



基于教科书知能结构图示法的物理学科 核心素养要素分析

——以人教版“圆周运动”章节为例

陈维则 方颖

(安徽师范大学物理与电子信息学院 安徽 芜湖 241002)

(收稿日期:2022-07-25)

摘要:以人教版高中物理必修二教科书为研究对象,从物理学科核心素养视角出发,运用教科书知能结构图示法对“圆周运动”一章内容进行分析,对知能结构图各部分内容及其相互关系做出解读,阐明本章内容所体现的物理观念与科学思维要素及其各自的生成路径,展示教科书学科知能结构与学生学科核心素养之间的内在联系,并探讨新课标要求下知能结构分析框架的改进。

关键词:核心素养;圆周运动;教材分析;知能结构图

自《普通高中物理课程标准(2017年版)》(以下简称“课标”)确立物理学科核心素养体系以来,如何将培养学生核心素养的教育诉求落到实处便成为了教育工作者特别是一线教师重点思考的问题。依据课标编写的多版高中物理教科书是课程的重要载体,其文本内容及呈现方法丰富多样,教育工作者们应重点关注这些教科书内容和形式的科学性和逻辑性,充分发挥其教学功能。基于教科书内容结构分析结果,抽离出相关核心素养要素,有利于明晰课标要求,进而准确把握教学内容,合理选择教学策略和评价方法,实现课程目标。

本文将采用知能结构图示法分析人教版高中物理必修二教科书“圆周运动”一章的内容,下面对该方法做简单介绍。

1 知能结构图示法

美国哈佛大学教授霍尔顿提出,所有的物理科学论述都包含3种因素: x ——经验叙述因素(关于经验事实的叙述), y ——分析表述因素(关于逻辑和数学的演算), z ——选题因素(基本的预先假定、

观点、术语、方法论上的判断和决定等)^[1]。将这3种因素转化为如图1所示的模拟坐标系,便可体现物理学科知识的三维结构;它可以通过投影的方法分解为相应的物理事实、思想方法与数学形式。

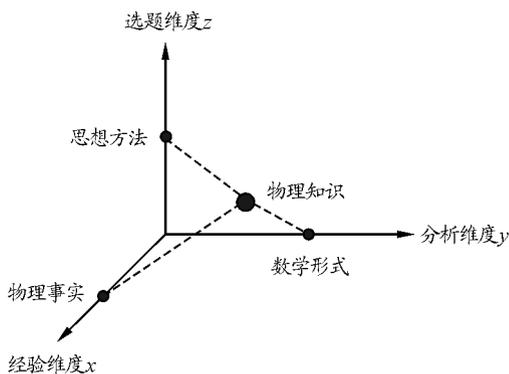


图1 物理学科知识的三维结构

我国学者借鉴前苏联物理学家费多琴柯对该三维结构的处理方法,将其投影到平面上,形成如图2所示含有上(实验)、中(核心理论)、左(科学方法论)、右(数学)、下(运用与延伸)5个区间的物理学知识-能力-方法结构图示,该图示可作为一种教科书分析的方法,简称“知能结构图示法”^[2]。

作者简介:陈维则(1998-),男,在读硕士研究生,研究方向为学科物理。

指导教师:程小健(1963-),男,副教授,研究方向为中学物理课程与教学论、中学物理教材分析和研究。

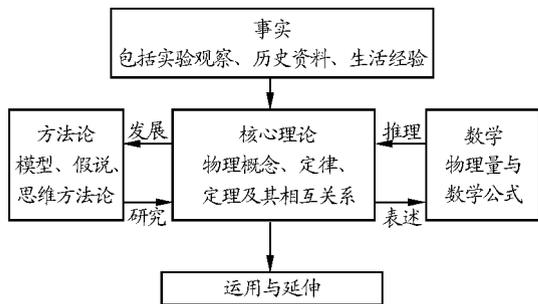


图2 知能结构图

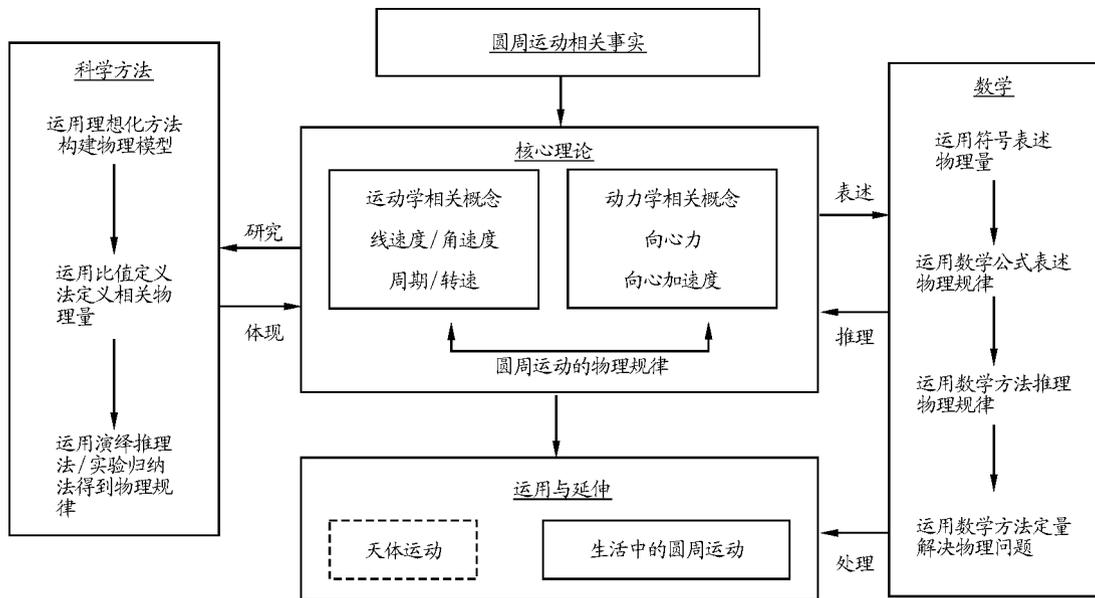


图3 人教版“圆周运动”章节知能结构图

如图3所示,本章内容的起点是现实情境中圆周运动的相关事实,多以直观生动的插图形式呈现;中部是本章的核心理论内容,主要包括与圆周运动相关的运动学和动力学概念及其物理规律.这一理想物理模型展开;左方是本章涉及的科学方法,右方是本章涉及的数学内容,它们存在于物理概念和规律的学习过程中,有着循序渐进的特点;下方是知识的运用与延伸,主要涉及生活中的圆周运动现象和下一章“天体运动”的相关内容.

2 基于知能结构图的核心素养要素分析

与教科书分析方法中的知识结构、心理学、方法论、文本分析方法相比,知能结构图示法不仅突出了物理学科知识本身的特点,而且揭示了知识、能力、方法之间的内在联系,与课标中培养学生学科核心素养的要求不谋而合.原图体现的是教科书的“知识-能力-方法”结构,笔者针对培养学生学科核心

知能结构图示法具有较广的适用范围,既可以对本章教科书进行分析,也可以单独分析其中一章内容.笔者使用该方法分析人教版高中物理必修二“圆周运动”一章,得到如图3所示的知能结构图.图示将本章知识内容分为了5个部分,箭头指向及其标注展现了本章各部分知识内容之间的逻辑联系,虚线框内是前后章节的相关内容,为方便后文分析在此处标出.

素养的目标,在已有图示基础上提取部分内容,更细致地分析其内部结构,可得到本章物理观念和科学思维要素的生成路径.

2.1 物理观念视角的知能结构图分析

本章主要涉及的物理观念是“运动与相互作用观念”,提取图3上中下部分,进一步分析其内部结构,可以呈现出如图4所示的物理观念生成路径.

物理观念是物理概念和规律等在头脑中的提炼与升华^[3].从知能结构图的中心部分可看出,本节需要掌握的重点概念有“线速度”“角速度”“周期”“转速”“向心力”“向心加速度”等,这些物理量从运动学和动力学两个方面反映了圆周运动的特点.教科书中指出了这些物理量之间的相互转化关系,在图中以箭头表示,虚线连接的部分则是教科书中未明确提及但在教学内容中应当呈现的关系.这些物理量之间的关系便构成了圆周运动的物理规律.采取运动学和动力学两种视角描述物体运动状态及解释

运动状态变化的原因,正是物理观念中的“运动与相互作用观念”在圆周运动一章的体现.

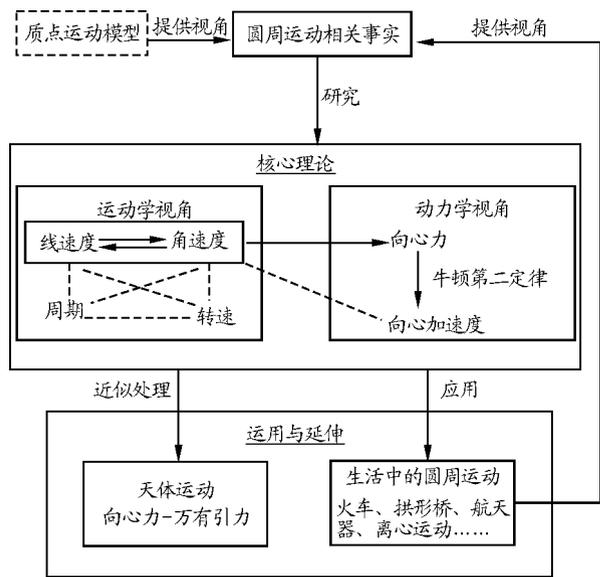


图4 “圆周运动”物理观念生成路径

物理观念是从物理学视角解释自然现象和解决实际问题的基础^[3]。“自然现象与实际问题”对应着知能结构图上方的“事实”部分,“解释”与“解决”这两种行为则对应图下方所示“运用与延伸”的部分.值得注意的是对知识的运用与延伸也会反过来影响对物理事实的看法.霍尔顿指出:人们几乎没有可能不加解释,没有假设和即席地描述一事实.在涉及观测和事实时,我们的思想必须利用一些概念、结

构、观念.正是思想给了我们眼睛^[1].面对车轮、旋转木马等不同物体的运动时,学生能够将其简化为质点,从而忽略形状细节,关注其相同的圆周运动轨迹,乃至可以用相同的方法研究轨迹上任意一点的力学特征,这都有赖于之前学习“质点模型”时打下的认知基础.而在他们学习本章内容后,可以从运动和相互作用观念的视角更深刻地认识这些现象乃至解决现实问题,在学习下一章“天体运动”时又可以从行星运动的轨迹中看到向心力存在的事实.总之,他们眼中的物理现象会变得更加丰富多彩.

图4的箭头从物理事实出发,经过核心理论内容,又通过知识的运用折返回物理事实,正是对这一过程的反映:学生之前所学习的概念和规律在不断运用的过程中内化为自身的物理学视角,这种视角又为学习新的概念和规律提供知识结构上的可能,从而在头脑中逐步形成完善自洽的物理观念.

2.2 科学思维视角的知能结构图分析

科学思维是从物理学视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识方式^[3].科学方法与数学符号系统的结合构成了这种认识方式的基础,如图5所示提取知能结构图的左中右部分,便可看出科学思维的生成路径.由于教科书中的科学方法往往隐含在核心理论的学习过程中,所以在图中以虚线表示它们之间的联系.

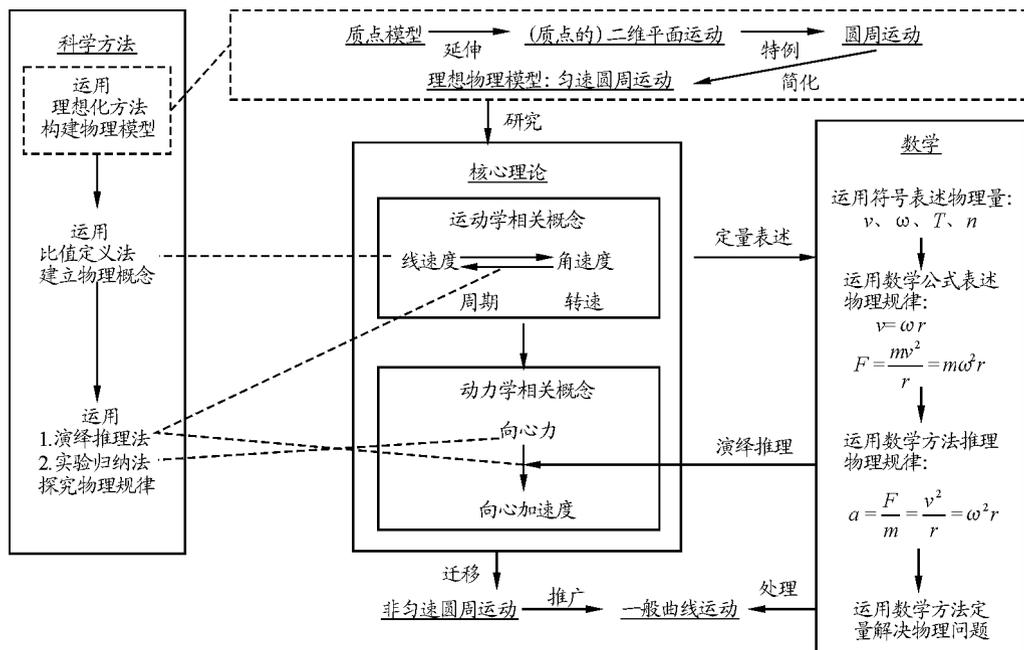


图5 “圆周运动”科学思维生成路径

先从图5的左方看起,学习本章核心理论的第一步是运用理想化方法构建物理模型.从宏观视角看,高中阶段所研究的是基于质点模型的二维平面运动,圆周运动是其中的特例,而匀速圆周运动又是最简单的理想化圆周运动.教科书正是按照这种思路将生活中复杂的圆周运动现象简化,从研究“匀速圆周运动模型”的各项性质入手,学习圆周运动的相关概念和规律,减轻学生的认知负担,同时渗透通过模型建构化繁为简的科学思维.

建立物理模型还需要将可观测的物理现象与数学的符号系统加以联系,对学生而言就是学习物理概念,界定各种物理量的过程,比值定义法在这一过程中起到了重要作用(如对线速度和角速度的定义).该方法在教科书文本中外显为表示不同物理量的数学符号以及写作比值形式的定义式,通过这种方法能将可观测的物理现象转化为在数学上可计算的物理量,这是定量研究相关物理规律的基础.

本章物理规律的学习过程涉及两种方法:一是实验归纳法,在教科书中多以图像形式呈现,如利用向心力演示器研究向心力大小与半径的定量关系;二是演绎推理法,在教科书文本中表现为结合已有

知识的公式推导,如运用向心力计算公式和牛顿第二定律得到向心加速度的计算公式.在完成这部分内容的学习后,学生将习得的相关规律迁移到非匀速圆周运动,最后推广到一般曲线运动中,运用数学手段解决更复杂的现实问题.这是学生逐步完善物理模型并加以应用的过程;也是学生逐渐熟悉科学方法,提高科学推理能力的过程.

3 结合学科核心素养的知能结构分析框架改进建议

从上文的分析中可以看出:从核心素养视角出发,深度分析知能结构图示内容,可以有效发掘教科书中包含的“物理观念”和“科学思维”要素及其生成路径.由于知能结构图示法侧重于展示教科书的知识-能力-方法结构,“科学探究”和“科学态度与责任”的相关要素不便直接体现在图示中.为了满足新课标要求下教学研究的需要,可以进一步发掘教科书内容,在此基础上对知能结构图的分析框架做出改进.笔者在这里给出一种作为参考的标注方式,以便在知能结构图上展现这些核心素养要素,如图6所示.

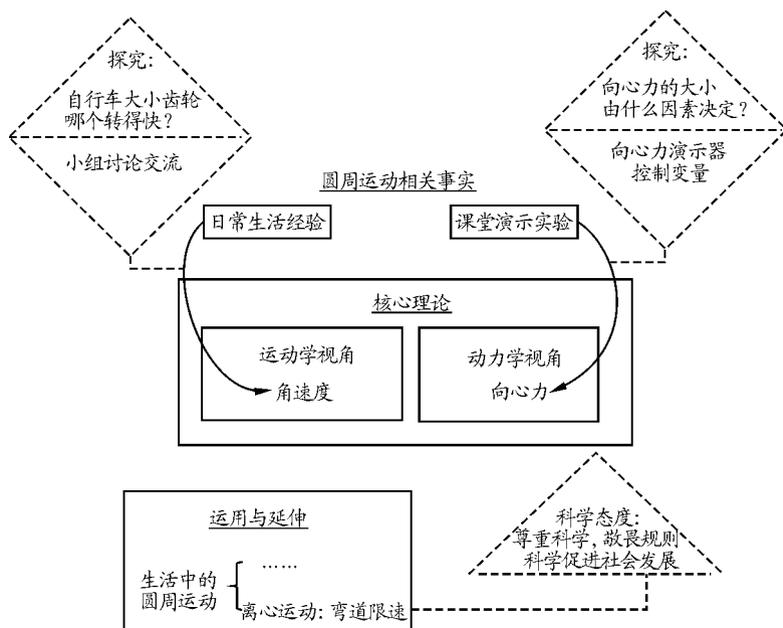


图6 隐性核心素养要素标注示例

人教版教科书在内容编排上遵循了科学探究的流程:每一小节都围绕具体问题展开研究,有时侧重相异观点的交流碰撞,有时侧重实验验证假设.想要挖掘教科书中的科学探究要素,可以关注知能结

构图中从上方到中部的箭头(代表着学生从接触物理事实到建立核心理论的学习过程),研究者可以采取如图6所示的菱形标注科学探究内容:菱形上半部分是学生面临的主要问题,下半部分则是为解决

问题所采取的探究方式. 比如“角速度”概念的建立过程, 就是一次从日常经验出发进行的科学探究. 学生在之前的学习中已掌握用“速度”这一物理量描述物体运动得快慢, 但在本章又将面临新问题: 他们会在比较自行车轮大小齿轮的转动快慢时产生不同的意见. 教师可以组织学生进行讨论交流, 引导他们发现真正的分歧点: 单一的速度概念表述不足以解释现有的物理现象, 而角量更适合用来表述圆周运动的一些特点. 于是角速度的概念应运而生.

科学态度与责任要素往往在教科书的文本内容中得到体现, 比如“生活中的圆周运动”一节提及: 离心运动产生的原因是合力不足以提供向心力, 这会导致日常生活中的一些危险现象(汽车打滑), 根据这种科学解释定下的规则可以保护生命安全(弯

道限速)^[4]. 这便在介绍“离心运动”这一知识点的同时体现了一定的科学态度. 对于这种与个别知识点相关联的要素, 研究者不妨在知能结构图中添加如图6所示的三角形标注, 以便在备课时加以注意, 在教学中适当渗透.

参考文献

- [1] 杰拉德·霍尔顿. 物理科学的概念与理论导论(上册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1983: 323-325, 292-293.
- [2] 阎金铎, 田世昆. 中学物理教学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991: 38-42.
- [3] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2018: 4-5.
- [4] 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书物理必修第二册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019: 38.

(上接第152页)

带来的困难, 既体现了命题专家的智慧, 又有利于学生直接利用结论进行求解.

参考文献

- [1] 赵坚. 电磁感应中一些容易引发疑惑问题的分析[J]. 物理通报, 2014, 35(5): 2-4.
- [2] 黄晶. 基于SOLO分类理论的教学实践与改进[J]. 教学月刊, 2014(11): 24-27.

附录:

文中式(15)微分方程的求解

$$\frac{mCr}{BL} \frac{d^2U}{dt^2} + \left[\frac{m(R+r)}{BLR} + CBL \right] \frac{dU}{dt} + \frac{BL}{R}U = mg$$

为二阶线性常系数微分方程, 其解由两部分构成.

一部分是非齐次方程的特解

$$U = \frac{mgR}{BL}$$

另一部分是下面齐次方程的特解.

$$\frac{mCr}{BL} \frac{d^2U}{dt^2} + \left[\frac{m(R+r)}{BLR} + CBL \right] \frac{dU}{dt} + \frac{BL}{R}U = 0$$

令

$$\frac{mCr}{BL} = a \frac{m(R+r)}{BLR} + CBL = b \frac{BL}{R} = c$$

则齐次方程可简写为

$$a \frac{d^2U}{dt^2} + b \frac{dU}{dt} + cU = 0$$

设其解的形式为

$$U = U_0 e^{\gamma t}$$

代入原方程可得特征方程

$$a\gamma^2 + b\gamma + c = 0$$

其特征根为

$$\gamma = -\alpha \pm \beta$$

其中

$$\alpha = \frac{b}{2a} \quad \beta = \sqrt{\frac{b^2}{4a^2} - \frac{c}{a}}$$

当 $b^2 > 4ac$, $\frac{b^2}{4ac} > 1$ 时, 特征方程存在两实根, 分析如下.

$$\frac{b^2}{4ac} = \frac{\left[\frac{m(R+r)}{BLR} + CBL \right]^2}{4 \frac{mCr}{BL} \cdot \frac{BL}{R}} \geq \frac{4 \frac{m(R+r)}{BLR} CBL}{4 \frac{mCr}{BL} \frac{BL}{R}} = \frac{R+r}{r} > 1$$

即特征方程存在两实根.

由上述分析可知, 式(13)的解为

$$U = U_0 e^{(-\alpha-\beta)t} + U'_0 e^{(-\alpha+\beta)t} + \frac{mgR}{BL}$$

其中 U_0, U'_0 由初始条件决定, 考虑到初始时刻 $U = 0, \frac{dU}{dt} = 0$ (因为 $\frac{dU}{dt} \propto I_1$, 而初始时刻 $I_1 = 0$), 得到

$$U_0 + U'_0 + \frac{mgR}{BL} = 0$$

$$U_0 - U'_0 = 0$$

解得

$$U_0 = -\frac{-\alpha+\beta}{2\beta} \frac{mgR}{BL} U'_0 = -\frac{\alpha+\beta}{2\beta} \frac{mgR}{BL}$$

综上, 最后解的形式为

$$U = \frac{mgR}{BL} \left[1 - \frac{(-\alpha+\beta)e^{(-\alpha-\beta)t} + (\alpha+\beta)e^{(-\alpha+\beta)t}}{2\beta} \right]$$