

实验探究活动中的科学论证教学

——以“探究阿基米德原理”的教学为例

张 燕

摘要：科学思维和探究实践是初中科学课程的两大目标。在实验探究活动中突出科学论证的教学，可以有效地培养学生的证据意识、思维能力和理性精神。为此，可在提出问题、建立假说、设计实验、获得结论、回顾再思等环节开展科学论证教学，使培养学生核心素养的目标得以落实。

关键词：实验探究；科学论证；论证教学

科学论证是以科学知识为中介，积极面对问题，对所获得的数据资料进行解释和说明，提出自己的论点，反思自己与他人论点的不足并提出反论点，同时反驳他人的质疑和批判的高级思维能力。^[1]论证教学是指让学生通过确立主张，运用多种证据进行论证和相互说服，从而达成学习目标的一种教学方式。^[2]

实验是科学的基础，既是科学研究的基本方法，也是科学教学的基本方法。实验探究是科学探究的主要方式。无论是对于科学发现，还是对于科学教学，实验探究都发挥着任何其他方法无法替代的重要作用。值得指出的是，实验探究并不是让学生“照方抓药”地做实验。如果学生只是按照教师设计的步骤进行实验操作，那么他们只能得到操作技能的训练。科学教学的根本目标是发展学生的思维，实验探究要求学生手脑并用，论证思维则贯穿这一过程始终。科学思维和探究实践是科学课程的两大目标，所以，在实验探究活动中突出科学论证的教学，可以有效地培养学生的证据意识、思维能力和理性精神，真正落实培养学生核心素养的新课程目标。

在论证教学中，论证的主体既可以是学生，也可以是教师。如果以教师作为论证主体，应改变简单灌注知识的做法，在课堂教学中给出更多的论证过程，以理服人，为学生的论证作出示范。如果以学生作为论证主体，应改变学生回答问题时只给答案不给过程的做法，给他们提供更多的进行论证的机会和任务。

本文以“探究阿基米德原理”的教学为例，对如何在实验探究活动的提出问题、建立假说、设计实验、获得结论、回顾再思等环节中开展科学论证教学加以论述。

一、“提出问题”中的论证教学

探究始于问题。但在实验探究中，探究的问题应当是由教师提出还是由学生提出呢？《科学探究与国家科学教育标准——教与学的指南》一书依据学习者自主探究的程度，对“提出问题”这一要素从高到低提出了如下四个层次。

第一层次：学习者自己提出一个问题。

第二层次：学习者从所提供的问题中加以选择，并据此提出新的问题。

作者简介：张燕，浙江省衢州市衢江锦绣学校高级教师（衢州 324022）。

第三层次：学习者探究的问题来源于教师、学习材料或其他途径，但问题并非直接给出的，需要学习者稍加改变或自己体会其含义。

第四层次：学习者直接探究来源于教师、学习材料或其他途径的问题。^[3]

由此可见，探究的问题既可以由学生提出，也可以由教师提出。但由教师提出的探究问题，应当能够被学生接纳，并成为他们自己的问题。这就要求教师不能将问题“空降”或“硬塞”给学生，而是通过必要的论证，揭示问题探究的动因，使学生认识到探究这一问题对他们的认知和生活的意义。

在探究阿基米德原理之前，学生已经认识到：根据二力平衡条件，可知当物体漂浮在液面上或悬浮在液体中时，液体对它的浮力等于物体受到的重力；利用称量法，可以测出一个在液体中会下沉的物体浸入液体时，液体对它的浮力等于物体受到的重力减去弹簧测力计的读数。既然有了这些求浮力的方法，我们为什么还要探究影响浮力大小的相关因素呢？这是因为这些方法还存在不足。所以，在引出探究浮力大小相关因素的课题之前，教师应当进行如下论证：利用二力平衡条件和弹簧测力计求浮力的方法都存在较大的局限性，前者只适用于物体能在液体中漂浮（或悬浮）的情形，后者只适用于物体在液体中会下沉的情形。科学研究希望得到更为普适的规律。为了得到一个跟物体在液体中所处的状态无关，能够普遍适用于各种情境的浮力原理，我们

需要探究一个更为基本的问题：浮力的大小究竟与哪些因素有关？

二、“建立假说”中的论证教学

科学假说是关于事物现象的因果性或规律性的假定性解释或推测性说明。它是科学发展的重要形式，是发现新事物、形成新理论的桥梁。建立假说是科学探究中极富魅力的重要环节。就课程意义的探究而言，建立假说的内涵比较宽泛，包括建立假设、做出猜测等。有些教师在让学生建立假说时，只是鼓励学生做出某个猜测，并不关心学生究竟是怎样做出自己的猜测的。这样的教学行为对学生论证思维的培养和科学态度的形成都是不利的。

基于生活经验和已习得的知识，学生对于待学的新知识通常存在许多前概念。这些前概念是宝贵的教学资源，教师在科学教学中应当善加利用，即以其为教学起点，促进学生将前概念转化为科学概念。

科学是追求理性的，既需要大胆猜测，又需要细心论证。科学教学理应培养学生的理性精神。在实验探究过程中，我们既要鼓励学生大胆猜测，又应要求学生对自己的猜测负责，善于根据已有的知识经验进行推理，为自己的猜测提供佐证。

例如，在探究影响浮力大小的相关因素时，在教师的鼓励和引导下，学生通常会做出如表 1 所示的猜测和论证。

表 1 学生在探究影响浮力大小的相关因素时所做的猜测和论证

序号	猜测	论证
1	浮力的大小跟物体的体积有关，体积越大，浮力越大	将一个乒乓球压入水下比将一个篮球压入水下要容易，因为乒乓球的体积比篮球小得多
2	浮力的大小跟液体的密度有关，液体的密度越大，浮力越大	不会游泳的人在河里会下沉，在死海中却能浮在水面上，因为死海中水的密度较大
3	浮力的大小跟物体的密度有关，密度越小，浮力越大	木块浮在水面，石块沉入水底，因为木块的密度比石块小
4	浮力的大小跟物体浸入液体的深度有关，深度越大，浮力越大	用弹簧测力计测浮力时，物块越向下浸（即所处深度越大），弹簧测力计的读数越小

续表

序号	猜测	论证
5	浮力的大小跟物体浸入液体的体积有关，浸入液体的体积越大，浮力越大	用弹簧测力计测浮力时，物体浸入液体的体积越大，弹簧测力计的读数越小
6	浮力的大小跟物体与液体的接触面积有关	球状的橡皮泥会沉入水底，但将其做成碗状则能漂浮，因为碗状的橡皮泥在水中与水的接触面积更大

学生的前概念以及他们对前概念的论证并不一定正确可靠，“反思自己与他人论点的不足并提出反论点”是科学论证的重要方面。对于表 1 列出的学生对影响浮力相关因素的猜测和论证，一个重要的教学环节是引导学生进行讨论和质疑，寻找其中的漏洞和缺陷，将错误的论证转化为正确的论证，通过正确的论证修正错误的观点。为此，教师可安排如下教学环节。

比较猜测 1 和猜测 5，因二者都涉及体积，学生可以认识到：如果物体没有浸入液体中，其体积再大，也没有受到浮力的作用。所以，猜测 1 是错误的。

比较猜测 4 和猜测 5，物体刚浸入水中阶段，浸入的体积与浸入的深度相关；当物体完全浸入液体后，继续加大浸入的深度，浸入的体积不变，浸入的体积与浸入的深度无关。所以，猜测 4 是错误的。

对于猜测 3，利用演示实验提供事实，将体积相同的铜块和铝块完全浸入水中，用称量法测出二者受到的浮力相同。所以，猜测 3 是错误的。

对于猜测 6，利用演示实验提供事实，将橡皮泥捏成碗状，它将漂浮在水面上（浮力等于重力）；再将碗状的橡皮泥完全浸入水中，此时它与水的接触面积变大，却会沉入水底（浮力小于重力）。所以，猜测 6 是错误的。

在猜测 2 中，液体的密度描述的对象是液体，而在猜测 5 中，物体浸入液体的体积描述的对象是物体。科学是追求简单的，我们能否将二者转化为同一对象呢？经过学生讨论，他们会发现，如果用“物体排开液体的体积”代替“物体浸入液体的体积”，可将描述的对象改为液体，使猜测 2 和猜测 5 的描述对象相同。

通过上述论证，学生确认浮力的大小跟“液

体的密度”和“物体排开液体的体积”有关。接着，教师进一步引导学生论证：如果浮力的大小跟液体的密度、物体排开液体的体积有关，根据质量、密度、体积三者的关系，则可推知，浮力的大小应当跟物体排开液体的质量有关。再根据重力与质量的关系，则可推知，浮力的大小应当跟物体排开的液体受到的重力有关。如果浮力确实跟这些因素有关，考虑到浮力和重力都是力，则浮力与物体排开的液体受到的重力的关系最为简单。这样，探究活动就转向研究浮力与物体排开的液体受到的重力的关系。

三、“设计实验”中的论证教学

根据建立的假说，针对问题的目标，选择合适的器材，对实验方案进行谋划和设计，是探究实验培养学生论证思维的良机。能够达成探究目标的实验方案并不是唯一的，学生需要构想不同的方案，并根据客观条件是否允许、实验误差是否可接受、操作是否简便等方面，对不同的实验方案进行论证，选择合适的方案。设计实验方案时要具体谋划实验程序，使实验过程循序渐进。此时，论证思维扮演着不可替代的角色，发挥着关键性的作用。

对于探究阿基米德原理实验方案的设计，应当引导学生进行如下论证。

首先，根据实验假设，要测出物体在液体中受到的浮力和物体排开液体所受的重力。

其次，测量浮力有两种方法：一是漂浮法或悬浮法，让物体漂浮在液面上或悬浮在液体中，测出物体受到的重力，得出物体受到液体的浮力；二是称量法，将在液体中会下沉的物体悬挂在弹簧测力计上，先在空气中称，再浸入液体中称，记下两种情况下弹簧测力计的读数。根据力的平衡关系，可得浮力即两个读数之差。

最后，测量物体排开的液体所受的重力有多种方法。可以利用溢水杯使物体排开的液体溢出来，用弹簧测力计测出这部分液体受到的重力，或用天平测出这部分液体的质量，再计算出其重力，或用量筒测出这部分液体的体积，再计算出其重力。也可以将物体浸入装有液体的量筒内，用量筒测出物体浸入液体后排开液体的体积，再计算出其重力。

在此基础上，引导学生设计出如下实验方案：

- (1) 用弹簧测力计测出空小桶受到的重力 G_1 (见图 1 甲)；
- (2) 用弹簧测力计测出金属块受到的重力 G_2 (见图 1 乙)；
- (3) 将金属块浸入装满水的溢水杯中，用小桶承接溢水杯中溢出来的水，读出弹簧测力计的读数 F (见图 1 丙)；
- (4) 用弹簧测力计测出小桶装有水时受到的重力 G_3 ；
- (5) 将有关数据填入实验记录表；
- (6) 分析实验数据，得出实验结论。

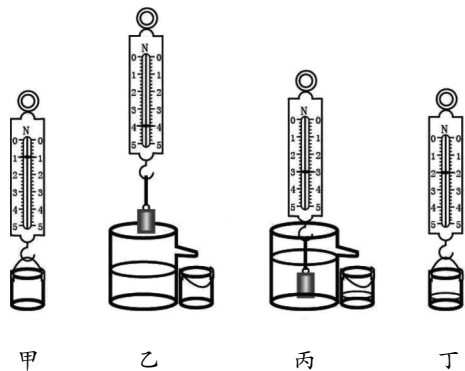


图 1 实验方案示意

四、“获得结论”中的论证教学

观察与实验是人与自然的对话，通过观察与实验，我们能获得大量的信息，但这些信息不会自动告诉我们隐藏在实验现象背后的规律。要从实验信息中获得结论，需要我们进行分析比较、抽象概括，即需要认识主体进行论证。

例如，用图 1 所示的方法，我们可以得到表 2 中前四行的信息，利用已有知识，可算出后两行的数据。比较后两行的数据，可得出实验结

论：浸在水中的金属块受到水对它向上的浮力，浮力的大小等于金属块排开的水所受的重力。

表 2 探究阿基米德原理实验数据

单位：N

物理量	数值
空小桶受到的重力 G_1	1.0
金属块受到的重力 G_2	4.0
金属块浸在水中时弹簧测力计的读数 F	3.0
装水小桶受到的重力 G_3	2.0
金属块受到水的浮力 $F_{\text{浮}}$	1.0
金属块排开的水所受的重力 $G_{\text{排水}}$	1.0

这是使特殊的物体完全浸没在水中只做一次实验得出的一个结论。要使这个结论具有普遍性，需要重复实验。教学中，应让学生通过讨论回答下列问题：如果让你重复这个实验，你会对实验做哪些改变？学生可能会将金属块改为小石块，或将水改为其他液体。在此基础上，教师向学生指出，实验永远是有限的，人们通过重复的实验，都能得到与刚才所做实验相似的结论。由此，帮助学生将上述实验结论从特殊推广到一般——浸在液体中的物体受到液体对它向上的浮力，浮力的大小等于物体排开的液体所受的重力。此即阿基米德原理。

五、“回顾再思”中的论证教学

从课程角度看，虽然学生通过实验探究活动得到了问题的答案，但是实验探究并未就此终结。我们需要引导学生对实验探究的过程和结论进行回顾和再思，从中挖掘有待进一步论证的新问题。这是科学课程实验探究活动中一个极为重要的环节。再思则旺，说的就是这个道理。一个好的教师必须理解并使他的学生深刻地认识到：没有任何一个题目是彻底完成了的，总还会有些事情可以做；在经过充分的研究和洞察以后，我们可以将任何解题方法加以改进；而且无论如何，我们总可以深化我们对答案的理解。^[4]

回顾再思环节的论证是一种反思性学习，它能极为有效地发展学生的审辩式思维。对上述实验探究过程和结论的回顾再思是十分丰富的，以下略举几例。

- (1) 对于探究实验可能存在的误差，我们要

深入分析，加以论证，找到减小误差的方法。例如，对图 1 所示的探究实验，可以让学生论证：如果在溢水杯里装水时，并未使水面到达溢水口处，表格中的哪几个数据会发生改变？会发生怎样的改变？如果在使用弹簧测力计时，没有对指针事先调零，使挂钩上未挂物体时已有读数，这会对实验结果造成什么影响？

(2) 由实验结论得出的某个推论，我们要对其加以论证，深化对实验结论的理解。例如，针对实验得出的阿基米德原理，向学生提出如下问题：有人说，1 N 的液体不可能产生 3 N 的浮力，因为根据阿基米德原理，浮力等于被物体排开的液体所受的重力。容器里的液体总共只有 1 N，全部被物体排开也只有 1 N，怎么可能产生 3 N 的浮力呢？^[5] 你认为这个观点正确吗？为什么？

(3) 另辟蹊径得出相同的结论。例如，可以与学生一起采用理论推导的方法得出阿基米德原理。设想在静止的液体中任取一部分液体（见图 2），图中由周围液体指向这部分液体的箭头表示周围液体对其表面不同位置的作用力。我们可用浮力 F 等效代替这部分液体表面受到的所有力。因为这部分液体是静止的，所以它受到的浮力 F 与重力 G 是一对平衡力。

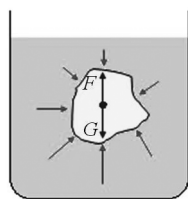


图 2 理论推导阿基米德原理

现在，设想把这部分液体取掉，用形状完全相同的物体代替，那么，这个物体表面上各点受到的压力跟被取掉的那部分液体表面上各点受到

的压力完全一样。也就是说，这个物体受到的浮力与原来那部分液体受到的浮力完全一样。由此可得，物体受到液体对它向上的浮力等于被物体排开的那部分液体受到的重力。

科学研究是一个不断探究、不断演进的过程，而不是为了追求一个一成不变的终极答案。经过一代代科学家的深入探究，科学知识不断地得到验证和修正。因此，在科学课程实验探究中，我们应当引导学生提出“探究的问题有什么价值”“探究实验为什么要这样做而不那样做”“探究的结论为什么是这样而不是那样”之类的问题，并根据已有的理论和事实证据进行严谨的论证，进而回答这些问题。这样，学生才能深刻地理解科学的本质，他们的证据意识和科学思维才能得到有效的发展。

参考文献：

- [1] 廖伯琴. 普通高中物理课程标准（2017 年版 2020 年修订）解读 [M]. 北京：高等教育出版社，2023：56.
- [2] 朱明慧，肖思汉. 科学论证教学的评价框架与实践述评 [J]. 基础教育，2021（3）：100.
- [3] 美国国家研究理事会科学、数学及技术教育中心，《国家科学教育标准》科学探究附属读物编委会. 科学探究与国家科学教育标准：教与学的指南 [M]. 罗星凯，张琴美，吴娴，等译. 北京：科学普及出版社，2004：29.
- [4] 波利亚. 怎样解题：数学思维的新方法 [M]. 涂泓，冯承天，译. 上海：上海科技教育出版社，2018：11.
- [5] 郑青岳. 初中科学深度备课：让新课程的理念落地 [M]. 上海：上海教育出版社，2023：210.

（责任编辑：郭晨跃）