



显化科学方法视角下物理规律的探究思路*

——以“太阳与行星间的引力”教学为例

操时良

(新沂市教师发展中心 江苏 徐州 221400)

(收稿日期:2020-01-13)

摘要:物理规律的得出过程往往隐藏着丰富的科学方法,显化其主要的科学方法,有助于帮助学生深刻理解规律得出过程的逻辑难点,有利于进一步厘清探究思路,并充分彰显教学逻辑。本文结合人教版“太阳与行星间的引力”一节内容,针对其探究过程中的逻辑难点,挖掘并显化与之对应的科学方法,以期有所裨益。

关键词:物理规律 科学方法显化 探究思路 太阳与行星间引力

每一个物理规律得出的背后都隐藏着与之关联的诸多科学方法,教学中挖掘并显化规律得出过程中的科学方法,有助于帮助学生明晰规律探究的得出过程。本文以高中物理人教版“太阳与行星间的引力”为例,在显化科学方法视角下研究相关规律得出过程的逻辑难点,以期有所裨益。

1 教材内容分析

为了更加突出发现万有引力定律的科学探究过程,人教版高中《物理·必修2》在“行星的运动”与“万有引力定律”两节内容之间编排了“太阳与行星间的引力”这节内容。该内容基于动力学角度,依据已有规律推演行星的运动规律。显然,教材的编排遵循了从运动到力、从现象到本质的逻辑编排顺序。教材首先以一个问题引入:“开普勒定律发现之后,人们开始更深入地思考:是什么原因使行星绕太阳运动?”接着,简要论述了伽利略、开普勒、笛卡儿、胡克等科学家对太阳对行星间引力的猜想与假设,追寻牛顿的足迹,逐一推导了“太阳对行星的引力”“行

星对太阳的引力”“太阳与行星间的引力”等内容^[1]。与教材相匹配的教师用书将本节内容设置为1课时,且认为教学时间显得比较宽松,建议适当补充伽利略、笛卡儿等科学家研究相关问题的一些史料。同时建议让学生自主推导太阳与行星的运动规律,并要求学生说出推理的依据,教师仅点拨学生遇到的难点问题。

诚然,放手让学生自主地去推导行星运动规律,并说出推理依据,这一建议有利于学生主体地位的确立,有利于规律的深刻理解。为了落实教师仅在难点问题上作适当点拨的要求,则需教师厘清哪是学生理解的难点,如何点拨这一难点。深入研读教材并结合对学生访谈后发现,学生理解的难点有:

(1)由行星运动定律知,行星绕太阳运动的轨道为椭圆,但教材却说“根据开普勒行星运动第一、第二定律,行星以太阳为圆心做匀速圆周运动”,教材对此未做任何解释,需要教师点拨。

(2)太阳对行星的引力采取了4步推导,为什么这样推?教材并未在推导的方法与思路上做充分的

* 江苏省中小学教学研究第十三期重点课题“基于课堂观察的高中物理课堂对话教学研究”阶段性成果,课题编号:2019JK13-ZB20

作者简介:操时良(1977-),男,江苏省第三、四届乡村骨干教师培育站导师,曾荣获徐州市优秀教育工作者,新沂市百名优秀人才等荣誉称号,现为江苏省新沂市教师发展中心物理教研员。

阐释.

(3) 定势思维影响学生对行星与太阳间引力大小的理解,学生头脑中总是认为这里存在一个主从关系,即太阳对行星的力大于行星对太阳的力,需要破除.

(4) 教材根据 $F \propto \frac{m}{r^2}$, $F' \propto \frac{M}{r^2}$, $F = F'$ 推出

$$F \propto \frac{Mm}{r^2}$$

学生不易理解,认为很模糊.如何结合学生的认知实际推出太阳与行星间的引力呢?

基于以上的难点分析,为实现精准的点拨,笔者认为,可依据文献[2]的“物理科学方法因素判定原理”挖掘出这些知识连结处隐藏的科学方法.即在物理学知识点的建立、引申和扩展中,知识点以及知

识点与知识点之间的连结处,定存在物理科学方法因素”.教师挖掘出这些科学研究方法后,通过显化教学帮助学生深刻理解规律得出的来龙去脉,同时,让学生感知知识得出的过程中显化科学方法的作用.

2 基于科学方法显化的物理规律探究思路

研读教材,并充分结合科学方法因素判定原理及显化理论的基础上,我们构建了太阳与行星间的引力的知识与方法体系显化探究思路图.如图1所示,知识与知识的连结处显化了科学方法,形成了知识与方法并行的探究思路,从太阳与行星间的引力的探究全程看,演绎推理法贯穿始终,探究过程中涉及理想化模型法、转换法、对称法、数学方法、数学等科学方法.

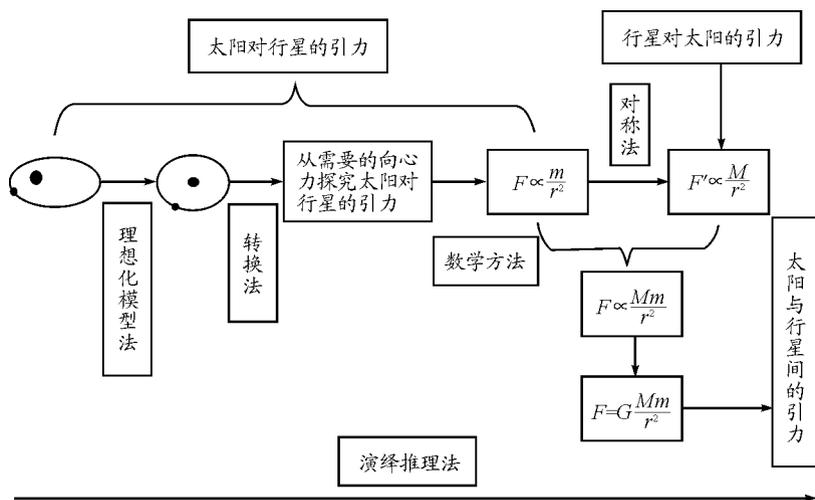


图1 太阳与行星间引力知识与方法体系显化探究思路图

2.1 首先,显化“理想化模型法”简化行星运动模型

教材对行星的运动只用了一句话,即:根据开普勒行星运动第一、第二定律,行星以太阳为圆心做匀速圆周运动.太阳对行星的引力,就等于行星做匀速圆周运动的向心力.这一表述太过突然,理由也欠充分.其实,要想探讨出行星绕太阳运动背后的原因,需要在符合学生认知规律又不失科学性的基础上进行,行星运动模型的建立首先要正视以下几个问题:一是由行星运动定律知,行星绕太阳的运动轨道为椭圆,而不是圆,且太阳位于椭圆的一个焦点上,而

不在圆心;二是太阳及其行星的体积和大小都是巨大的;三是某行星(如地球)绕太阳公转的同时还在自转,且其他行星的引力可能对它的运动也会有影响.这几个问题需要正视,并形成共识:椭圆的半长轴和半短轴之间的相差是非常小的,椭圆可以近似为我们所熟悉的圆,太阳在圆心;太阳以及行星的体积虽然巨大,但相对于行星与太阳间的距离而言却很小,故可视为质点;行星绕太阳公转为主,自转对公转的影响可忽略不计,各行星间虽然也存在万有引力,但相对太阳对它们的万有引力而言,亦可忽略不计.进而将行星运动的模型简化为:

- (1) 行星绕太阳运动轨道为圆轨道；
- (2) 太阳对行星的引力提供行星运动的向心力。

这种研究方法,体现了抓住主要因素、忽略次要因素的“理想化模型法”,是经过科学抽象而建立起来的一种研究客体^[3]。

2.2 第二,显化“转换法”推出“太阳对行星的引力”

行星的运动模型理想化为匀速圆周运动后,可进一步探讨运动状态背后改变的原因——太阳对行星的引力,而太阳对行星的引力在运动中起什么作用?引力能直接得出吗?需要引导学生去积极思考,适时点拨:动力学问题亦可从运动学的角度间接转换成对向心力的研究,这是太阳对行星的引力推导中第一次使用转换法。

教材中分4步探讨,其中第1步到第2步,是向

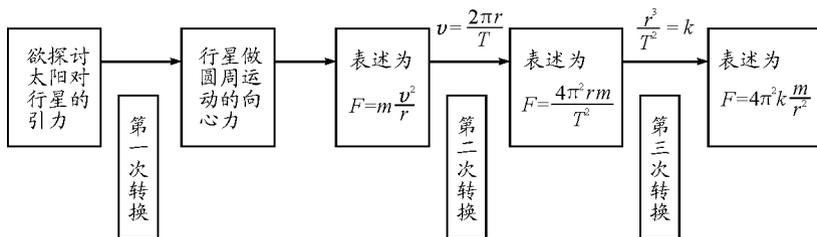


图2 知识与方法显化探究思路

基于上述的点拨,教师还需要让学生知道转换法就是将某些不易直接测量的物理量转换成容易测量的物理量进行间接测量或某些不易直接显示的物理现象转换成某些现象进行间接观察的研究方法^[4]。

2.3 第三,显化“对称法”顺承得出“行星对太阳的引力”

自第4步得出 $F \propto \frac{m}{r^2}$ 后,可引导学生进一步思考:若从相互作用的角度看,太阳对行星的引力与行星对太阳的引力这两者的地位如何?有主从之分吗?教师点拨:相互作用具有对称性思想,而对称性具有平等性,无主从之别,进而得出 $F' \propto \frac{M}{r^2}$ 。同时,教授学生对称法就是从对称性的角度研究、处理物理问题的一种思维方法,分为时间和空间上的对称^[5]。

心力的表达式的变换,由难以测量的速度 v 转换成容易测定大小的公转周期 T ,这是推导中第二次使用转换法。

第3步是向心力的再次转换,即将周期 T 通过开普勒第三定律

$$\frac{r^3}{T^2} = k$$

变形为
$$T^2 = \frac{r^3}{k}$$

最后表示成

$$F = 4\pi^2 k \cdot \frac{m}{r^2}$$

这是推导中第三次使用转换法。

基于上述的分析,教师应通过点拨让学生进一步明确在太阳对行星的引力的4步推导中,运用了三次转换,其知识与方法显化探究思路如图2所示。

2.4 第四,显化“数学方法”推演出“太阳与行星间的引力”

基于上述的探讨,在得出“太阳与行星间引力”的推导过程中涉及牛顿第三定律和数学方法的演绎推理,这一过程可通过一个流程图进行显化教学,如图3所示。

$$\left. \begin{array}{l} F \propto \frac{m}{r^2} \\ F' \propto \frac{M}{r^2} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{牛顿第三定律 } F=F'} F \propto \frac{Mm}{r^2} \xrightarrow{\text{写成等式}} F = G \frac{Mm}{r^2}$$

图3 显化演绎推理过程

上述推导,思路清晰,但却难以进入学生心里,如何基于高中学生的认知实际且结合太阳对行星引力 $F = 4\pi^2 k \frac{m}{r^2}$ 进行推演呢?由 $F = 4\pi^2 k \frac{m}{r^2}$ 可以看出,太阳对行星的引力与行星的质量成正比,由牛顿第三定律知,行星对太阳的力与太阳对行星的力必

然为同种性质的力,这个力也一定与太阳质量成正比,即式中 $k \propto M$,可令 $k = k'M$,其中 k' 是一个与太阳和行星都无关的常数,则有

$$F = 4\pi^2 k \frac{m}{r^2} = 4\pi^2 k' \frac{Mm}{r^2}$$

$$\text{令} \quad 4\pi^2 k' = G$$

最终得出

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \text{ [6]}$$

这样,整个推导过程思路更清晰,逻辑上就显得更为严密.这一推导正是基于高中学生习惯于推导定量关系的实际,易于被学生接受.

3 规律探究思路的思考

物理规律的学习是一个十分复杂的认知过程,物理规律的教学应力求让这一复杂的认知过程变得简单,恰恰,重演规律的探究过程并显化规律探究中的主要科学方法,有利于让规律走进学生心里,有利于让复杂问题变简单.实际教学中,仍有不少教师淡化了对规律的得出过程的教学探究,重结论、轻过程,重知识、轻方法.邢红军教授等学者指出,科学知识的获得和应用均离不开科学方法.若能将科学知

识用合理的科学方法串接起来,并通过显化教学,明晰其意义,理解其内涵,则更有利于物理规律的科学探究思路的彰显.“太阳与行星间的引力”这一内容,是有关物理规律的得出过程,教学中可按照“提出问题→显化方法→探索规律”的教学思路进行,这种新的探究路径无疑更有助于学生深入地理解物理规律的本质,并内化升华.

参考文献

- 1 课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.普通高中课程标准实验教科书 物理·必修2(第3版)[M].北京:人民教育出版社,2019.36~38
- 2 张宪魁.物理科学方法因素判定原理[J].物理教师,2012(11):2
- 3 张宪魁.物理科学方法教育[M].青岛:海洋大学出版社,2000.96
- 4 吴强.科学方法与高中物理问题解决[M].济南:山东教育出版社,2013.294
- 5 刘荣兵.物理学中“对称法”应用之探讨[J].数理化学学习,2012(9)
- 6 王进峰,王建峰.对人教版“太阳与行星间引力”两处推导的质疑[J].物理教师,2011(7):9

(上接第112页)

极干预,矫正和引导学生的思维活动,同时也加深对学科知识的深度理解;从科学精神的角度看自然科学之所以可信是因为其可以被论证,此乃科学精神之所在.如果只顾学习建构过程的效率,而忽视学生的思维差异,必然会抹杀学生的思维个性,最终建立起来的只是权威主义和等级秩序,这样的课堂是思维的墓地而非摇篮.

3 总结

思维能力是核心素养的重要方面,关系到国家“立德树人”教育方针的落地执行.一线的教学实践应当区辨思维能力与应试能力的不同,应试能力仅是思维能力的局部.我们应当着眼于思维效率的提高和科学逻辑思维的发展,避免将应试能力等同于

思维能力进而将思维导图当作服务于题海战术的工具.

参考文献

- 1 林崇德,胡卫平.思维型课堂教学的理论与实践[J].北京师范大学学报(社会科学版),2010(01):29~36
- 2 高荣顺.高中物理教学使用思维导图的几个误区[J].课程教学研究,2018(05):51~53
- 3 刘树勇,刘恒亮.法拉第场思想的再认识[J].首都师范大学学报(自然科学版),1995(03):47~53
- 4 阎康年.法拉第原子论观点的转变与场概念的起源[J].物理,1991(12):750~755,736
- 5 宋德生.试论法拉第场论——纪念法拉第诞辰200周年[J].物理,1992(10):629~633
- 6 宋牧襄.法拉第场的概念和场论的起源及其历史地位——纪念法拉第诞生200周年[J].自然杂志,1991(09):701~708,720,封二