

科学学习心理学研究丛书

◎ 毕华林 主编

解释驱动探究的 科学概念学习研究

JIESHI QUDONG TANJIU DE
KEXUE GAINIAN XUEXI YANJIU

卢珊珊 著



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

科学学习心理学研究丛书

◎ 毕华林 主编

解释驱动探究的 科学概念学习研究

JIESHI QUDONG TANJIU DE
KEXUE GAINIAN XUEXI YANJIU

卢姗姗 著

图书在版编目 (CIP) 数据

解释驱动探究的科学概念学习研究 / 卢珊珊著.
—济南: 山东科学技术出版社, 2019.2

(科学学习心理学研究丛书 / 毕华林主编)

ISBN 978-7-5331-9594-6

I. ①解… II. ①卢… III. ①科学知识—学习心理学—研究 IV. ①G302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 122273 号

责任编辑: 孙 婷

装帧设计: 孙 佳

主管单位: 山东出版传媒股份有限公司

出 版 者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市英雄山路 189 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdpress.com.cn

发 行 者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市英雄山路 189 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098071

印 刷 者: 山东新华印务有限责任公司

地址: 济南市世纪大道 2366 号

邮编: 250104 电话: (0531) 82079112

规格: 16 开 (184mm × 260mm)

印张: 8

版次: 2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷

定价: 38.00 元



毕华林

教育学博士，山东师范大学教授，博士生导师，山东省有突出贡献的中青年专家。主要从事理科课程与教学论研究和教学工作，在SCI、SSCI、CSSCI、中文核心等期刊上发表学术论文140余篇，出版专著、教材10余部，承担国家和省部级科研课题10余项。获第五届中国高校人文社科优秀成果三等奖，山东省社会科学优秀成果二等奖。



卢珊珊

2009年7月毕业于山东师范大学化学化工与材料科学学院，获理学学士学位；2009年9月起在山东师范大学化学课程与教学论专业攻读研究生，研究方向为科学学习心理学、科学测评研究，2015年7月获教育学博士学位，毕业后留校任教。目前主持一项山东省社会科学规划项目，在SSCI、CSSCI等专业期刊上发表学术论文多篇。

内 容 简 介

科学概念学习一直是科学教育研究的基本问题。在当前国际科学教育背景下，增进学生对科学概念的理解成为研究的热点问题。解释驱动探究是在科学探究的基础上提出的，目的是通过“解释”这一核心活动驱动学生积极地参与科学探究，从而促进学生的概念理解。在分析科学概念学习的理论、本质及策略的基础上，阐述了解释驱动探究的含义、特征及要素，提出了解释驱动探究教学的框架和策略，并开展了教学实验。实验结果表明，解释驱动探究作为一种教学策略，对学生科学概念学习产生了积极的影响，不仅促进了学生概念理解水平的提升，同时消除了学生的某些相异构想。进一步通过现象图析学的研究方法构建了基于解释驱动探究的学生概念理解进程，为教师开展科学概念教学和探究教学提供了具体建议。

CONTENTS 目 录

第一章 概念学习：国际科学教育的基本问题

第一节 当前国际科学教育的背景	2
一、倡导科学概念的理解	2
二、重视学生的科学实践	3
第二节 科学和科学概念	5
一、科学哲学视角下的科学概念	5
二、科学教育中的“科学概念”	13

第二章 科学概念学习的理论、本质及策略

第一节 科学概念学习的理论	16
一、一般学习理论	16
二、科学学习理论	20
第二节 科学概念学习的本质	25
一、建立知识联系	25
二、获得概念意义	28
三、建构模型	31
第三节 科学概念学习的策略	33
一、记忆定义	34

二、科学探究	37
--------------	----

第三章 解释驱动探究：科学概念的教学策略

第一节 科学探究及解释	41
一、科学探究	41
二、科学探究中的“解释”	42
第二节 解释驱动探究	48
一、解释驱动探究的含义及特征	48
二、解释驱动探究的基本要素	49

第四章 解释驱动探究的教学实践

第一节 研究设计	54
一、准实验设计	54
二、现象图析学	56
第二节 概念量表的开发	60
一、电解质概念量表的开发	61
二、氧化还原概念量表的介绍	71
第三节 解释驱动探究的教学过程	74
一、解释驱动探究的教学框架	74
二、解释驱动探究的教学活动	76

第五章 解释驱动探究的教学效果

第一节 对概念理解水平的影响	81
一、概念理解的整体情况	81

二、概念理解水平的对比	83
三、学生相异构想的对比	84
第二节 学生概念理解的几种方式	88
一、形成词语联想	88
二、建立知识联系	90
三、获得概念意义	91
四、实现概念迁移	93
第三节 概念理解的进程	95
一、电解质概念理解的进程	95
二、氧化还原反应概念理解的进程	97
 第六章 科学概念教学的建议 	
第一节 概念教学的建议	101
一、重视学生概念理解的进程	101
二、创设引发学生思维的活动	104
第二节 探究教学的建议	107
一、重视“解释”在探究中的作用	107
二、加强探究和概念的联系	110
第三节 研究展望	110
一、探索科学概念的学习策略	111
二、探索不同层次学生概念学习的机制	111
三、建构解释驱动探究的教学模式	112
参考文献	115
后记	120

第一章

概念学习：国际科学教育的基本问题

概念学习一直被认为是国际科学教育研究的基本问题。在过去的三十多年里，曾在科学教育领域盛行的概念转变理论认为科学教育的目的是概念转变；当前科学教育依然重视学生的概念学习，尤其是学科核心概念的理解。当前学生的科学概念学习是什么样子的呢？典型的教学是教师把科学概念当作是没有争议的事实讲授给学生，忽视了科学概念是如何产生的。这种教学方法导致了学生对科学产生错误的印象，认为科学是对世界的客观反映，学生往往倾向于采用记忆事实的策略学习科学概念。最终的学习结果导致了学生对概念的理解不深入，存在大量相异构想，这是科学概念学习的主要问题。本章介绍了当前国际科学教育背景，并且展示了科学哲学视角下对科学概念的认识，帮助学生形成对科学应有的认识。

第一节 当前国际科学教育的背景

进入 21 世纪后,科学教育发生了巨大的变化。作为全球科技创新核心的美国历来重视科学教育,一些组织如美国的国家科学基金会(National Science Foundation)和国家研究理事会(National Research Council)以及美国科学促进协会(American Association for the Advancement of Science)在过去的二三十年里投入了大量的资金和精力致力于促进学生科学素养的全面提高。2011 年,由美国国家研究理事会主持、美国国家科学教师协会(National Science Teachers Association)和美国科学促进协会共同研发并发布了《K-12 科学教育框架:实践、跨学科概念、核心概念》(本书中简称《框架》)。《框架》汲取了科学教育研究的丰富成果,构建起当前科学教育的全景以及发展方向,引起了全球科学教育研究者的广泛关注。以下通过介绍《框架》中的一些观点,呈现当前国际科学教育的背景。

一、倡导科学概念的理解

《框架》对“科学”进行了定义,指出“科学不仅仅包括能够对自然世界运行机制进行解释的知识体系,还包括形成、扩展和完善这些知识所进行的实践活动”。科学教育的目标就是让学生理解科学领域的核心概念,即学生经过多年学习之后,能够积极参与科学实践,应用交叉概念拓展他们对学科核心概念的理解。为了达成科学教育的目标,《框架》提出需要将三个维度融合起来,分别是学科核心概念、交叉概念和科学与工程实践。

科学概念的理解不是机械记忆概念的名称和定义就可以实现的,应当是在学生已有知识经验基础上围绕学科核心概念进行深入且持续的理解。科学学习心理学的研究产生了大量的成果,在学生学习科学概念的能力、核心概念和实践活动、核心概念理解的发展、知识与实践的结合等问题上产生了许多新的观点。

第一，“儿童都是研究者”，他们学习科学的起点是对周围世界的好奇心和最初的概念，儿童在进入学校之前虽然缺乏大量的知识和丰富的经验，但是在与周围世界的接触中形成了复杂的推理方式。最初的概念和复杂的推理方式反映了学生已经知道了什么和会做什么，在任何年级都应当基于学生已有的知识（包括错误概念）和能力进行逐步深入的学习。

第二，围绕学科核心概念的学习有助于学生对科学形成连贯性的理解。确定及选择学科核心概念主要通过对比新手和专家的认知结构，这项研究历经了近二十年，目前已经在物质科学、生命科学、地球科学中形成了较为成熟的并且受到实践支撑的学科核心概念。核心概念的理解及掌握不是一两个月所能完成的，而是一个长时间持续的过程，这种对学科核心概念连贯性的理解被称为学习进程（learning progressions）。

第三，科学不仅仅包括能够对自然世界运行机制进行解释的知识体系，还包括形成、扩展和完善这些知识所进行的实践。儿童的科学学习与科学家的研究在本质上没有什么不同，只是对科学知识的理解水平和参与实践的熟练程度存在差异。这些研究成果使得研究者对科学教育的观念发生转变，他们一致认为科学教育必须建立在学生最初观念的基础上，围绕学科核心概念进行深入且连贯的理解，这个过程需要学生逐步参与实践活动并达到科学家的熟练水平。

二、重视学生的科学实践

如何促进学生在科学领域建构起对核心概念的理解？“科学探究”的理念显示了研究者将科学教育从记忆科学事实转向理解科学概念所作出的努力。在《框架》中一个明显的变化就是用“科学实践”替代了“科学探究”。

《框架》的制定者指出，科学实践并不否认科学是一个探究的过程，它更加关注的是探究过程中产生知识的具体活动。为了更加形象地描述科学探究中的活动类型，从科学探究的整个过程出发，将所需的活动划分在三个领域，具体如图1-1所示。

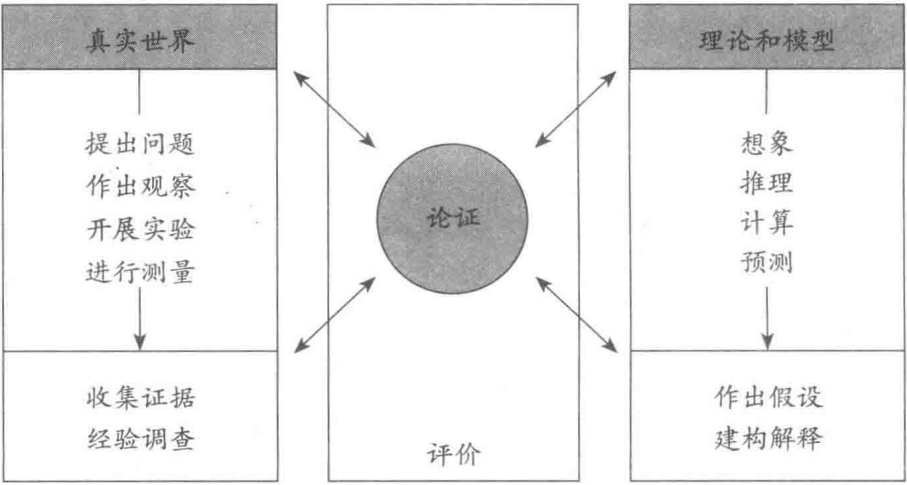


图 1-1 科学探究中的活动

第一个领域是学生在真实世界领域开展的活动，主要进行的是经验调查，包括“提出问题”“作出观察”“开展实验”“进行测量”等活动，偏向于学生的行为活动，主要目的是收集证据。第二个领域是学生应用科学理论和模型进行的认知活动，主要是对经验调查的结果建构解释或者使用模型作出假设，指导研究进一步开展，包括“想象”“推理”“计算”和“预测”等活动。第三个领域介于两者之间，是学生交流和论证的社会活动，主要是评价不同的解释以此获得结论。

虽然在科学探究过程中不同领域内包含多种活动，研究者选定了 8 项能够促进学生学科核心概念理解的核心活动，分别为：提出问题，建立和使用模型，设计和实施调查研究，分析和解释数据，利用数学和计算思维，建构解释，基于证据进行论证，获取、评估和交流信息。这些科学实践保证了不同年级的学生在相应的知识水平上都能够参与，并且不需要以固定的方式进行。

每一项科学实践都可以在不同的年级开展，随着学生科学知识的不断丰富以及对学科核心概念理解的不断深入，学生参与科学实践也将复杂化和精致化。

第二节 科学和科学概念

从科学哲学的视角呈现科学的面貌以及科学概念的本质，有一些观点与科学本质的研究类似。然而我们只是关注学生应该对科学有什么样的印象，并不把重点放在学生对科学本质的理解上。

从科学哲学的角度来看，20 世纪盛极一时的逻辑实证主义和当前的科学历史主义，虽然对科学的目的存在分歧，但是对科学概念在科学中的地位有着一致的看法。科学概念不是孤立的，而是在概念系统中有一个确定的位置，这个概念系统通常被认为是科学理论。

然而，不同的科学哲学家对科学概念的成分认识存在分歧。一种认为科学概念是科学家自由思维创造的产物，是构成科学理论的基石，这种自由思维主要是逻辑演绎推理，不能从经验中归纳得出，代表人物有亨普尔（Hempel）、爱因斯坦（Einstein）、库恩（Kuhn）。另一种认为科学概念是构成科学理论的组成部分，不仅包括构成理论且具有解释功能的科学概念，而且也包括描述科学事实的那些科学概念，两者属于不同的领域，主要代表人物有图尔敏（Toulmin）、拉卡托斯（Lakatos）。

一、科学哲学视角下的科学概念

（一）科学概念是构成科学理论的基石

逻辑实证主义认为科学的目的是发现自然现象背后潜在的基本规律。这里的基本规律是指科学定律，也被称为科学原理或科学定理。科学概念的作用是通过演绎提出科学假说或者建构科学理论体系，以此对科学定律作出解释。波普尔认为科学假说和科学理论没有本质的区别，都具有猜测性，只不过受到实际检验的程度不同。

亨普尔将科学概念在科学理论中的地位做了一个很好的比喻，他将科学理论比作一张错综复杂的空中之网，网结代表了科学概念的术语，如图 1-2 所示。

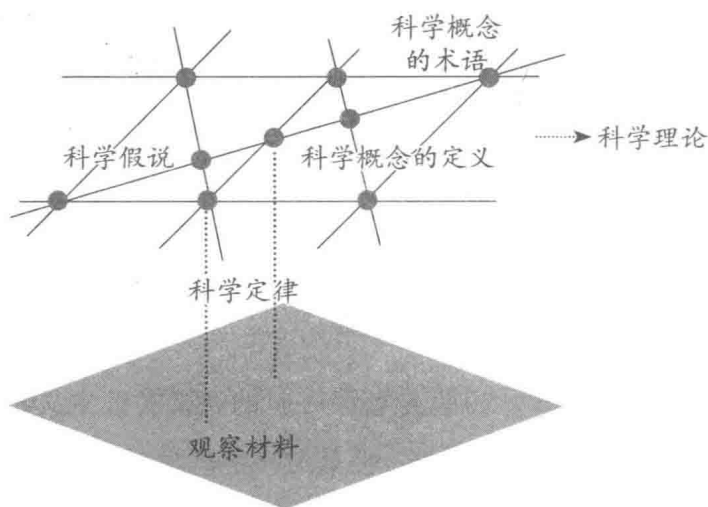


图 1-2 亨普尔对科学概念的描述示意图

在这个比喻中，还包含着以下信息：连接网结的网绳，一部分相当于科学概念的定义，一部分相当于科学假说。整张网（科学理论）漂浮在由“观察材料”构成的地面之上。在网和地面之间，是由一些点线（科学定律）连接的，它们不是网的一部分，但是能把网结和地面上特定位置的“观察材料”连接起来。根据观察（自然）的结果，通过点线（发现自然背后的规律）连接到网（科学理论）上的某个网结（科学概念的术语），通过网绳（科学概念的定义和科学假说），建立其他的点线，可以对观察到的现象进行解释。

亨普尔对科学概念在科学理论中地位的描述，类似于心理学上科学概念的图示理论。通过这一形象的描述，可以看出科学概念不是孤立的，是通过与其他概念之间的联系进行定义的，当认识一个概念时，其实是认识一个“概念群”。另外，这一描述揭示了科学概念的两个主要作用：一是通过科学概念的演绎形成理论或者提出假说，二是科学概念对观察材料具有解释作用，起到科学理论的作用。在科学教育中，克萊斯顿（Claxton）等人将学生的概念称为是“小理论（mini-theories）”，对特定的内容和情境是有效的，表明了研究者认为科学概念具有像科学理论一样的解释作用。

科学概念是构成科学理论的基石，不包括“观察材料”里描述和记录实验

事实的概念，研究者认为从这些感性材料中获得的具体概念并没有秩序或凝聚力。波普尔认为从观察材料中获得的经验证据只是用来检验理论的，而不能形成理论。科学概念可以作为演绎推理的前提，能够对已知的现象作出因果解释；演绎推理出的结论又可以作为未知现象的预言。由此可以看出科学概念在科学体系中的地位是与经验相分离的，这一观点得到了爱因斯坦的认同，他从科学创造的角度认为科学概念不是从经验事实中归纳出来的，而是在经验事实的引导下通过“思维的自由创造”或“理智的自由发明”得到的。

1952年5月，爱因斯坦给索洛文（Solovine）的信中阐述了科学概念这种思维产物与经验的联系问题，如图1-3所示。

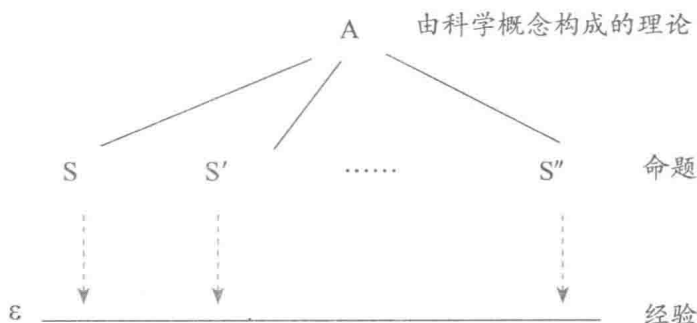


图 1-3 爱因斯坦对“思维与经验”关系的论述

爱因斯坦指出 ϵ 代表的经验（主要是指通过观察和体验获得的直接经验）是已知的，A 是由科学概念构成的科学理论。通过演绎推理能够导出不同的命题 S、S'、S'' 等，命题有多种表现形式，其中一种形式是通过科学概念的演绎推理对问题的答案作出的假设，反映了人们对一个事情所持有的基本观点，进而通过经验的证据能够推导出结论。结论和假设的区别就在于来自多少经验的检验。

通过这个图式可以显示科学概念的创造所需要的三种思维方式。从 ϵ 到 A：是指科学概念的建立是以经验为基础的，但是两者之间不存在逻辑关系，在科学概念创立之初往往依靠人们的直觉思维而进行；从 A 到 S：从科学概念可以推导出不同的命题，这个过程是通过逻辑演绎思维完成的；从 S 到 ϵ ：通过经验的归纳可以验证个别导出的命题是真是假，但是不能通过归纳的方式获得命题或者概念。科学概念的获得并不能直接从观察具体的事物或现象中抽象得来，爱因斯坦的这一图式，得到了后来许多科学家的赞同和验证。这一观点与教育学中的观点是一致的，著名教育学家杜威（Dewey）也赞同科学概念不是由抽象事物的共

同性质得来的，概念起于经验，在经验中使用使概念更加明确。

科学概念作为科学理论的基石，用著名的科学哲学家库恩的话说，科学概念应当被认为是一种范式，代表了科学共同体内开展研究以及进行交流的共同准则。例如，对于燃烧现象，17世纪末和18世纪的科学家创造了“燃素说”，“燃素”作为一个科学概念，代表了化学家对燃烧现象的一致看法。当前科学家是从“氧化学说”来解释燃烧现象的，如果再提到燃烧现象，化学家就会用“氧化反应”替代“燃素”来对这种现象作出解释。科学概念作为构成科学理论的框架，反应了对一类现象进行解释的基本模式。库恩认为科学概念改变了，实际上代表了科学理论的框架发生了彻底崩溃的过程，是一种理论取代另一种理论，也被称为“科学革命”。

1962年，库恩在《科学革命的结构》一书中从科学发展的历史出发，提出了一种科学发展模式：前科学时期→常规科学时期→科学危机时期→科学革命时期→新的常规科学时期……库恩的科学革命反映了科学理论的历史相对性，科学革命的发生是一种科学概念框架瞬间彻底崩裂的过程，是一种常规科学理论被新的常规科学理论所替代的过程，构成两种理论的科学概念之间没有直接的联系。正如“燃素”和“氧化反应”，在氧化理论中对燃烧现象解释时根本不包括“燃素”这一概念，因此两种理论下的科学概念被认作是没有通约性的。美国康奈尔大学波斯纳（Posner）等人类比了库恩对常规科学研究和科学革命的描述以及皮亚杰（piaget）的日常概念和科学概念，认为对于用相同的一个词表示的概念，学生在日常生活中形成的理解与科学家的理解是不同的。例如，对于“燃烧”，学生的日常概念认为是“化成灰烬”，而科学概念认为是“发生了反应”。所以，日常概念与科学概念属于不同的概念框架，之间是没有通约性的。他和同事用概念转变（conceptual change）表示科学概念替代日常概念的过程，认为概念是以概念框架（conceptual framework）的形式存在的，这种“概念框架”是从库恩描述科学研究的“范式”一词引申过来的。

科学概念作为构成科学理论的基石或者框架，体现了研究共同体开展研究的基本范式。从这一视角去分析中学化学课程中的科学概念时，那些构成理论的基本概念才可以算作是科学概念。在这些理论中也通常是以科学概念来命名的，如表1-1所示。