械能不变 的问题	除重力弹力外其 他力不做功	机械能守恒
	多物间相互作用, 系统总能量不变 的问题	仅分析系统能量 的增加及减少	能量守恒
	碰撞、爆炸问题、反 冲问题; 多物间相互作用, 系统总动量不变 的问题	$\sum F_{\text{合外力}} = 0$ 系统所受合力 为零	动量守恒

5.2 以科学思维为主线,建构物理规律、方法在综合应用中的横向深度关系

如图 5 所示,在综合应用中建立物理规律、方法的深度关系,需要具备较高的科学思维能力,主要指分析、综合能力;推理、论证能力;逆向、发散能力;批判、创新能力等。在应用中建立物理规律、方法的横向深度关系一般要经历三个阶段,物理量的定性关系,而后建立定量关系,最后推理结论。

建立综合应用问题的定性关系,需要三个方面的铺垫,第一建立由物理量、物理规律构成的思维网图;第二养成以某物理量为核心的发散性思维习惯;第三学会用物理规律、方法、数学方法定性分析问题。基于以上三点,会逐步养成从问题出发的逆向发散型思维。

建立综合应用问题的定量关系,针对所选择的物理规律确定其独特的思维方式、思维流程、思维步骤及定量关系的准确表达。以能量守恒问题为例,一般的思维流程:先确定研究系统、研究过程;针对研究过程判断有几种能量在转化、哪些能增加了,哪些能减少了;而后表示出能量的增加量及能量的减少量;列出等量关系即能量守恒定律。这种思维流程适合于分析所有能量守恒问题,每个规律都有自己独特的思维流程。规律与规律之间靠物理量相关联,一般要考虑方程的个数与未知物理量个数相匹配,用解方程的方法求出未知量。

5.3 通过综合应用、反思归纳,从知识点主线、模型主线、方法主线、主题主线等多角度建立应用系统的横向深度关联

要建立清晰、有条理的有效应用系统,首先需要

完成一定数量有关实际问题的综合应用;在此基础上,通过系统反思、归纳总结实现应用问题的条理性、结构化、系统化;反思的角度越多系统化程度越高,常见的有知识点主线、模型主线、方法主线、主题主线四个角度。

知识点主线:以学科基本结构系统为基础,建立树状知识点结构,将各类基本应用问题归类,形成了基本应用结构。

模型主线:围绕某一典型物理问题,需要综合多个规律、多种方法才能有效解决,并且规律方法的应用比较固定,这种问题适合于建立物理模型。模型的建立要侧重两点,第一形成比较固定的概念规律间综合横向关联,例如“碰撞模型”,综合了动量守恒、能量守恒、碰撞的实际情境三条规律,遵循这三条原则的问题都归属于碰撞模型;第二建立物理模型需要充分挖掘模型相关的各项内容,并梳理其内在联系,围绕模型构成一个丰富而有条理的系统,例如“碰撞模型”内部自成体系,它主要包括:“碰撞的过程情境、碰撞的概念、碰撞的类型、恢复系数、碰撞遵循的原则、碰撞后末状态的求解、类碰撞问题、解决碰撞问题的思维方式、从不同参考系理解碰撞等”,包括情境、概念、规律、应用、反思等多个相关联的方面,将碰撞相关内容组成了一个有机整体。随着建构模型的增多,概念规律间的横向关联越来越密切,模型之间也逐步建立关联,许多小模型构成了相互关联大模型系统,大的模型系统又围绕多个学科大概念,最终在概念、规律间形成脉络清晰的横向关联,促进应用系统的深度系统化形成。

方法主线:通过物理方法、数学方法建立应用系统的深度关联。物理方法主要包括:“物质的描述,力与运动,功能关系,能量守恒”;数学方法主要包括:“向量的运算关系,矢量三角形关系,正比关系,反比关系,一次函数关系,二次函数关系,导数关系,比例关系,几何关系,三角函数关系等”,两种方法均可有效地建立物理量之间的定量关系。这是应用系统化的重要的主线,也是实现灵活迁移的关键环节。

主题主线:在实际应用情境中,往往围绕某一主题,从不同角度,提出问题,不同问题从不同角度把物理规律方法综合,形成了以主题为核心物理规律、方法综合应用系统。以“卫星”为例,可从卫星相关知识、卫星的种类、卫星的应用、卫星的发射、卫星的

(下转第 7 页)

兼顾提升激光的能量和设备的时间分辨率仍然存在着可能,目前中科院物理所、清华大学等单位都已经成功构建了超高时间分辨率的 Tr-ARPES,其相关设备的时间分辨率都在 100 飞秒左右,国际上的顶尖课题组设备的时间分辨率可达 60 飞秒左右。

近些年来由于科研工作者在低维、量子材料等性能研究方面的热情以及光电子能谱分析手段在这些材料表面电子结构分析的自身优势,相信光电子能谱分析技术将会实现进一步的发展和提升,细致的电子结构将会被观察到,新奇的物理发现也将会引起更多物理科研工作者的研究兴趣和热情。

参考文献

- [1] Hertz H. On an effect of ultra-violet light upon the electric discharge [J]. Annalen der Physik, 1887,267(8):983-1000.
[2] Einstein A. On a Heuristic Viewpoint Concerning the

Production and Transformation of Light [J]. Annalen der Physik, 1905,322(6):132-148.

- [3] Chen W. et al. Organic-Organic Heterojunction Interfaces: Effect of Molecular Orientation [J]. Adv. Funct. Mater., 2011,21:410.
[4] Ueno N., Kera S. Electron spectroscopy of functional organic thin films: Deep insights into valence electronic structure in relation to charge transport property [J]. Progress in Surface Science, 2008,83:490.
[5] Bussolotti F. et al. Hole-phonon coupling effect on the band dispersion of organic molecular semiconductors [J]. Nature Communications, 2017,8:173.
[6] Ishii H. et al. Energy Level Alignment and Interfacial Electronic Structures at Organic/Metal and Organic/Organic Interfaces [J]. Adv. Mater. 1999,11:605-625.
[7] Wang E. et al. Fully gapped topological surface states in Bi₂Se₃ films induced by a d-wave high-temperature superconductor [J]. Nature Physics, 2013,9:621-625.
[8] Wallauer R. et al. Tracing orbital images on ultrafast time scales [J]. Science, 2021,371:1056-1059.

(上接第 13 页)

快慢、卫星的变轨、我国卫星事业的发展等多个角度创设问题。还有交通问题、建筑结构的力学问题、体育运动相关问题、电磁类仪表问题、微观粒子控制问题、家用电器问题、传感器与生活问题、交通工具类问题、电机类问题等。主题主线类应用问题,以研究性学习的方式开展,将极大拓宽学生的视野,能有效将所学的知识与实践相结合,从而促进规律的综合应用、有效迁移,并达到深度系统化的目的。

5.4 有效应用系统的形成

如图 5 所示,理论源于实践,又反过来指导实践,从多角度建立应用系统横向关联后,初步形成了有效应用系统,该系统也成为了后期解决实际问题的基础,在进一步综合实践中,经历问题识别、批判应用、迁移创新等思维过程,使有效应用系统灵活性程度提高,内部关联更丰富,在实践中更易于提取应用,灵活迁移。

6 围绕大概念统整进行反思,建立动态优化提升系统

优化提升系统是指随着新知识的学习、应用、反思,原来形成的物理学科基本结构,不仅内容丰富了,内容间的关联也逐渐增多并强化,物理学科基本结构整体得到了优化提升。优化提升系统中最关键

的环节是反思,反思要以学科大概念为核心,建立学科内容、概念、规律、方法之间的深度关联。不仅能提高学生学习的兴趣,还能使新知识的学习变得简单,例如在学完牛顿运动定律后,使其体会,牛顿运动定律在平衡问题中的应用;在学完曲线运动一章后,使其体会牛顿第二定律在匀速圆周运动、非匀速圆周运动及一般曲线运动中的应用。通过反思使得学科大概念核心地位更突出,学科内容系统化更明显,对基本内容结构理解的更深刻,规律的可迁移能力更强。

基本结构系统是以大概念为核心以关键概念为基点建立的网状结构,可以认为是物理内容的纵向关联;有效应用系统,通过知识点主线、模型主线、方法主线、主题主线、思维主线等多角度,实现物理内容的横向关联,两种关联相辅相成,再配合动态的优化提升系统使物理内容实现深度系统化。

参考文献

- [1] 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,2020:4-78.
[2] 赵艳芳. 认知语言学概论[M]. 上海:上海外语教育出版社,2001:67-68.
[3] 杜向阳. 心灵控制技术[M]. 北京:电子工业出版社,2013:55-56.