

思维导图辅助高中物理大概念的可视化建构

——以“曲线运动”单元复习为例

颜文莹 王强*

(扬州大学物理科学与技术学院 江苏扬州 225009)

文章编号:1002-218X(2023)04-0001-05

中图分类号:G632.4

文献标识码:A

摘要:高中物理大概念教学强调整体思维,大概念的建构过程具有高度抽象性和隐蔽性,“如何厘清大概念的生成思路并有效表达”是亟待解决的现实问题。以高中物理“曲线运动”单元复习为例,通过创设情境提出核心问题,并在衍生子问题理性问答过程中建构大概念;通过跨章节内容整合推动大概念进一步延伸,通过绘制思维导图以可视化方式呈现大概念的建构历程,厘清概念的层级结构。

关键词:高中物理;大概念;思维导图;曲线运动

《普通高中物理课程标准(2017年版)》提出:“重视以学科大概念为核心,使课程内容结构化,以主题为引领,使课程内容情境化,促进学科核心素养的落实”^[1]。围绕大概念进行教学设计已成为新一轮高中物理课程改革的重要方向。然而,现阶段物理教师对教学内容的结构化建设认识不足,教材与课程体系仍严格按照物理学科的模块化逻辑编写,并且将知识模块化结构当成“教的逻辑”和“学的逻辑”,导致大多数学生无法建构与其认知特点相适应的物理大概念体系。

一、高中物理大概念教学现状分析

1. 高中物理大概念与物理概念的联系与区别

学科大概念并非指学科中具体的概念或定理、法则等,而是指向这些具体知识背后更为本质、更为核心的概念或思想。大概念体现的是学科基本概念、小概念、知识点等的聚合与整合,有利于学生把零散的、碎片化的知识点连接成有结构、有关联的知识体系。高中物理大概念是指能够统摄高中阶段的一般概念性知识和事实性知识,对某一类物理现象或问题的本质特征与属性进行高度概括的物理核心思想,并且是能够与高中生的认知特点相对应的物理知识体系^[2]。物理概念是建构物理大概念的基础,而大概念的建构是为了更好地理解物理概念。例如,为了建构“运动和力的关系”大概念,既需要统摄运动的相关概念,如直线运动、曲线运动、速度、加速度等,和力的相关概念,如重力、弹力、摩擦力、万有引力、电磁力、分力与合力、向心力等;又需要建构具体情境中运动和力的整合形式,解决具体问题中运动和力的关系,最终反向促进学生对于“运动与力”相关概念的深入理解。

2. 高中物理大概念的特点

高中物理大概念教学强调整体思维,可以较好地应对思维缺乏深刻性、认知缺乏框架性、学习缺乏论

证性、知识缺乏延展性等现实教学问题^[3]。它具有以下特点:

(1)从物理知识框架结构看,大概念具有整体性、阶段性和延展性

例如,“运动与力的关系”大概念不但建构了力学部分的基本框架,动量概念、能量概念等都可以由“运动与力”大概念发展而来,“运动与力”大概念还在一定程度上建构了整个物理学的基本框架,比如电磁学部分的力学内容,是属于“运动和力”大概念的跨章节(跨模块)延伸。现行教材与课程的编排是把“运动与力”这一主题分散到不同的模块中,几乎贯穿整个高中阶段。大概念教学要做的恰是要求学生把这一主题从不同阶段和模块中再提炼出来,并厘清其在不同章节内部、各章节之间形成的概念支撑体系,打造一种“上下贯通、脉络清晰”“牵一发而动全身”的物理知识结构样态。

高中物理大概念既是发展的,又是相对的;有些概念在某个层面上是大概念,在更高层次上或许就不是大概念了。例如,“地球是太阳的行星”这一初中阶段的大概念,将被“万有引力定律”这个更高级的高中概念取代;再如高中阶段的“相对运动”这个大概念,也将在大学阶段被“相对论”大概念取代。正是由于物理大概念建构过程中的这种阶段性和延展性,才能够持续激发学生的物理学习兴趣,并体现出物理学科认知规律与育人价值。

(2)从核心素养要求看,大概念具有与核心素养的融合性

物理大概念是物理概念和物理知识的逻辑整合,既体现了与物理观念、科学思维的有机融合,又需要科学方法在物理知识聚合与整合过程中的广泛应用,而且大概念体系是理论与实际相结合的产物,体现出

* 通讯作者 王强(1975—),男,扬州大学教授,学科教学(物理)方向硕士生导师;邮箱:wq@yzu.edu.cn。

较强的迁移功能和育人价值。例如,在自由落体运动中的“运动与力的关系”大概念,既体现了与运动观、相互作用观念及与外推法、归谬法等逻辑思维方法的有机融合,也包括了真实实验、理想实验中的物理探究方法,还蕴含着“实践是检验真理的唯一标准”“物理学科以实验为基础”等哲学思想和科学观。

3. 高中物理大概念教学的现实困难

无论是构建物理学科认知体系还是提升物理核心素养,都离不开物理大概念。然而,在高中物理大概念教学时,常常会遇到以下一些现实困难^[3]。

(1) 存在浅层次、碎片化学习样态的影响

当我们过于追求知识数量时,学生积累的可能是大量碎片化、缺乏来龙去脉和清晰结构的知识,极易违背学生的认知规律,直接降低学生的学习兴趣 and 自信心,导致挫败感和被动学习。真正能够促进学生全面发展的不仅是有体验、有“温度”的浅层次验证性知识,更需要承载着分析与综合、归纳与演绎、分类与比较、迁移与应用等思维方法的深层次“论证性”知识^[4]。我们进行大概念教学时,在保证真实问题情境和探究体验的同时,还要注意渗透专家式学习和论证环节,增加学生的深层次、整体性物理思维经历,帮助学生进入深度学习状态。

(2) 存在纵向化、模块化教学逻辑的影响

高中物理课程的学科逻辑设计以纵向为主,这是一种从已知到未知、从具体到抽象的结构,这样的课程内容编排容易导致单维度、小步子、模块化的线性教学进程^[5],使得教师难以深度把握和运用教材。例如,(类)平抛运动和匀速圆周运动是两种常见且重要的曲线运动,在高中力学部分和电磁学部分都有涉及,学生在学习中往往只关注这两类运动和受力特点的区别,而不是从“运动与力”大概念的角度来认识这两类运动的联系。究其原因,我们在实际教学中往往是把这两种运动分开来讲的,分别创设平抛运动和匀速圆周运动的情境,而没有设法实现这两种分立情境的过渡性。在大概念教学中,我们需要弥合这两种曲线运动的潜意识割裂,帮助学生建立整体的、可延展的曲线运动大概念体系。

(3) 存在“知识本位”教学思想的影响

“知识本位”是指在知识选择上特别重视学科本身的逻辑和结构;“知识本位教育”则是将本来宽泛的教育概念狭隘化,把知识传授等同于教育本身。“知识本位”教学思想直接导致传统复习课的情况多是教师“主讲”和“主演”,学生则是被动“听”“看”“记”,忽视了学生的主体地位。新课程理念倡导以“学生本位”代替“知识本位”,以培养全面发展的人为教育目标。大概念教学绝不是排斥知识的重要性,而是强调

获取知识过程的科学性,强调解决实际问题时整合性知识的作用。比如,在“牛顿第二定律”教学中,如何使学生深入理解“力是改变物体运动状态的原因”“物体的质量是惯性大小的量度”“加速度是联系力与运动的纽带”,如何把牛顿第二定律迁移到解决“运动与力”的实际问题中去,如何在解决问题的过程中升华对于“运动与力的关系”的认识,这些都要比记住牛顿第二定律这个知识点本身更有意义。

(4) 存在大概念定位上的误读

首先,许多人认为大概念是学科体系中最重要知识或概念,比如力、加速度或牛顿第二定律等。这其实是对大概念的严重误读。大概念其实是物理知识背后的思想与方法,是在一定主题下对于一系列有关联事物的抽象表述。比如,“曲线运动”这个基本概念背后的大概念是什么?这并不是张口就来的事情,我们需要根据教学对象的不同需求来选择主题和任务,从而形成不同的大概念。如果是针对初中学生教学,他们难以对“运动与力的关系”有清楚的认识,我们可以选择“生活中的曲线运动”这一主题,制定“寻找生活中的不同曲线运动”主题任务,引导学生形成“曲线运动是普遍存在的,曲线运动有多种形式”这样的大概念。如果是针对高中教学,我们则可以选择“运动与力”主题,从物理因果论角度形成“运动与力的关系”大概念。

另外,人们越来越重视物理观念培养,并指出建构物理大概念是培养物理观念的重要路径^[6]。笔者认为,大概念既不同于物理概念,也不同于物理观念、物理方法和物理思想,却与这四者有着千丝万缕的联系;它是物理观念、物理方法和物理思想在具体物理知识中的体现,并且使大概念具有了可选择性。比如,曲线运动中的“运动与力的关系”大概念是物质观、运动观和相互作用观的体现。若选择“理想化模型”作为大概念,则是关注物理分析方法在曲线运动中的体现;也可以选择“能量转化与守恒”作为大概念,则是关注曲线运动中的能量观和物理量守恒思想。

(5) 存在大概念建构方式、方法上的缺失

物理大概念的生成来源是多种多样的:可以从课程标准或教学重难点中提取,也可以模仿专家思维来提取,可以从生活中提取,也可以从学生的现实需求提取。以上提取过程面临一个共同的难题:大概念的建构过程存在高度抽象性和隐蔽性,如何厘清大概念的生成思路并有效表述呢^[7]?

理论和实践都证明,正确使用思维导图可以使教学内容和方式变得直观,能够有效促进学生认知结构的建构与优化,有利于知识的获取、迁移与应用,催生深度学习;还可以增强学生的多元联想能力,改变线性

思维,触发创新灵感^[4]。因此,思维导图作为表达复杂逻辑关系和思维过程的行之有效的可视化工具,为厘清大概念的生成思路及有效表述提供了可行方案。

二、思维导图辅助建构高中物理大概念可视化路径

在物理大概念教学中,可以利用各种图解工具把隐性的知识层级逻辑结构用可视化的形式表现出来。从主题出发,沿着问题链条层层推进,直观显现出大概念与底层物理概念的层级联系,有利于挖掘知识和思维盲点。

在用思维导图辅助建构大概念的过程中,需要用大概念作为中心主题,借助一些指示性线条由中心主题词向四周散射,以问题问答的形式引出一些次级关键词(如关键概念、核心概念),将其作为所绘图的枝系,再引出一些二次级关键词(如基本概念、具体概念、知识点等),将其作为所绘图的次枝系;以此类推,形成具有很多分支的结构图,呈现出具有简明性、直观性、分类性、有序性等特征的物理知识谱系结构。大概念主题体现的是学科核心概念、基本概念、具体概念等“由下而上”的聚合与整合,而次级关键词和其他低级关键词则是大概念“由上而下”的衍生与延伸。大概念建构过程中,我们要始终关注问题链条设置的整体性和延展性,这是渗透“论证性”学习的关键所在。

三、思维导图在大概念可视化建构中的运用

本文讨论高三“曲线运动”这一单元复习课中大概念的建构,但是不能把大概念教学混淆为单元教学。所谓的大概念教学,并不是专指教学内容多,而是主题式教学不同于传统的模块式教学方式。还需要指出的是“曲线运动”只是本章的核心内容,“运动与力的关系”能够体现本章知识的核心思想,才是大概念。

1. 创设问题情境,绘制思维导图,明确大概念

在复习课开始后,让学生结合图1甲、乙、丙回顾所学的自由落体运动、平抛运动和匀速圆周运动,给出三种运动的定义与运动特点。然后根据图1丁创设情境,提出问题:设想地球表面(北极点处)的大炮以不同的水平速度 v 发射炮弹,可以实现哪几种运动?四种情况:(1) $v=0$ (自由落体运动);(2) $v>0$ 且足够小(平抛运动);(3) v 增大至第一宇宙速度 7.9 km/s (匀速圆周运动);(4) $0<v<7.9\text{ km/s}$ 或 $v>7.9\text{ km/s}$ (一般曲线运动),如图1丁所示。接着提出核心挑战性问题:不同曲线运动中炮弹受力与速度的方向有什么关系?这个问题将衍生出一系列子问题。最后绘制思维导图推进子问题理性问答过程(如图2所示),明确提出“运动与力的关系”大概念。只有分别厘清四种情况下运动与力的关系,才能清楚四种运动之间的区别与联系,最终回答核心挑战性问题。

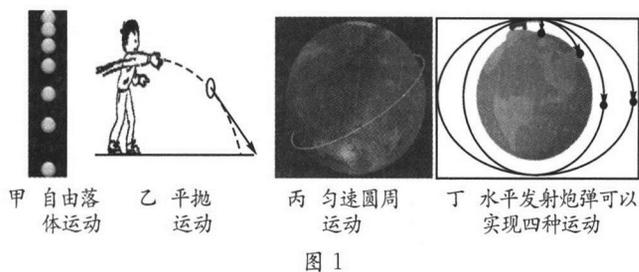


图1 甲 自由落体运动 乙 平抛运动 丙 匀速圆周运动 丁 水平发射炮弹可以实现四种运动

需要指出的是平抛运动定义强调的是“以一定初速度抛出物体”,需要保证重力为恒力,这就是要求初速度足够小。重力仅仅在地表近域是恒力,在地球表面不同位置重力方向不同。当物体抛出的速度越来越大时,落地点就会越来越远,逐渐脱离了“重力是恒力”的严格要求,实质上已经突破了平抛运动理想模型的限制;当抛出速度达到 7.9 km/s 时,物体不再落地,而成为环绕地球的近地轨道卫星,重力(万有引力)成为始终指向圆心的向心力,平抛运动模型就逐渐过渡到匀速圆周运动模型。物理模型的演化潜藏在核心问题的凝练过程中,并将随着下面四个子问题的理性问答逐渐显现出来。

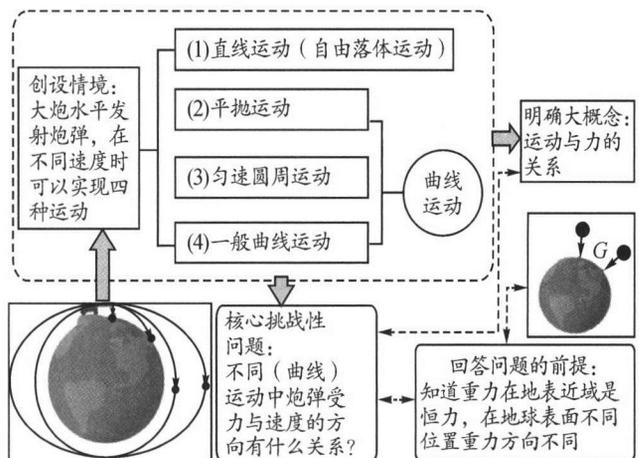


图2 提出核心问题和大概念的思维导图

2. 核心问题引导子问题理性问答,梳理与深化逻辑结构,显化知识谱系

在核心问题引导下,可以衍生出四个子问题,如图3、图4所示。子问题1解决的是自由落体运动转变为平抛运动的条件,即提供水平初速度;在此基础上,子问题2引导学生经历分析“自由落体运动→平抛运动→一般曲线运动→匀速圆周运动→椭圆运动”的物理思维进程,进一步体会各种运动之间的联系与区别。在子问题3的探究过程中,学生需要利用图示法完成子问题2探究结果的显性化表述。在此过程中学生需要基于对各种曲线运动定义、产生条件、研究方法和运动特点的基本认知,经过对于速度、重力及两者方向关系及演变过程的深度分析与讨论,形成对各种曲线运动概念联系与区别的整合认知,明显体现出论证性学习特点。

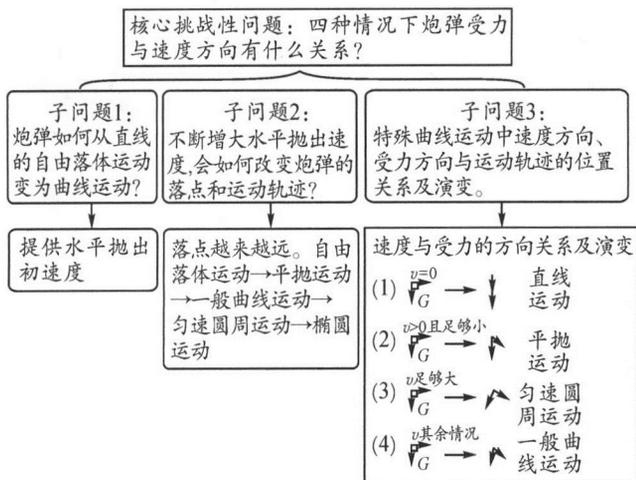


图3 子问题理性问答思维导图

子问题4的问答是建构大概念最关键的一步,需

要把高中物理中两种特殊的曲线运动,即平抛运动与匀速圆周运动的相关知识进一步整合,如图4所示。学生需要基于对平抛运动和匀速圆周运动产生条件的认知,深入认识物理抽象对于建立理想化模型的重要意义,建立关键概念。基于对两者受力和运动分析的基本认知,从物理因果论的角度进一步深化整合“运动与力的关系”大概念,并能够对比两种运动中速度大小的变化特点,从合外力做功的角度看能量问题,从而基于能量转化与守恒的物理思想提出主要概念。需要指出的是“理想模型”这个关键概念地位虽然不及“运动与力的关系”大概念,但是建立具体运动模型的物理抽象过程至关重要,在低级次物理概念的聚合与整合过程中起到枢纽作用,贯穿大概念建构的全过程。

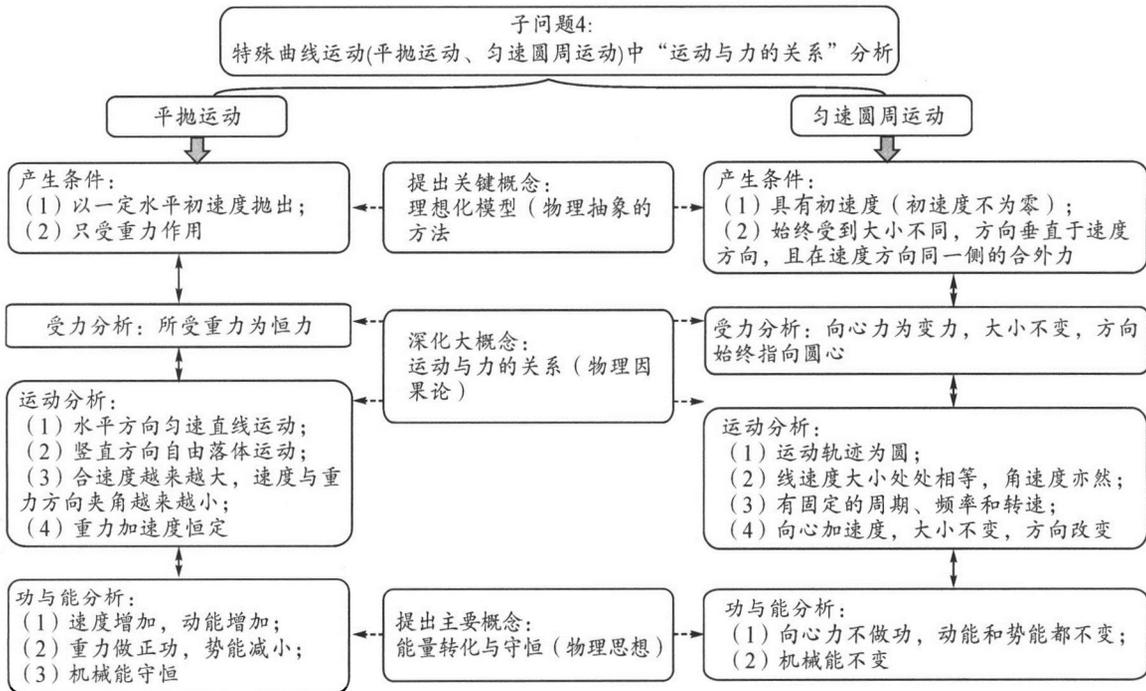


图4 子问题4理性问答的思维导图

在核心问题引导子问题的理性问答过程中,图3、图4思维导图的绘制,使得“提取物理大概念→确定关键概念与核心概念→加工并整合物理概念→输入并存贮物理概念”的大概念表述过程变得便捷且可视化,强化了思维的深刻性、论证的逻辑性和知识体系的框架性。需要指出的是在解决真实问题的过程中,师生合作、生生合作,搜集资料、处理数据、讨论、论证等探究手段的使用是必不可少的,这能使学生建立物理大概念的过程“内化于心(即思维),外化于形(即导图)”。

3. 深化各层级概念内涵联系,彰显大概念延展性

高中物理知识点比较多,知识体系庞杂,很多学生不注重前后章节知识之间的联系,这也是大概念教学要解决的重要问题。充分发挥思维的类比、迁移功

能,对于实现大概念教学的思维整体化与延展性、知识体系的结构化与重整性要求,是非常重要的。运用思维导图的可视化功能和可延展性特点,可以有效帮助学习者利用类比、迁移等思维方式,从大概念状态推进到跨章节的大概念状态,使学生认知结构得到更深层次的整理与提升,利用“一般→特殊→更一般”的认知范式来解决更广泛的实际问题。

我们可以利用“曲线运动”与“带电粒子在电场中运动”的类比关联,引导学生绘制跨章节(机械运动与电场)的“曲线运动”大概念思维导图,如图5所示。利用“曲线运动”与“带电粒子在磁场中运动”的类比关联,也可以用思维导图来建构相应的大概念,在此不再赘述。

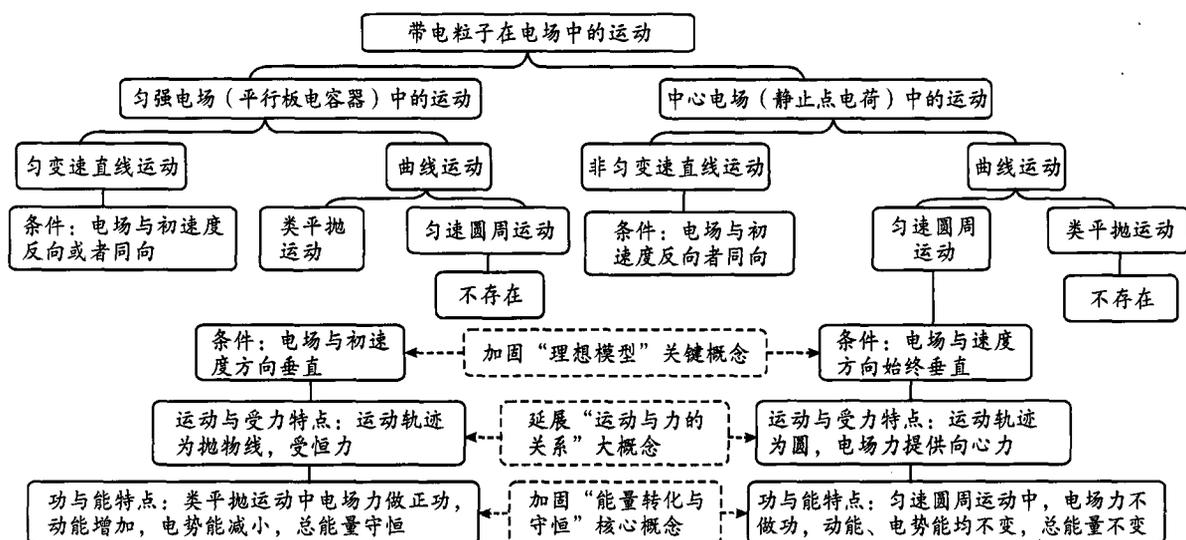


图5 利用思维导图建构跨章节大概念

4. 厘清大概念层级关系, 加固大概念整体结构

我们借助思维导图的思维可视化功能, 选择“运动与力的关系”大概念作为中心主题, 以理性问答的形式建构了“大概念→关键概念→核心概念→主要概念→基本概念→具体概念”自上而下的大概念层级, 从而可以形成具有简明性、直观性、分类性、有序性等特征的物理知识谱系结构, 如表1所示。最高层的大概念源于底层概念的聚合与整合, 而底层概念则是大概念的衍生与延伸。

表1 “曲线运动”大概念层级关系

大概念层级关系	“曲线运动”大概念知识谱系结构			
大概念	运动与力的关系(物理因果论)			
关键概念	理想化模型(物理方法论)			
核心概念	(1)牛顿第二定律(核心规律);(2)运动的合成与分解(核心方法);(3)能量转化与守恒定律(核心规律)			
主要概念	一般曲线运动	α 粒子散射运动	特殊曲线运动	(1)平抛运动;(2)匀速圆周运动;(3)带电粒子在匀强电场中类平抛运动、在中心电场中匀速圆周运动;(4)带电粒子在匀强磁场中匀速圆周运动
		行星椭圆运动		
基本概念	运动量	加速度, 速度, 位移	力学量	重力(万有引力); 电场力、洛伦兹力; 动能、重力势能、电势能、功、机械能
具体概念	平抛运动相关概念	水平: 加速度、速度、位移; 竖直: 加速度、速度、位移; 合运动: 加速度、速度、位移	匀速圆周运动相关概念	向心力、向心加速度; 线速度、角速度、周期、频率、转速

大概念教学的核心作用在于发展整体性思维。所谓整体性, 就是最终要求呈现出大概念统领下的

“物理概念群”体系。大概念是灵魂、统帅, 关键概念、核心概念是主将, 而主要概念、基本概念和具体概念分属各部门; 他们各司其职, 又协调关联, 共同完成“解决问题”的物理任务。“牛顿第二定律”“运动的合成与分解”之所以作为核心概念出现, 是因为它们隐藏在各种曲线运动受力分析和运动分析中, 起到基础核心作用; 而“能量转化与守恒定律”作为核心概念, 则为各种曲线运动的深入认识提供了更高视角。

四、总结

运用导图的思维可视化功能可以有效促进大概念建构过程中物理知识的有机融合、聚合与整合, 提高物理教学的整体性和深刻性, 并彰显大概念理念与核心素养四维目标的融合性。从最近发展区理论的角度来看, 这样的大概念教学有利于学生以现有认知发展区(物理知识)为支架, 不断开发、拓展其最近发展区(物理大概念), 建构能够创生潜在发展区(跨章节、甚至跨学科大概念)的认知结构^[8]。

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)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020: 4.
 [2] 权广仁. 高中物理大概念主题教学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2017.
 [3] 宗德柱. 大概念教学的意义、困境与实现路径[J]. 当代教育科学, 2019(05): 25-28+57.
 [4] 关亚琴. 大概念在中学物理教学中的实施路径探析[J]. 中学物理(高中版), 2021, 39(9): 2-4.
 [4] 黄俊生. 基于大概念与思维导图联系的高中地理教学研究[J]. 试题与研究, 2022(01): 63-64.
 [5] 王强, 李松林. 学科大概念的剖析与建构: 以物理学科为例[J]. 上海教育科研, 2021(10): 10-14.
 [6] 孙圆, 徐晓梅. 基于“大概念”建构知识促进学生物理观念的形成和发展[J]. 科技风, 2022(26): 31-33+86.
 [7] 李凯, 范敏. 素养时代大概念的生成与表达: 理论诠释与行动路径[J]. 全球教育展望, 2022, 51(03): 3-19.
 [8] 郭琴琴. 指向核心素养的单元教学目标设计[D]. 天津: 天津师范大学, 2020.

(本文编辑: 杨博闻)