

科学探究中的“不科学”

苏咏梅^[1]、 锺媚^[2]

^[1] 香港教育学院
香港 新界 大埔 露坪路十号
电邮: wiso@ied.edu.hk

^[2] 佛山科学技术学院
佛山市禅城区江湾一路 18 号
电邮: mmzhong@126.com

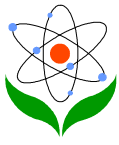
收稿日期：二零一零年四月廿三日 (于六月二日再修定)

内容

- [摘要](#)
 - [引言](#)
 - [科学本质与科学探究](#)
 - [研究背景](#)
 - [资料分析](#)
 - [研究结果](#)
 - [\(一\) 计划和设计阶段](#)
 - [\(二\) 开展探究过程阶段](#)
 - [\(三\) 解释探究结果阶段](#)
 - [研究启示与建议](#)
 - [参考文献](#)
-

摘要

通过科学探究促进学生对科学本质的理解，培养学生的科学思维能力，是当前科学课程改革的重要议题。本文以香港一项大型科学探究项目的小学生探究计划和报告作为基本材料，剖析学生在进行科学探究方面的认知困难。研究发现，虽然学生经历了完整的科学探究过程，却不一定能内化科学的思维方式，反之出现了情难自控、面面俱到、为做而做、依葫芦画瓢、随心所欲、牵强附会、移花接木等现象。因此，我们建议教师在以



下各方面帮助学生, 例如加强对探究类型的认识, 重视证据概念的理解, 鼓励辩护论证等方法来提升学生科学探究的能力。

关键词: 科学探究; 科学本质; 科学思维

引言

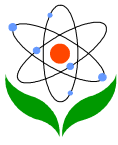
期望学生通过科学学习内化科学精神, 认识和理解科学的本质, 一向都是科学教育工作者们关心的问题。进入二十一世纪, 面对信息超载的挑战, 人们更需要科学的思维习惯。科学探究, 作为一种引领学生亲历自然及科学世界的活动方式, 受到了更多的关注。「我做了, 于是我理解了」成为人们期望通过科学探究增进学生对科学本质认识的愿景。然而, 很多情况是学生经历了探究过程, 却没有形成“科学”的想法。相反, 「不科学」想法频频出现。本文通过小学生参与科学探究活动所做的书面报告进行分析, 探讨小学生在科学探究过程中存在的认识偏差。

科学本质与科学探究

从二十世纪八十年代开始, 不少研究探讨了学生对自然世界持有的看法(*ideas about natural world*), 如物质、力、光合作用等等。与此同时, 我们也了解到关于什么是学生可以或不可以解释, 以及怎么样才算一种科学解释的想法。换句话说, 学生已经有一些发展着的关于科学本质的认识(*ideas about science*)。很多情况下, 学生对观察到的事实的反应以及产生的想法, 会受到他们对科学本质认识的限制。例如, 如果学生认为科学实验只要遵循的步骤就能获得正确的结果, 那么他们就会集中注意力于仔细收集资料的过程中, 而较少去思考数据本身的意义(Hodson, 1998)。又如, 如果学生假定科学知识可以直接从数据中「浮现」出来, 他们就会把科学解释等同于关于既定变量的结果描述, 而不是综合评价各种理论主张的结果(Leach, 1998)。由此看来, 如何增进学生对科学本质的认识, 是提高科学教学与学习的一个重要元素。

从二十世纪九十年代末开始, 为增进学生对科学本质的理解, 提高学生的探究技能, 世界各国纷纷把科学探究作为一种重要的教学策略纳入课程改革纲要。科学探究成为了人们期望通过做中学领悟科学本质的教学方式。在现今的课堂教学中, 活动和实验逐渐替代了原有的教师讲解, 学生有了更多的机会参与实践活动。然而, 是否经历了科学探究的过程, 学生就可以内化科学的思维方式? 近年来, 不少研究表明, 藉科学探究活动、科学过程技能、动手做等方式, 将科学本质的观念嵌入教学中, 透过活动以间接的

(*implicit*)方式让学生体验科学本质的教学模式, 并不能充分地让学生理解科学 (Duschl, 2000)。在开展探究之前, 学生往往忽略对问题的分析及探究设计的环节, 即便提出了假设或实验设计, 但并不理解假设或实验在科学探究中的作用 (Rop, 2002)。在探究过程中, 很少学生将重复观察或测量作为实验的必要工作, 也不会记录测量数据以外的现象 (Lubben & Millar, 1996)。在结果分析方面, 当对数据与现象之间的关系认识不清时, 学生一般会根据自己的已有经验强加判断, 套上规律或结论 (Kanari & Millar, 2004)。这



些研究显示，虽然学生做了实验，手动起来了，但对于科学结论是怎样产生的，科学探究是怎样的一个过程缺乏基本认识，由此也出现了各种似是而非的想法和做法。

以上的研究主要对象是西方国家的学生，缺乏对东方学生关于科学本质理解的本土性认识。本研究希望通过归纳真实情境下小学生在探究过程中的「不科学」思维，剖析小学生在进行科学探究的认知困难，为科学课程和探究教学设计提供建议与参考。

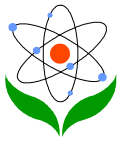
研究背景

在香港，有组织及系统化地推动小学科学探究始于 1998 年，由当年的香港教育学院科学系和香港教育署联手举办。近几年，香港科学馆、香港教育城、香港数理教育学会、行政长官卓越教学奖教师协会也逐渐加入成为主要的举办机构。这项科学探究项目旨在培养学生对身边世界的好奇心和感受力，提高学生的科学探究能力及其它方面的能力，如问题解决及沟通。参与活动的小学生年约十至十二岁，需要以小组形式进行科学性探究专题工作。从 2006 年开始，随着活动的影响力的不断扩大，澳门和珠江三角洲地区的广州、东莞、中山等市区学校亦积极参与，此项目已经发展成为粤港澳地区一项具有重要影响力的科学探究活动。

参与这个项目的学生从最初提交探究计，开展探究活动，到最终完成探究报告历时差不多半年。学校教师是学生探究工作的主要支持者。但是，从教师在活动的意见书中我们得知教师们本身对科学探究认知不多，在辅助学生进行有效的探究过程感到困难，未能针对性地看出及指出学生在科学探究工作上的迷思。我们期望透过分析学生的探究成果，让教师和学生认识他们在探究工作中可以进一步改善的地方。

资料分析

在分析学生如何进行观察、假设和策划，Harlen (2000)认为这些探究过程技巧的证据不需要在现场收集，透过学生的书面工作很多时候能提供有用的信息。本研究以 26 份获得「杰出」的专题探究中学生提交的探究计划和探究报告书，及学生们的口头汇报，分析学生在科学探究过程的「不科学」想法。这个方法的优点是按学生的书面记录探究过程和成果作依据来进行分析，限制是欠缺学生的访问，未能再深入了解学生的不科学想法及其背后涉及的各种因素。分析框架参考 Duggan & Gott (2000)认为对科学教育最相关的技巧，包括：设计 (design)、测量 (measurement)、数据处理 (data handling)，及 Chin (2003)提出的 5P1I2R，包括：确认问题 (problem definition)、已有知识 (prior knowledge)、预测 (predictions)、计划 (plan)、程序 (procedure)、调查 (investigation)、结果 (results)、反思 (reflection)。为分析更简明，我们重组两份数据，得出以下三个过程阶段的分析框架。



1. 计划和设计

- 是否有一个明确的探究方向？
- 是否有提出可探究性问题或作出合理的预测？
- 能否针对不同的探究以找出相对应的探究项目？

2. 开展探究过程

- 能否针对不同的探究活动选择合适的方法和技术收集证据数据？
- 能否展示对相关变量的理解和使用公平测试？
- 是否有能力正确使用测量手段和工具以获得有意义的的数据？

3. 解释探究结果

- 能否正确分析数据以得出结论？
- 所得出的结论是否与测试资料相吻合， 是否有回答探究问题？
- 在处理与理论或预测不一致的数据时， 是否有重复探究过程或者修改探究设计去进一步核实数据？

研究结果

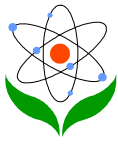
从分析来看，在计划和设计阶段，有 8 个探究出现不科学的想法，主要是「情难自控」和「面面俱到」；在开展探究过程阶段，有 15 个探究出现「为做而做」、「依葫芦画瓢」、「随心所欲」的不科学性思维；在解释探究结果阶段，有 9 个探究存在「牵强附会」和「移花接木」的不科学性思维。下面就各部分选取两到三个较典型的例子作详细的分析讨论。

(一) 计划和设计阶段

1. 情难自控

在开展探究之初，学生往往容易急于进入主题，缺少对探究内容的有效分析，以致难以将意念转化为可探究的调查或设计。

在一个探究计划书中，学生提出改善市区的通风情况和空气质量，减低屏风楼效应的影响，其中的探究设计有两项内容：用电灯泡模拟提升空气温度，看看是否会对地下通风管道的空气对流产生影响；看看哪种材料最适合隔离空气污染物。虽然学生在探究目的上描述了屏风楼效应，但是却提出了一些与探究意图不相吻合的问题，例如将屏风楼效与地下通风管道相联系等。另一个探究计划是通过实地观察找出哪里是最佳的住宅区绿



化位置。然而，如何定义「最佳」绿化位置是一个很复杂的问题，涉及主观审美等因素，单凭观察不可能得出结论。

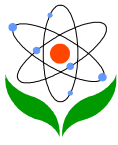
在设计探究阶段，提出富有成效的问题可以聚焦和引导学生的思维活动 (Chin, Brown & Bruce, 2002)。由于学生对科学探究缺乏认识，在探究之初往往提出无需探究的信息问题，或者难以探究的复杂问题，甚至无法探究的哲学宗教问题 (Chin & Kayalvizhi, 2002)。倘若学生在探究内容进行初步分析，结合科学探究的类型特点，如公平测试是探究某事物是怎样影响另一事物的，问题解决是探究如何应用已有知识解决某一问题，则可以将探究意念具体化为一系列可探究的问题。为此，在屏风楼效应的探究中，学生可以通过楼宇模型展开公平测试型探究，例如，楼宇的高度、密度、排列方式是怎样影响空气的流通速度等等。关于小区绿化的意念则可以转化为一个问题解决型探究，如：如何改变现状，提升住宅区的绿化质量？学生可以通过考察小区的绿化现状，包括：绿化面积、人均绿地、树种配置等，提出相应的建议。

2. 面面俱到

为追求全面完整的探究，将探究范围不必要地扩充以获取丰富的探究结果，是学生在提出探究计划阶段另一个比较突出的问题。在小学生看来，科学探究必须「面面俱到」，对与研究对象相关的问题都应该列入探究计划。

例如，在一份有关环境绿化的探究计划书中，学生提出五项探究内容：了解常见的植物及不同的植物在香港的角色；在学校及家居种植不同植物去绿化环境；比较绿化及非绿化地区的温度、湿度及尘埃等；测试光合作用；制作叶脉书签等。而另一份计划书提出，为改善市区的空气质量，运用多项探究设计，包括：水蒸汽降温；风力发电；水力发电；大厦流线型通风设计等多项内容。

从这两份计划书来看，虽然学生在其中谈到了多项探究测试，但对各项测试的目的并不清楚。例如，水蒸汽降温与改善空气质量有什么关系，水蒸汽降温与风力发电、水力发电、大厦流线型通风设计之间又存在怎样的关系等。又如，了解常见的植物及不同的植物在香港的角色有什么意义？为什么要进行光合作用的测试？这两项探究内容之间有什么关系？在这些计划书中，学生虽然能够提出一些探究问题，但是对于「为什么而探究」并不清楚 (Hart, Muhall, Berry, Loughran & Gunstone, 2000)，其结果就是尽量将各种相关内容罗列进计划书，误以为这样才是一个好的探究计划。



(二) 开展探究过程阶段

1. 为做而做

选择合适的方法和技术收集证据数据是响应探究问题的重要环节。为保证探究过程的科学性，学生们采用各种材料和方法进行了多项测试，但是所得的数据结果却不一定能说明探究问题。

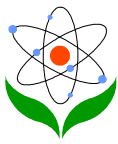
例如，在某一比较各种不同胶袋的耐用性的探究中，采用的测试方法是：比较用正方体投掷各类胶袋的情况；比较圆柱体投掷各类胶袋的情况；比较锥形体投掷各类胶袋的情况。虽然学生想利用不同形状的重物投掷胶袋，以表明采用不同的方法验证了同一结果，但这些测试结果都不能说明胶袋的耐用性，学生应该考虑胶袋承受重量或磨损的程度。又如，某探究的目的是测试不同材料制成的环保袋是否环保，采用的测试方法：比较各类环保袋沾上动物油后的易清洗性；比较各类环保袋沾上动物血后的易清洗性；比较各类环保袋在水泥地板上磨擦后的耐磨性。虽然学生进行了细致地对比测试，但是探究结果却只能说明各类环保袋的「实用性」而非「环保性」。除了测试方法，在探究材料方面也出现了脱离探究目的，用无效的结果验证探究问题的现象。例如，某探究的目的是比较不同材料成分的保暖被的保暖效果，选择的测试物料为：棉、羽绒、碎布、报纸。很显然，碎布和报纸是学生为了增加数据的多样性而选择的物品，其测试结果并不能为回答探究问题提供参考。

从实例中可以看出，由于缺少证据的有效性的概念，学生常常将测试方法和测试材料的丰富性等等同于数据的充分性 (Gott & Duggan, 2003)，出现为探究而探究的现象。

2. 依葫芦画瓢

公平测试或称控制变量是获取数据证据的重要方法，也是常见的探究类型之一。在小学科学探究中，学生们也经常使用这一策略开展探究。从表面上看，学生们似乎已熟悉公平测试的各种要素，如找出具影响性的各种变量，确定自变量和因变量，改变其中的一个变量而保持其它变量不变等。但从深一层的角度来看，不少学生对公平测试的理解只停留于形式，而非真正理解公平测试对于获取证据的重要意义。

例如，某探究希望比较填充不同材料（发泡胶、鸡毛、棉花、空气）制作的保存盖的隔热性能。学生懂得保持保存盖的大小相同，保持盛水器的大小和材质相同，及倒入同样的热水。但是在比较各种保存盖的散热率时，却忽略了保持开始水温的一致性，而这一条件对于散热率的比较有很大的影响作用，因为热量的散失会在瞬间受到周围环境的影响。从例子中可以看出，学生容易识别外显的变量，有的甚至可以全部控制，例如，外观形状、大小、材质等，但是往往会忽略内隐的变量，例如，周围的环境条件、浓度、速度等 (Gott & Duggan, 1995)。又如，某足球游戏的设计与探究，测试购买的发泡胶球与其它材料制作的球（报纸、铝箔）的性能。学生设计了两组测试：保持重量相同，测



试三个不同材料制成的球的性能；保持直径相同，测试三个不同材料制成的球的性能。由于学生不完全理解公平测试在这个问题情境中的运用，于是设计了控制重量和直径两组不同的测试。因为购买的发泡胶球直径是固定的，为了比较它与其它材料所制作的球的性能，只要保持球的直径不变，不断改变其它材料制作的球的重量，就能选择到大小（密度）合适的球。

这些实例说明，学生虽然能依葫芦画瓢地提供变量控制的元素，但并不能在实质意义上将变量控制的原理与探究内容相结合。

3. 随心所欲

在科学探究中，能够使用测量资料而非简单描述以证明探究结果，显示了学生在探究能力上的质的进步(Gott & Duggan, 1995)。从学生提交的探究报告来看，不少学生懂得以一连串测量资料说明自己的结论。但是能够使用测量手段和工具，是否表示学生能理解测量的意义和目的？

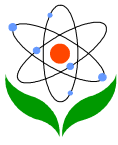
例如，为了探究荧光棒的发光亮度与环境温度之间的关系，学生选取室温、冰水和热水作为温度的改变条件。虽然学生懂得在不同的温度下进行测试，却将温度这一连续变量错误地描述类别变量（冷、常温、热）。很显然，这种类别性的诠释限制了学生更准确地探索周围环境温度与荧光棒的发光亮度之间的关系。同样的，在关于摇摇的探究中，学生为探讨负重量对摇摇悬停旋转时间的影响，进行了两项测试（见表1和表2）。虽然学生进行了多次测试，提供了一连串的数据，但是真正能够说明问题的数据只有13.0秒和15.5秒两个，而这两个数据并不足以推出所谓的“摇摇重量越重，量度出的悬停时间越长”的结论

表1 摇摇重量增加2克后的悬停时间

测试次数	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
时间（秒）	12.4	13.9	12.3	13.1	16.8	13.3	10.5	12.1	13.0

表2 摇摇重量增加5克后的悬停时间

测试次数	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
时间（秒）	13.1	16.1	18.8	15.7	16.2	13.8	15.6	14.8	15.5



在上述实例中，学生尝试以测量资料来展示探究结果，但是由于缺乏数据“可信度”的概念，导致出现随意选择测量的时间、频率、范围等现象。可见，建立测量的概念不仅意味着掌握测量技能，更重要的是在测量过程中形成决策的能力，决策的内容包括选择测量的范围和精确度，测量的时间和频率，以及是否需要重复测量等，而这所有的决策点都取决于学生是否理解何为可靠的资料。

(三) 解释探究结果阶段

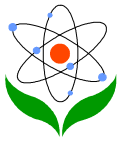
1. 牵强附会

一旦完成了资料收集工作，学生就需要进一步着手解释自己发现的结果。解释过程不仅包括综合各种信息寻找其中的规律，还包括考虑各变量间的关系以及确定事实证据是否支持相关的假设。从探究报告的分析结果来看，在形成解释的过程中，学生往往基于原有的信念或想法而非观测的事实来解释事物和现象，特别是处理不支持已有知识理论的数据（反例）时候，学生常常以牵强附会的解释方式回避认知冲突。

以鲜花保鲜之谜的探究为例，学生比较清水、盐、砂糖、黄糖、烧酒、阿司匹林、可乐、柠檬汁、白醋、漂白水 and 维生素 C 对延长鲜花观赏期的功效。根据学生查找的数据，白醋和黄糖可以延长鲜花的生命。然而，探究的结果却显示：黄糖不能令鲜花保鲜，而且是功效最差的一种物质；白醋同样不能延长鲜花的生命。面对这些反例，学生表现得无所适从，认为：“在实验的过程中，我们加入的黄糖分量可能太多，而令鲜花不能承受。令蛋白质不能分解，气孔也不能张开，防止了正常的蒸散作用”。而对于白醋的反常现象，学生则“避而不谈”。

除了以模棱两可的解释应对反例，学生甚至会以某种方式调整证据，以适应他们自己的那套理论。例如，在一项漂白水的探究中，学生进行了两项测试：比较不同牌子的漂白水的漂白效果；比较不同牌子的漂白水的杀菌效果。由于高乐牌的漂白水的次氯酸钠含量最高，为此学生提出假设：高乐牌的漂白和杀菌功能最强。在漂白效果的比较中，高乐牌比超值牌和花王牌的效果强。然而，在杀菌效果的却显示超值牌和花王牌的漂白水杀菌能力比高乐牌强，其结果与假设不同，而且与漂白效果的测试结果不一致。为了“圆满”地解释这两项探究结果，学生对所得证据进行了重新解释，认为：“这个实验结果虽然与我们的假设结果不同，但亦可以解释的。在实验中，沾在高乐氏漂白水的的面包没有完全被沾湿，故霉菌能在没有漂白水的的位置生长。”

在以上实例中，学生都把个人的猜想当作解释理由，缺乏进一步的求证。研究指出，学生在处理与理论或预测不一致的数据时，常常出现忽略反例、反驳反例、举棋不定、将反例排除在理论之外、暂时持有反例、在原有理论范围内解释反例、调整原有理论以适应反例等现象 (Chin & Brewer, 2001)。以上的分析显示，当证据与原有理论不一致时，学生经常忽略不一致的证据，或者以某种有选择性的、歪曲的方式注意这些证据。



2. 移花接木

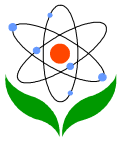
将探究结果推广到资料之外，而不是根据现有资料得出结论，是学生在形成解释阶段的又一个障碍。

例如，在某去除墨迹的探究中，学生假设酸性物质能帮助去除墨迹，但发现不能完全去除。在改进设计后，学生加入碱性的洗衣粉，发现能完全去除墨迹，于是得出结论：“酸性的物质有助于去污，却不能彻底清除，因此在实验的过程中加入碱性的清洁用品，墨迹才消失”。在此，学生只是对其中的一种碱性清洁用品洗衣粉进行实验，而没有对其它碱性用品做测试，所得数据并不足以推出碱性的清洁用品都能彻底去除墨迹的结论。除了将结论范围进行无限制地扩大，学生还可能主观性地将「规律」强加于其中，特别是面对一些模糊的资料时 (Gott & Duggan, 1995)。例如，在关于陀螺的探究中，学生测试了转盘的质量与旋转时间的关系（见表 3）。根据表 3 中的资料，学生得出结论：“转盘的质量、重量愈大，愈能保持旋转状态，旋转时间愈长，即稳定性愈高”。从表 3 中的资料可以计算得出，随着转盘质量的增加，旋转时间的平均值分别为 27 秒、24 秒、51 秒。虽然 25 克转盘确实比 10 克、15 克转盘的旋转时间长，但这些数据并能推导出“随着转盘质量的增加，陀螺的稳定性愈高”的结论。

表 3 转盘质量与旋转时间的关系

胶纸重量（克）		10 克	15 克	25 克
测试一	转动时间（秒）	15 秒	26 秒	50 秒
测试二	转动时间（秒）	30 秒	27 秒	56 秒
测试三	转动时间（秒）	35 秒	18 秒	48 秒

从这些分析中可以看出，尽管学生在探究过程中获得一定的资料事实，但在形成结论阶段却不能将探究结果与资料事实相互匹配，以致出现随意放大结论、强加规律等「移花接木」的现象。



研究启示与建议

上述分析表明，学生经历了整个科学探究过程，却不一定能够内化科学的思维方式。学生可能会把科学探究理解为依照既定环节进行的经验探索过程，而非将其理解为依据事实证据来建构解释模型的过程。典型的表现是，在探究开始之初，看似提出了很多疑问和设想，却无法辨别具探究元素的科学性问题的；在开展探究过程中，看似使用不同的方法，详细收集了很多资料，却较少质疑数据收集过程及数据本身的可靠性和有效性；在解释探究结果阶段，看似对资料做出了合乎情理的解释，却不能正确的评估事实证据，而代之以主观臆断的规律或结论。为此，将科学本质教学显性化 (explicit)，使学生有意识地建立“科学思想是基于证据形成的解释模型”的现代科学本质观 (见图 1)，是当前科学探究教学需要努力的方向，同时也是有效提升学生的科学素养的重要途径 (Giere, 1991)。

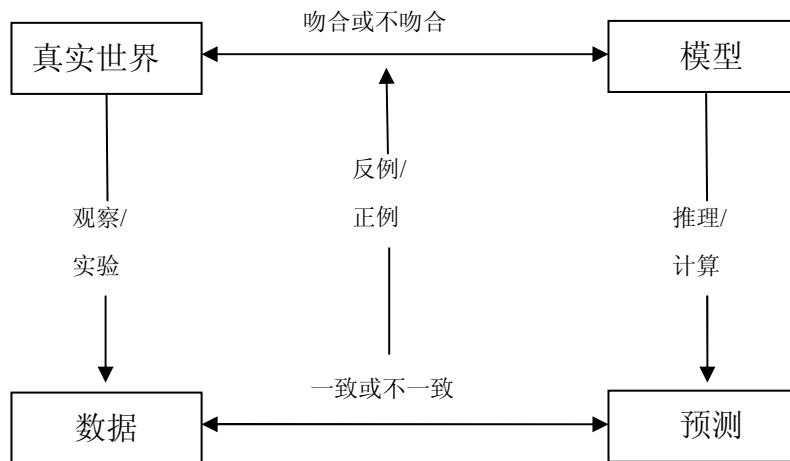


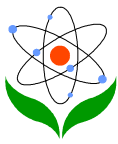
图 1 科学思想的产生过程 (Giere, 1991)

若要实现这一目标，教师在引导学生开展科学探究活动时，需要注意以下几个方面：

(一) 以提出问题为引子，增进学生对探究类型的认识

提出可通过科学调查研究能回答的问题是进入探究之路非常重要的一步。由于学生缺少对科学探究类型的认识，往往无法将探究意图具体化，或者不加区分地将各种问题列入探究计划书。科学探究的目的在于寻找对自然现象或事物的合理解释，针对不同的探究主题，可以采取了不同的探究方式 (Waston, Goldsworthy & Wood-Robinson, 2000)，包括：

- (1) 公平测试 (fair test)，如探究“哪种果汁腌过的猪肉柔软程度最高”；
- (2) 分类与鉴别 (classifying and identifying)，如探究“这是什么品种的植物”；
- (3) 寻找规律 (pattern seeking)，如探究“杯中的水量对敲打音调有什么影响”；
- (4) 探索 (exploring)，如探究“根据什么特征判断一个橙子里面的橙肉片数”；



- (5) 设计与制作 (making things or developing systems), 如探究“怎样制作自动洒水器”;
- (6) 模型探究 (investigating models), 如探究“封闭玻璃容器是如何维持里面的生命体?”

在计划与设计阶段, 倘若教师能够给予适当的提示, 让学生认识不同的探究主题及相应的探究类型, 则可以引导他们转换问题的提出方式, 缩小探究的内容范围, 筛选出可探究的科学性问题。

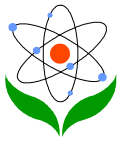
(二) 以证据概念为核心, 发展学生的科学探究能力

在科学探究过程中, 学生懂得运用各种方法和技能开展探究, 如选择不同的数据收集方法, 运用公平测试的原理, 使用测量工具等, 但往往不能获取充分、合理的数据以响应探究问题。可见, 单纯地将探究能力理解为某种方法技能, 并不能明学生认识科学探究的意义所在 (Millar, 1989)。换句话说, 如果学生心中没有证据的概念, 无论其经历多少次探究过程, 只能进行程序化的科学探究。证据概念是关于科学证据的有效性 (validity) 和可靠性 (reliability) 的认识, 前者指探究所得证据必须能很好地回答探究问题, 后者指所得证据必须足够 (Gott & Duggan, 2003)。尽管如此获得合理的证据对于学生来说是一个很大的挑战, 但是教师可以根据学生的认知水平, 以提问的方式让学生注意证据的有效性和可靠性。例如:

- 在选择数据收集方法的时候, 提出: 使用这些方法技术获得的资料是否真的可以回答之前提出的问题?
- 在设计探究测试的时候, 提出: 所有相关的变量都已经充分考虑到吗?
- 在进行测量的时候, 提出: 不同的测试时间、时间间隔、测量范围以及仪器的选择等因素是否会对所得结论产生影响? 等等。

(三) 以辩护论证为平台, 提升学生的科学思维能力

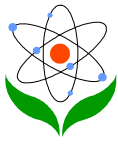
科学探究是一个知识探寻的过程, 如何协调证据和理论 (解释) 之间的关系是科学思维能力的集中体现。从本次分析来看, 学生在根据已有证据事实形成合理解释方面还存在一定困难, 特别是在探究结果与猜想假设不一致的情况下, 学生常常忽略反例或否定实验过程的有效性以维持预设判断。面对这些情况, 教师应该及时提醒学生注意证据的评估, 保持理论与证据的一致性, 将探究结果限制在所得证据的解释范围之内。一直以来, 科学探究更多地被描述为动手做而非动脑想, 相应地, 事实证据的发现过程常常受到重视, 而探究结果的解释和评价则被忽略 (Driver, Newton & Osborne, 2000)。把科学视为一种论证 (science as argument), 鼓励学生对所得证据和探究结果进行论证和解释, 这不仅可以让学生充分认识证据在探究中的重要性, 还可以让学生更清晰地认识到证据和理论的区别, 增进他们对科学本质的认识。为此, 在形成解释阶段中, 教师应该引导学生从多元的角度思考问题, 鼓励学生进行文本解释 (interpreting texts)、权衡证据 (weighing



evidence)、评估其它可能的解释 (assessing alternatives)、评价科学主张的解释力度 (evaluating the potential viability of scientific claims) 等, 让学生就探究过程和结果提出质疑和批判 (Osborne, Erduran, Simon & Monk, 2004)。正如 Kuhn (1992) 所言: 只有确认另一种解释的不合理, 才有可能确定科学解释的合理性。

参考文献

- Chin, C., Brown, D., & Bruce, B. (2002). Student-generated questions: a meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549.
- Chin, C., & Kayalvizhi, G. (2002). Posing problems for open investigation: what questions do pupils ask? *Research in Science & Technological Education*, 20(2), 269-287.
- Chin, C., & Brewer, W. (2001). Models of data: A theory of how people evaluate data. *Cognition and Instruction*, 19(3), 323-393.
- Chin, C. (2003). Success with investigations. *The Science Teacher*, 2(70), 34-40.
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
- Duschl, R. A. (2000). Making the nature of science explicit. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research. Buckingham (pp. 187-206)*, UK: Open University Press.
- Duggan, S., & Gott, R. (2000). Understanding evidence in investigations: The way to a more relevant curriculum? In J. Sears & P. Sorensen (Eds.), *Issues in science teaching* (pp. 60-69). London: Routledge Falmer.
- Gott, R., & Duggan, S. (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham; Philadelphia: Open University Press.
- Gott, R., & Duggan, S. (2003). *Understanding and using scientific evidence: How to critically evaluate data*. London: SAGE Publications.
- Giere, R. (1991). *Understanding scientific reasoning*. Fort Worth, Tex. : Harcourt, Brace, Jovanovich.
- Kanari, Z., & Millar, R. (2004). Reasoning from data: how students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748-769.
- Harlen, W. (2000). *The teaching of science in primary schools* (3rd ed.). London: David Fulton.
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiment? *Journal of Research in Science Teaching*, 7(7), 655-675.
- Hodson, D. (1998). Is this reality what scientists do? Seeking a more authentic science in and beyond the school laboratory. In J. Wellington (Eds.), *Practical work in school science: which way now* (pp. 93-108). London: Routledge.
- Kuhn, D. (1992). Thinking as argument. *Harvard Educational Review*, 62(2), 155-178.



- Leach, J. (1998). Teaching about the world of science in the laboratory: The influence of students' ideas. In J. Wellington (Eds.), *Practical work in school science: which way now* (pp. 52-68). London: Routledge.
- Lubben, F., & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18(8), 955-968.
- Millar, R. (1989). What is 'scientific method' and can it be taught? In J. Wellington (Eds.), *Skills and processes in science education: a critical analysis* (pp. 47-62). London: Routledge.
- Osborne, J., Erduran, S., Simon, S., & Monk, M. (2004). Enhancing the quality of argument in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Rop, C. F. (2002). The meaning of student inquiry questions: a teacher beliefs and responses. *International Journal of Science Education*, 24(7), 717-736.
- Watson, R., Goldsworthy, A., & Wood-Robinson, V. (2000). SC1: Beyond the fair test. In J. Sears, & P. Sorensen (Eds.), *Issues in Science Teaching* (pp. 70-79). London: Routledge Falmer.