

基于学习进阶理论指向物理概念建模教学的研究与实践^{*}

——以“向心力”为例

张 鹭 赵振宇

(哈尔滨师范大学教师教育学院 黑龙江 哈尔滨 150025)

冯立峰

(哈尔滨师范大学物理与工程学院 黑龙江 哈尔滨 150025)

(收稿日期:2022-01-04)

摘 要:为了贯彻“立德树人”的教育目标,《普通高中物理课程标准(2017 年版)》明确提出物理学科核心素养.在“科学思维”这一素养中,首次将模型建构作为物理学习的关键能力.将学习进阶理论与建模教学整合规划,以人教版高中物理必修二第六章第 2 节“向心力”为例,构建物理概念的建模教学,旨在为一线教师提供教学参考.

关键词:学习进阶;建模教学;教学设计;向心力

1 学习进阶理论

所谓“学习进阶”,就是将教师在进行教学设计时生成的每一个问题比喻成一个“台阶”,使每一个“阶”都成为学生前一步学习的生长点和后一步学习的落脚点,学生拾级而上,以学生思维发展规律和认知发展水平为基础,使物理课堂教学达到循序渐进的教学效果.

2 物理建模教学

建模教学理论的创立者 David Hestenes 指出“物理学习的过程即是对自然世界建模的过程.”物理建模是对一类生活现象的总结归纳,并可以在类似情境中迁移归纳.模型是真实情境的替代物,需要依据生活情境的共同要素进行建构^[1].这种表征方

式是物理与生活相衔接的重要一环,由此成为物理学科核心素养中科学思维的重要组成部分.

3 学习进阶与建模教学的关系

学习进阶与建模教学在物理课堂教学的过程中可以巧妙融合,相辅相成.由于模型建构的过程具有明显的层级性,学生建构模型的思维过程离不开学习进阶.二者是“形式与内容”的关系,学习进阶理论是基础、是形式,建模教学是核心、是内容,通过学习进阶理论达到发展学生模型建构能力的目的.基于学习进阶理论,使建模教学的关键流程落在每一个“阶”上,与课堂教学流程一一对应,如图 1 所示.教学流程、科学建模的过程、学习进阶关键节点三者的完美融合,有助于学生深刻理解物理概念、掌握物理规律、运用物理方法解决问题.

^{*} 哈尔滨师范大学研究生培养质量提升工程项目“学科教学(物理)专业硕士研究生教学能力提升模式研究”;2020 年哈尔滨师范大学高等教育教学改革项目“高校物理师范生线上教学技能课程的开发与实施”,项目编号:XJGY2020021.

作者简介:张鹭(1998-),女,在读硕士研究生,研究方向为物理课堂教学.
通讯作者:赵振宇(1968-),女,教授,研究方向为物理教材教法分析、学科物理教学论.

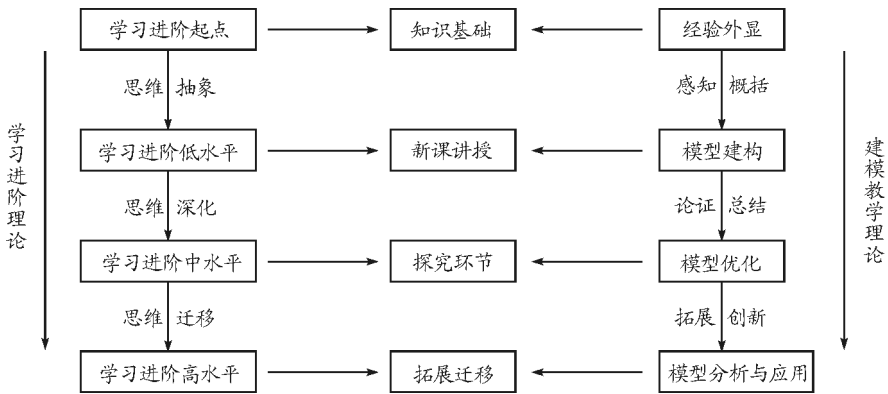


图1 教学流程、科学建模过程与学习进阶的对应关系

4 教学应用与实践

笔者以人教版高中物理必修二第六章第2节“向心力”为例,探索在学习进阶中搭建物理建模教学的桥梁,发展学生的科学思维.

4.1 学习进阶分析

4.1.1 基于“向心力”核心内容的学习进阶分析

笔者从进阶起点、进阶终点、进阶关键点设置和

进阶策略4个方面对“向心力”的核心内容进行进阶分析如表1所示.学习进阶的起点是学生的生活经验与外显的心智模型,经过物理建模的教学过程,最终将模型的迁移与应用看作是学习进阶的终点^[2].在确定进阶起点与进阶终点的基础上,找出本节课的进阶关键点,整合进阶策略,从而更好地指导本节课的课堂教学.

表1 基于“向心力”的核心内容的学习进阶分析

主题	进阶分析	分析内容
向心力	进阶起点分析	对生活现象中的圆周运动具有一定的感性认识;能用线速度、角速度等运动学物理量来描述圆周运动,并且掌握这些物理量之间的数学关系
	进阶终点分析	能判断较复杂圆周运动中向心力的来源;能熟练计算向心力的大小;能判断变力作用下圆周运动的趋势
	进阶关键点设置	向心力概念建立的过程和对向心力命名方式的理解;通过实验探究完善匀速圆周运动的物理模型;研究方法与科学思维由恒力作用下的圆周运动到变力作用下的圆周运动的转变
	进阶策略	(1) 向心力概念的教学要结合生活情境,教师利用多媒体视频和演示实验,突破学生原有的心智模型,使学生形成对向心力正确的认识. (2) 重视分析与探究的过程,不仅能够从逻辑上定性讨论,还能够设计科学的实验步骤,对实验过程进行评估和讨论,并且基于实验结论完善匀速圆周运动的模型. (3) 注重物理模型的拓展与迁移,发展学生的科学思维,掌握变速圆周运动的分析方法,整合知识体系

4.1.2 进阶层级设计

学生对于物理概念的掌握并非一蹴而就,而是以已有心智模型中的类似概念作为新概念的的生长点,再通过许多由过渡概念组成的“阶”逐级深入,最终达成对目标概念的深度理解^[3].以物理概念的进阶促进学生实现模型建构.所以在本节的教学过

程中,进阶变量不再是单一的“向心力”的概念进阶,而是双维度的“向心力”概念进阶与“匀速圆周运动”模型建构.其中,“向心力”概念进阶是课堂的明线,“匀速圆周运动”模型建构是课堂的暗线.根据物理概念的进阶层级与模型建构的教学步骤,笔者将二者的关键节点进行整合,从而确定整合之后

的进阶层级(表 2).

表 2 进阶层级设计

“向心力”概念进阶		“匀速圆周运动”模型建构	
进阶层级	授课环节	模型建构的步骤	模型的图示
经验	用线速度、角速度、周期描述圆周运动以及各个物理量之间的关系	感知情境,心智模型外显	
感知	对情境中的研究对象进行受力分析,再从力与运动关系的角度分析迫使物体做圆周运动的力的方向有何特点		
抽象	科学推理匀速圆周运动中物体所受向心力的方向,建立匀速圆周运动的物理模型	概括抽象,科学建模	
分析	通过实验感受向心力大小与相关物理量之间的定性关系	科学探究,优化模型	
	科学论证向心力与其他变量之间的定量关系		
整合	从特殊到一般,将匀速圆周运动的模型拓展到变速圆周运动和一般曲线运动,并将其应用于生活情境中	变式迁移,应用模型	

4.2 教学流程设计

笔者依据课程标准、教材分析和学情分析,从宏观角度对整节课进行流程设计,如图 2 所示,从生活情境和力与运动的关系入手,带领学生逐步深入本节的主题,以问题链为线索,串联各个教学模块,使学生经历“体验—论证—概括—建模—分析—探究—迁移”的教学流程,最终达到发展学生物理核心素养的目标,发展高阶思维.

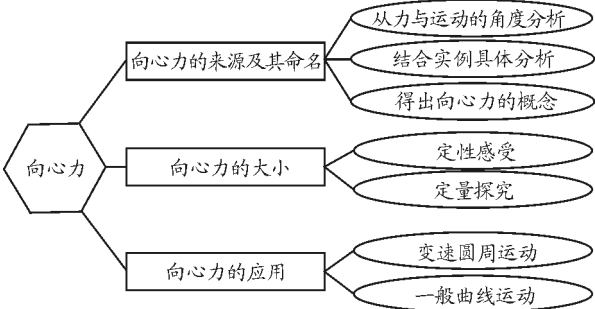


图 2 宏观角度下的教学流程图

4.3 教学环节设计

4.3.1 进阶起点:感知情境,心智模型外显

师:我们上节课已经学习圆周运动的相关知识,为了描述质点做圆周运动的快慢,我们引入线速度和角速度等物理量,它们之间满足怎样的数学关系?

生:
$$v = \omega r = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi f r.$$

师:请同学们观看老师演示,如图3所示,钢球在细线的牵引下绕图钉做圆周运动,如果忽略摩擦力,钢球都受到哪些力?它们的合力是哪个?

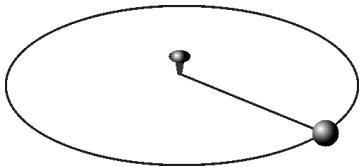


图3 教师做的实验演示

生:重力、桌面的支持力,还有细线的拉力.在竖直方向上,重力与支持力相等,拉力就是合力.

师:这个合力产生了怎样的作用效果呢?方向如何?

生:拉力指向轨迹的圆心,根据牛顿第一定律,力改变了物体的运动状态,合力使线速度改变了.

师:如果老师剪断细线,会有什么现象呢?钢球还能做圆周运动吗?我们带着这个问题再看一个视频.

原型展现:多媒体播放空中飞椅的视频,如图4所示.



图4 空中飞椅的视频截图

师:请同学们对飞椅进行受力分析,它们受到哪些力?它们合力的方向又如何?

生:受到绳索的拉力和重力,合力还是指向轨迹的圆心.

师:通过这两个例子,我们是否可以得出这样一个结论——做圆周运动的物体都会受到的合力都

是指向圆心的?请同学们跟随老师的脚步,从极限的角度出发,以线速度不变的圆周运动为例来证明合力的方向.

设计意图:教师带领学生一起回顾描述圆周运动快慢的物理量,此时学生正处于进阶起点,通过复习“旧知识”,唤醒学生已有的心智模型.学生在之前的学习中并没有接触过向心力的概念,对于圆周运动的动力学分析也只存在一些直观的生活经验或零碎的概念,此时教师结合学生生活经验、利用演示实验,并通过一连串的提问,激发学生选择和构建新物理模型的需要与兴趣.在此过程中,每个问题环环相扣,为学生搭建思维的台阶,引导学生思考.

4.3.2 进阶低水平:概括抽象,科学建模

师:如图5所示,若质点经过一段极短的时间 Δt 从A点做匀速圆周运动到B点,依次作出 v_A 和 v_B ,并将 v_A 的首端平移到 v_B 的首端,连接 v_A 和 v_B 的末端得到 Δv ,这三者正好构成一个等腰三角形,其顶角与质点转动过的角度相等,所以 $\triangle ABO \cong \triangle CDB$,又由于 $\Delta t \rightarrow 0$,所以 $\alpha \rightarrow 0$,从而推导出 $\Delta v \perp v_A$,则 $\theta \rightarrow 90^\circ$,此时根据牛顿第二定律,我们不难发现, Δv 的方向即加速度的方向,也是合外力的方向.至此,从理论上推导出合外力的方向指向圆心,我们将这个指向圆心的力称为向心力.我们又把线速度大小不发生改变的运动称为匀速圆周运动.对于做匀速圆周运动的物体,速度的大小不发生改变,向心力只改变速度的方向.

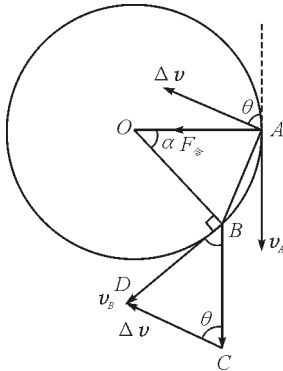


图5 圆周运动的速度、加速度和受力分析

师:空中飞椅所受的向心力是由重力和拉力的合力提供,很明显不同于我们以往所学的力.我们曾经学过的重力、弹力、摩擦力等都是按照力的性质命名的,而向心力的作用是通过改变速度的方向从而

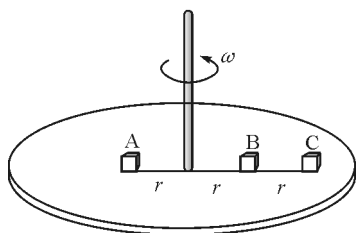
改变物体的运动状态,迫使物体完成圆周运动,所以它是按照力的作用效果命名的。

师:观看视频“神奇的转盘”,如图6(a)所示,请同学们分析,学生跟随转盘做圆周运动的向心力是由谁提供的呢?

生:将学生看成质点,如图6(b)所示,对学生进行受力分析,转盘对学生的摩擦力提供向心力。



(a) 神奇的圆盘视频截图



(b) 将学生看作质点

图6 神奇的转盘

师:回顾本节课,总结老师展示的3个生活实例,能够发现3个研究对象都在做匀速圆周运动,都受到指向圆心的向心力,如果同学们再遇到这种情境就可以学以致用。

设计意图:通过严密的理论推导,证明向心力的方向,进而抽象概括出向心力的概念与特点,避免教材中“大量实例表明”的说法带给学生疑惑,带领学生体验物理的逻辑魅力^[4]。此时,学生正处于进阶的低水平,头脑中刚刚初步构建出向心力的概念模型和匀速圆周运动的物理过程模型。

4.3.3 进阶中水平:科学探究,优化模型

师:同学们请看,我在绳子的一端栓一个小沙袋,手握住另一端使沙袋在水平面内做圆周运动。请同学们说说谁来充当向心力?

生:手对绳的拉力近似等于沙袋做圆周运动的向心力。

师:现在老师与同学们一起做一个游戏。老师请3组同学来按要求摇沙袋,分别说说手对绳的拉力有什么变化。

第一组:用相同的速度和绳子摇两只不同质量的沙袋。

第二组:两只质量相同的沙袋和长度相同的绳子,但要改变沙袋的转动速度。

第三组:用相同速度、不同长度的绳子摇质量相同的沙袋。

第一组学生:质量大的沙袋需要用更大的力。

第二组学生:速度大的沙袋需要用更大的力。

第三组学生:绳子长的沙袋需要用更大的力。

设计意图:学生可以通过细线上的拉力感知向心力的大小,获得直接的感性认识,可以初步感受向心力与一些运动学物理量之间的定性关系,为后面的定量研究搭建台阶,促进学生的思维进阶。

师:在我们刚才的游戏中发现物体质量、速度和轨道半径影响向心力的大小。接下来,我们以小组为单位,利用向心力演示器,一起设计实验步骤,来定量探究向心力的大小。

师:我们来观察这个仪器,小球做圆周运动的向心力由谁来提供?

生:由横臂挡板对小球的压力提供。

师:小球对挡板的反作用力,通过横臂的杠杆作用使弹簧测力计的套筒下降,从而露出标尺,标尺上红白相间的等分格子就可以显示出两个小球所受向心力的比值。我们仍然用刚才游戏中的思路来探究,请同学们设计实验步骤。

生:还是分3组,用控制一个物理量不变,研究剩余两个物理量的关系。

师:非常棒,请同学们沿着这个思路进行实验,有问题及时与老师沟通。

(1) 使 $r_1 = r_2, \omega_1 = \omega_2, 2m_1 = m_2$, 学生读数,发现 $2F_1 = F_2$, 最后得出 $F \propto m$ 的结论。

(2) 使 $r_1 = r_2, 2\omega_1 = \omega_2, m_1 = m_2$, 学生读数,发现 $4F_1 = F_2$, 最后得出 $F \propto \omega^2$ 的结论。

(3) 使 $2r_1 = r_2, \omega_1 = \omega_2, m_1 = m_2$, 学生读数,发现 $F_1 = 2F_2$, 最后得出 $F \propto r$ 的结论。

由此得出 $F = k m r \omega^2$, 再由量纲推导出 $k=1$, 所以 $F = m r \omega^2$ 或 $F = m \frac{v^2}{r}$ 。

设计意图:模型的建构和物理概念的进阶都并非一蹴而就,都需要不断的完善和优化。在此过程

中,学生先经历定性实验,对实验结论形成初步的感知,再定量探究,将科学思维由低阶发展到高阶,最终得出向心力大小的定量公式,证明自己的猜想,促进学生对物理规律的深度学习.此时,学生能够达到进阶中水平,可以在此基础上对模型迁移应用,促使学生对本节知识抽丝剥茧、能力逐级提升.

4.3.4 进阶高水平:变式迁移,应用模型

创设情境:多媒体播放中国运动员张文秀掷链球的视频.

师:在链球加速的过程中,它所受合力的方向与速度方向的夹角是不是 90° ? 还是大于 90° 或者小于 90° ?

师:在链球加速的过程中,将链球绕脚跟做的曲线运动近似看成圆周运动,对链球进行受力分析发现链球绳索的拉力与链球的速度并不垂直,而是小于 90° ,如图7所示.那我们该如何分析这种变速圆周运动?

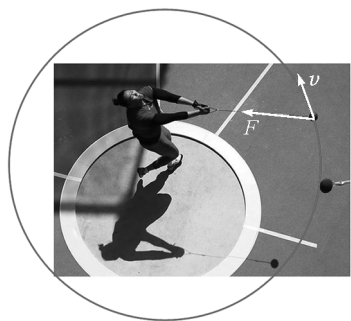


图7 链球绕脚跟做圆周运动受力分析

生:先受力分析,再将合力分解.

师:如何分解合力? 分力又是什么方向呢?

生:应该按照力的作用效果分解力.

师:我们刚才学了与速度垂直的向心力只改变速度的方向,可以把与速度垂直的力当成一个分力,根据平行四边形定则,另一个分力就与速度同向,又根据牛顿第二定律,这个力改变速度的大小,所以分力是沿着速度方向和垂直速度方向.

设计意图:教师引导学生抓住现象的共同特征,突出主要矛盾,忽略次要矛盾,串联旧知,应用新知,培养学生的思维能力,使学生对本节知识的认识更上一层楼^[5].建模教学的关键不是教给学生一个又一个的物理模型,而是教给学生科学建模的方法、教给学生物理思维.

师:多媒体播放过山车的视频,请同学分析讨论在弯曲的轨道上如何分析过山车的运动.

生:是不是可以把每段的弯曲都看成一个半径不同的圆周运动呢?

师:同学们的思维非常开阔,正是这样,我们化整为零,将曲线分割为很多小段,每小段都是圆周上的一部分,这样就可以应用我们今天所学的模型来解决.

设计意图:通过变式练习、应用模型,不断丰富学生的知识结构,拓展学生的视野,开阔学生的思维,并鼓励学生以物理学视角看待生活中的各种现象.至此,学生已经达到进阶高水平,真正意义上实现了进阶式学习.

5 总结与展望

本节课的教学过程层层递进、逻辑关系清晰,每一“阶”就加深一层对概念的理解,不仅教给学生物理模型,还教给学生科学建模的方法.在当前发展物理学科核心素养目标的大背景下,科学建模作为发展科学思维的首要手段,未来发展前景广阔.那么如何将建模教学融入物理概念教学、物理规律教学和物理实验教学等各种课型是一线教师亟待解决的问题.

本文针对这一问题,以物理概念教学为载体,以科学建模为课堂主要任务,将学习进阶理论与建模教学整合规划,探索这一问题的解决路径,旨在为一线教师提供教学参考.

参考文献

- [1] 张静,郭玉英.物理建模教学的理论与实践简介[J].大学物理,2013,32(2):25-30.
- [2] 顾红霞,蒋文远.以模型建构促进物理概念进阶的实践与思考[J].中学物理,2021,39(6):2-5.
- [3] 柯晓露,宋静.学习进阶与科学论证整合的物理概念教学——以“库仑定律”为例[J].物理教学探讨,2020,38(2):6-9.
- [4] 吴梦雷.基于培养学生科学思维能力的高中物理教学设计——以“向心力”为例[J].物理教师,2021,42(10):8-12.
- [5] 曹宝龙.物理模型的建构与教学建议[J].物理教学探讨,2016,34(5):1-5.