

# 以“宏观与微观”为例 谈科学思维的学习进阶

刘文慧 (北京市西城区教育研修学院 北京 100035)

**摘要** 科学思维是物理学科核心素养的重要方面,其教育元素散落于物理教学内容当中。如何能够提高科学思维教育的系统性?本文借鉴学习进阶理论,以高中学段“宏观与微观”思想方法为例,梳理进阶路径,分析进阶关键点,提出教学建议。

**关键词** 科学思维 学习进阶 宏观与微观

文章编号 1002-0748(2020)8-0005

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

## 1 引言

科学思维是物理学科核心素养的重要方面,不仅仅在过往的多版课程标准中都有明确要求,而且在历年的北京高考试题中也都有体现。

虽然物理课程在长期实践中逐步形成了重视科学思维教育的传统,但针对物理科学思维教育实践,专家指出存在三个方面的问题:一是教育内容不明确,众多科学思维元素散落于物理教学内容当中,在实际教学时不易准确把握;二是教育内容缺乏系统性,什么时间教,教到何种程度,缺少明确的要求和规定;三是科学思维教育混同于一般思维方法训练,注重具体思维方法,科学思维独特的内容没有得到充分体现<sup>[1]</sup>。

据《2017年北京高考理科综合能力测试物理学科考生水平评价及教学建议》中针对科学思维进行考查的主观题组块的统计数据来看,考生的分析论证素养得到较好的培养,解释和预测的素养略显不足,最需要进一步培养的素养是模型建构和科学论证<sup>[2]</sup>。

物理学科的知识体系是科学思维教育内容的基础,如何在知识教学的过程中让学生接受顺应心理顺序、认知顺序和逻辑顺序的科学思维教育,以解决以上专家和测评显示的部分问题?

## 2 以“宏观与微观”为例谈科学思维的学习进阶

### 2.1 学习进阶理论

学习进阶是“对学生在一个时间跨度内学习和探究某一主题时,依次进阶、逐级深化的思维方式的描述”。国内学者通过系统研究,构建了科学概念理解的发展层级模型(见表1)<sup>[3]</sup>。

表1 科学概念理解的发展层级

发展层级	层级描述
经验(Experience)	学生具有尚未相互关联的日常经验和零散事实
映射(Mapping)	学生能建构事物的具体特征与抽象术语之间的映射关系
关联(Relation)	学生能建构抽象术语和事物数个可观测的具体特征间的关系
系统(System)	学生能从系统层面上协调多要素结构中各变量的自变与共变关系
整合(Integration)	学生能由核心概念统整对某一科学观念(例如物质观念、能量观念等)的理解,并建构科学观念间和跨学科概念(例如系统、尺度等)之间的联系

与科学概念的学习要经历一定的进阶过程一样,关键科学能力的发展也应该遵循一定的历程,循序渐进,逐步完善。本文中,笔者尝试以高中学段“宏观与微观”为例,梳理科学思维学习进阶路径,分析学习进阶的关键点,以期作为教学设计的依据。

### 2.2 构建高中学段“宏观与微观”的学习进阶路径

由微观视角分析宏观现象产生的本质原因,是高中阶段学生应该掌握的重要思想方法之一。这一思想方法几乎贯穿于高中物理的整个学习过程,在物理学的各个分支中都有所体现,笔者按学生的学习历程,对“宏观与微观”这一思想方法的学习路径进行梳理,划分为四个层级。

此处借鉴概念进阶的全景图法,将学生在高中学段“宏观与微观”的学习路径用“全景图”进行呈现(见图1)。示意图中,方框内的研究内容为进阶节点,包括高中学段需要使用“宏观与微观”的思想方法分析

的重要问题。用“→”表示节点之间的关系，其中，箭尾处的问题是研究箭头处问题的基础。例如，恒定电流的微观模型的构建是研究安培力与洛伦兹力关系的基础。用“—”表示学习进阶中阶的划分，用虚线“→”表示阶划分的依据——微观建模理论的进阶。

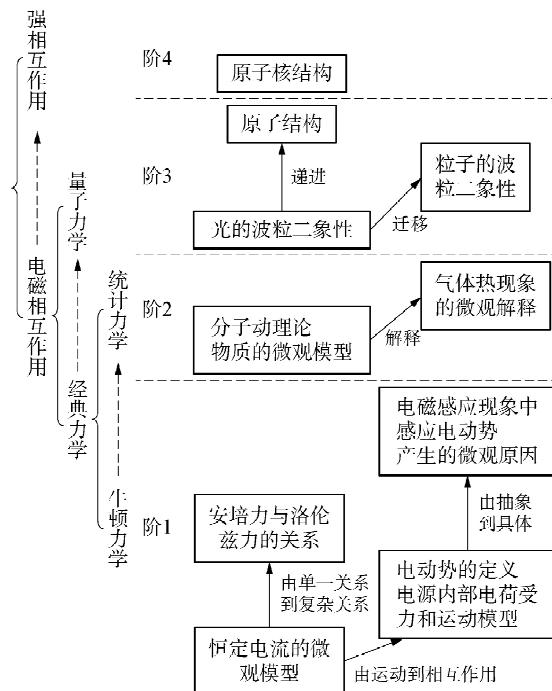


图1 高中学段“宏观与微观”学习进阶路径示意图

表2 阶1的微观模型

层级	研究内容	宏观现象	微观模型
阶1.1	恒定电流的微观模型	电流恒定不变	自由电荷匀速定向运动
阶1.2	电动势的定义	电源可以提供电能	电源内部的自由电荷所受静电力阻碍电荷的运动，非静电力搬运电荷，对电荷做正功
阶1.3	安培力与洛伦兹力的关系	通电导线在磁场中受安培力的作用	导线中定向移动的自由电荷在磁场中受洛伦兹力作用
阶1.4	电磁感应现象中电动势产生的微观原因	置于变化磁场中的线圈内会产生感应电动势	感生电场力作为非静电力搬运电荷产生电动势
		做切割磁感线运动的导体会产生感应电动势	洛伦兹力提供非静电力搬运电荷产生电动势

表3 阶1内的进阶关键点说明

层级	研究内容	进阶关键点
阶1.1	恒定电流的微观模型	根据电流的定义，由宏观电流的不变，推测自由电荷匀速定向运动
阶1.2	电动势的定义	在原有恒定电流微观模型（电荷匀速运动）的基础上，添加运动与相互作用的关系，根据运动情况分析电源内部的自由电荷受力，得到所受静电力阻碍电荷的运动，非静电力搬运电荷，对电荷做正功的结论

### 2.3 进阶关键点说明

“宏观与微观”是学生在高中学段需要重点掌握的思想方法中难度较大的一个，其难点在于微观模型的构建。微观模型构建的基本思路是根据宏观现象推测微观图景，随着研究内容难度的增加，其学习进阶过程表现为所构建的微观模型复杂程度的增加。

#### 2.3.1 层级间的进阶

阶1以电磁学问题为主，以牛顿力学为理论依据建立微观粒子运动模型；阶2以热力学问题为主，研究对象为大量运动的分子，需要以统计力学作为理论基础；阶3以光学和原子物理学问题为主，需要以量子力学为理论依据对微观粒子建立模型；阶4以核物理问题为主，与前面学习最大的区别是核子之间的作用力不再是电磁相互作用，而是强相互作用。

随着学习的进阶，建构微观模型所需的物理规律越来越抽象，这是学生学习困难产生的主要原因。教学过程中引导学生关注理论的进阶，关注微观模型的变化，可以有效降低学习难度，提高教学效果。

#### 2.3.2 阶1内的进阶

阶1构建模型（见表2）的理论依据为牛顿力学，这是学生高中阶段需要掌握的重要内容，因此对这一层级中微观问题的研究要求也较其他层级更高，下面重点分析这一层级中的进阶关键点（见表3）。

(续 表)

层级	研究内容		进阶关键点
阶 1.3	安培力与洛伦兹力的关系		由通电导线受磁场力推测运动电荷受磁场力,由已知的安培力的表达式推导得到洛伦兹力的表达式,需要建立电流与电荷运动、安培力与洛伦兹力两组宏观量与微观量的关系
阶 1.4	电磁感应现象中电动势产生的微观原因	感生电动势	电动势定义中提出的非静电力是一个抽象的概念,在对电磁感应现象中电动势产生的微观原因进行解释时,将非静电力具体化,感生电动势的非静电力来源是感生电场力,动生电动势的非静电力来源是洛伦兹力
		动生电动势	

阶 1 内的进阶大致路径为运动→相互作用→能量转化,这一进阶过程不仅仅是微观模型不断升级的过程,也是学生物理观念不断发展的过程。

由阶 1.1→阶 1.2 的进阶,关键点在于在电荷匀速运动的模型基础上添加运动与相互作用的关系,即由匀速运动推测到电荷受力平衡,进而进一步研究电荷的受力情况和做功与能量转化的情况。这一问题的研究是学生应用初步建立起的物理观念进行实践的契机。将在宏观问题中建立起来的物理观念迁移应用于微观问题,应用情境的改变能够促进学生对物理观念内涵的深入理解,从而促进物理观念的有效发展。

由阶 1.2→阶 1.4 的进阶,关键点在于电动势概念中非静电力的具体化。在电动势学习的过程中对学生来说最熟悉的电源是干电池,然而,在当前学段无论从物理学的角度还是化学的角度,都无法将非静电力的具体来源解释得很清楚,只能用“化学力”来抽象表示。因此对学生来说,电源是一个抽象的模型,非静电力是一个抽象的作用力。在电磁感应现象学习的过程中,对感应电动势产生原因从微观视角进行剖析,将非静电力具体化为感生电场力和洛伦兹力。非静电力具体化的过程一方面促进学生对电动势概念理解更加深刻,另一方面从微观本质上将电磁感应现象的两种情况进行区分,让学生对电源从结构和功能的角度建立更加清晰的认识。

由阶 1.1→阶 1.3 的进阶,关键点在于在原有宏观电流与微观电荷运动联系的基础上添加宏观安培力和微观洛伦兹力的关系。在恒定电流的学习中已经建立起宏观电流与微观电荷运动之间的联系,即电荷的定向移动形成电流,电流的本质为电荷的微观运动。磁场学习中通过实验观察到电流在磁场中受到作用力,由此推测运动电荷在磁场中

也受作用力,即电流受力的微观本质为运动电荷受力。经过科学推理,建立安培力与洛伦兹力的关系,不仅仅补充了一种磁场的作用力,而且建立了作用力之间更加丰富的联系,提升了学生的相互作用观念。

厘清学习进阶的路径和进阶的关键点,在教学过程中注意引导学生,在关键点处给予启发和帮助,促使学生顺利实现进阶。

#### 2.4 教学建议

厘清学习进阶的路径和进阶的关键点,可以以此为依据进行教学设计。教学设计的要点是精心设计驱动问题,通过驱动问题促进学生完成进阶。好的驱动问题要能够联系学生的原有知识,顺应各阶段的学习轨迹,处于学生的最近发展区,对后续学习有启发性。驱动问题中应该包含:(1)引起学生对进阶起点关注的问题,引导学生在原有相关知识的基础上开始新的问题的研究,确保学生能够顺利到达最近发展区;(2)拆解进阶任务的问题,为学生的学习进阶搭建“脚手架”,将进阶分为几个“更小的台阶”,让学生能够顺利跨越;(3)与后续进阶衔接的问题,从研究的思路和知识的关联整合的角度对学生进行启发,为后续学习进阶做铺垫。

下面以阶 1.1→阶 1.2→阶 1.4 的进阶路径为例,讨论设计驱动问题的方法(如表 4 所示)。

在以上进阶路径中,我们不难发现,问题 1.1、问题 2.1 和问题 3.1 的功能是相同的,目的都是引起学生对进阶起点的关注,帮助学生明确新的问题的研究基础是什么。其他问题在此基础上进一步为学生的学习进阶搭建“脚手架”,将进阶分为几个“更小的台阶”,进阶过程到底需要几个“更小的台阶”,往往要由学生的学习能力以及他们是否乐意接受挑战来决定。此外,问题 1.3、问题 2.3 还承载着为后续学习进阶做铺垫的作用,从研究的思路和知识的

表4 进阶驱动问题设计

层级	研究内容	驱动问题	设问目的
阶1.1	恒定电流的微观模型	问题1.1电荷定向移动形成电流。描述电流的强弱程度的物理量——电流——是如何定义的？	引导学生回顾已有知识，为新的研究做好准备
		问题1.2当我们用电流表观察到导线中的电流恒定不变时，你是否可以由此推测电荷在做什么运动？你推测的依据是什么？	引导学生从已有知识出发，由宏观现象推测微观图景，建立宏观与微观之间的联系，培养学生科学论证的证据意识
		问题1.3你认为自由电荷做匀速直线运动，在这个结论的基础上你还能得到哪些推论？	引导学生在掌握物体运动情况的基础上根据运动与相互作用的关系进行更深入的分析，为后续电动势定义的微观建模奠定基础
阶1.2	电动势的定义	问题2.1恒定电流的电路中，我们将电荷沿着导线的运动看作匀速运动，那电源内部的电荷做什么运动？判断的依据是什么？	引导学生从已有知识出发研究新的问题，起到承上启下的作用
		问题2.2若把电源内部的电荷的运动也看作是匀速运动，那如何能实现在电源内部使正电荷由负极运动到正极？	引导学生从运动与相互作用的角度分析电荷的运动过程，引出非静电力
		问题2.3从运动与相互作用的角度我们分析得到要使正电荷在电源内部由负极运动到正极，需要对正电荷施加一个与静电力方向相反的力，我们称之为非静电力。从能量转化的角度看，非静电力存在的意义是什么？	引导学生从能量转化的角度分析电荷的运动过程，明确非静电力做功的物理意义，为电动势的定义奠定基础
阶1.4	电磁感应现象中电动势产生的微观原因（动生电动势）	问题3.1电动势是如何定义的？电源为什么能够将其他形式能转化为电能？	引导学生回顾已有知识，为新的研究做好准备
		问题3.2当闭合回路中的部分导体做切割磁感线运动时，是什么力提供非静电力将自由电荷沿着导体由导体的一端移动到另一端的？	引导学生在具体问题情境中将电动势与非静电力建立联系，寻找非静电力的具体来源
		问题3.3若是由洛伦兹力提供非静电力，则洛伦兹力做正功，将其他形式能转化为电能。这一结论与之前学习的洛伦兹力不做功的情况是否矛盾？	通过引发认知冲突，引导学生更加深入的研究问题，明确洛伦兹力在动生电动势产生中的作用

关联整合的角度对学生进行启发。

科学思维的形成与发展要在具体的学习活动中实现。教师通过问题引导，帮助学生拆解任务，鼓励学生主动构建知识，引领学生归纳并形成一定的程序与模式。一旦学生形成了解决问题的程序与模式，那么在后续相关的实践活动中可以尝试简化“脚手架”，适当增加问题的难度和跨度，促进科学思维的进一步发展。

### 3 结束语

关注科学思维的学习进阶，梳理学习进阶的路径，可以帮助教师在宏观层面把握学生思维发展的进程，以及这一进程中所伴随的物理观念和科学概念的发展，从而做好整体的教学规划，让科学思维的

培养形成系统。在整体规划之下，进行微观的教学单元的设计，可以使微观的教学更好地服务于宏观的素养发展。应用学习进阶理论，使教师明确科学思维教学的整体规划，提高科学思维教育的系统性，实现培养学科核心素养的教育目标。

### 参考文献

- [1] 李正福,谷雅慧.论物理核心素养视野下的科学思维教育内容[J].课程.教材.教法,2018(2): 97—102.
- [2] 北京市教育考试院.2017年北京高考理科综合能力测试物理学科考生水平评价及教学建议[R].北京市高考考生水平年度评价报告,2017: 169.
- [3] 郭玉英,姚建欣.基于核心素养学习进阶的科学教学设计[J].课程.教材.教法,2016(11): 64—70.