促进科学论证能力培养的物理教学设计

——以归谬法论证为例

贾树欣
（华东师范大学教师教育学院　上海　200062）
吕　婧
（福建省厦门双十中学　福建 厦门　361100）
陈　刚
（华东师范大学教师教育学院　上海　200062）

（收稿日期：2023－12－11）

摘　要：对科学论证能力的培养需要帮助学生习得科学论证方法. 归谬法是用于反驳难以直接论证的观点或命题的科学论证方法，要使学生有效地习得归谬法，需要从论证结构和逻辑基础两方面开展显性化教学. 以“自由落体运动”一节中伽利略运用归谬法的科学论证过程为例，阐述如何在教学中促进学生科学论证方法的习得与科学论证能力的发展.

关键词：科学论证；归谬法；自由落体运动

1　问题的提出

《普通高中物理课程标准（2017 年版）》将科学论证作为科学思维的要素之一，纳入物理学科核心素养的重要培养内容[1]. 科学论证是运用证据支持自己的观点或反驳相斥的观点的过程，包含证实和证伪两个方面. 证伪在科学活动中具有重要作用，科学理论的发展往往源于对已有主张的质疑与反驳. 归谬法是反驳逻辑谬误的论证方法之一，为反驳难以直接证伪的观点提供了有效、可靠的论证结构. 归谬法在中学物理课程中有丰富的案例和应用场景，但教材和教学中通常不会将归谬法显性呈现. 以人教版必修一的“自由落体运动”一节为例，教材呈现了如下材料[2].

【案例】伽利略认为，根据亚里士多德“重的物体下落得快”的论断，会推出相互矛盾的结论. 例如，假定一块大石头的下落速度为 8，一块小石头的下落速度为 4，当把两块石头捆在一起时，大石头会被小石头拖着而变慢，整个物体的下落速度应该小于 8；但是，把两块石头捆在一起后，整个物体比大石头要重，因此整个物体下落的速度应该比 8 还要大. 这种相互矛盾的结论，说明亚里士多德“重的物体下落得快”的看法是错误的. 根据仔细的分析，伽利略认为物体下落的运动只有一种可能性：重的物体与轻的物体应该下落得同样快.

这是物理学史上伽利略运用归谬法进行质疑的经典案例. 通过学习上述材料，学生可以反驳亚里士多德的主张，得到“不同轻重的物体下落同样快”的结论，似乎掌握了归谬的奥秘. 然而，细究之下，为什么推出两个相互矛盾的结论就能说明亚里士多德的观点是错误的？学生往往难以有理有据地说明. 这是由于材料中展现的论证过程经过简化，缺乏完整的论证结构，且未能对归谬法的逻辑基础进行说明. 学生经历此学习，对于归谬法的基本结构或步骤仍然不清晰，也无法在科学论证中使用归谬法. 因此，在伽利略运用归谬法论证落体运动快慢这一片段的教学中存在着以下问题.

问题一：教学呈现的论证过程缺乏必要的逻辑原理说明，使学生在理解伽利略的论证过程时产生困难.

作者简介：贾树欣（1998－　），男，在读硕士研究生，研究方向为物理教学.
通讯作者：陈刚（1968－　），男，博士，副教授，研究方向为科学课程学习心理及教学理论.

问题二:学生经过学习并不能学会归谬法,即不能掌握运用归谬法进行科学论证的能力.

本文拟通过追寻伽利略论证“物体下落快慢与重量无关”的过程,揭示归谬法论证结构以及各结论获得所需要的逻辑机制,进而提出培养学生运用归谬法进行科学论证能力的方案.

2　伽利略的论证过程与归谬法

2.1　伽利略的论证过程

伽利略待证的结论为:物体的下落快慢与物体重量无关.其论证过程可分为 3 个环节.

2.1.1　反设

伽利略首先提出反设:物体下落快慢与重量有关.考虑现实经验,若物体下落快慢与重量有关,必然是重的物体下落快,这也是伽利略要反驳的亚里士多德的运动观.伽利略待证的结论和提出的反设是相互矛盾的关系,两者中一定有一个是正确的,这依据的是形式逻辑的基本规律 —— 排中律:“在对事物的描述中,两个互相矛盾的判断必有一个为真,不存在两者都为假的情况.”因此只要证明反设“物体下落快慢与重量有关”是不正确的,与之矛盾的待证命题就是正确的.

2.1.2　归谬

伽利略设想了一种情境,让轻重不同的两个物体连接起来下落,将反设作为条件对连接体的运动情况进行推理,得到了两个推论.

两物体连接在一起会变得更重,根据反设中“重的物体下落快”可推出:“轻重不同的两个物体连在一起下落,应该比重的物体单独下落快”(推论一).

而实际生活经验表明,速度不同的两个物体连接在一起同向运动时,速度快的物体会被拖慢,连接体的速度会比原先较快的物体慢.在此情境中,重物下落速度快、轻物下落速度慢,又可以得出:“轻重不同的两个物体连在一起下落,应该比重的物体单独下落慢”(推论二).

推论一和推论二是相互反对的逻辑关系.

2.1.3　结论

(1) 两个推论中至少有一个不正确

推论一和推论二相互反对,其中至少有一个是错误的,所遵循逻辑机制为矛盾律:“两个互相反对的命题,不可能同时真,至少有一个是错误的.”矛盾律也是形式逻辑的基本规律.例如,“今天是星期六”“今天是星期天”,这两个命题就是相互反对的关系,要么两者都不正确,要么有一个不正确.

(2) 对反设的证伪

因为两个推论都是从“物体下落快慢与重量有关”出发推理获得,其中必然有不正确的命题,那么作为推论前提的反设就不正确.获得结论的逻辑结构如图 1.

如果“物体下落快慢与重量有关”正确,则推论一和推论二都正确

推论一和推论二中至少有一个不正确

“物体下落快慢与重量有关”不正确

图 1　获得结论的逻辑结构

这里所用的推理为充分条件假言命题的否定后件式.充分条件假言命题是指具有“如果 …… 那么 ……”类似结构的命题,其否定后件式的推理形式如图 2 所示.

如果A,则B

非B

则,非A

图 2　否定后件式推理形式

(3) 对原待证命题的证明

证明了反设“物体下落快慢与重量有关”是不正确的,根据排中律,与之矛盾的待证论题就是正确的,即证明“物体下落快慢与重量无关”.

上述分析解释了伽利略论证过程的逻辑原理,构成对问题一的解决.

2.2　归谬法的结构

伽利略论证落体下落快慢与重量关系的方法,一般称为归谬法,是反证法的一种形式,属于证明方式中的间接证明.结合对伽利略论证过程的分析,可

以得出应用归谬法证明命题“q”正确(证伪“非 q”)的一般步骤是[3]：

(1) 反设：假设需要证明的命题“q”的反面正确，即假设“非 q”正确；

(2) 归谬：将反设“非 q”作为条件，结合其他已知的条件，应用演绎推理等推理方法，推出与已知事实矛盾或自相矛盾的结论；

(3) 结论：否定“非 q”，说明与其矛盾的命题“q”正确.

归谬需要从反设出发得到矛盾的结论，可以分为两种情况：一种是得到与已知正确的事实、规律相互反对的推论，根据矛盾律能判断此推论是错误的；一种是推理出了两个相互反对的推论，那么这两个推论中至少存在一个假命题. 两种情况对应的运用归谬法进行推理的流程及各环节的逻辑依据如图 3 所示，伽利略的论证过程符合其中的情况 2，是通过推出两个相互反对的推论实现归谬.

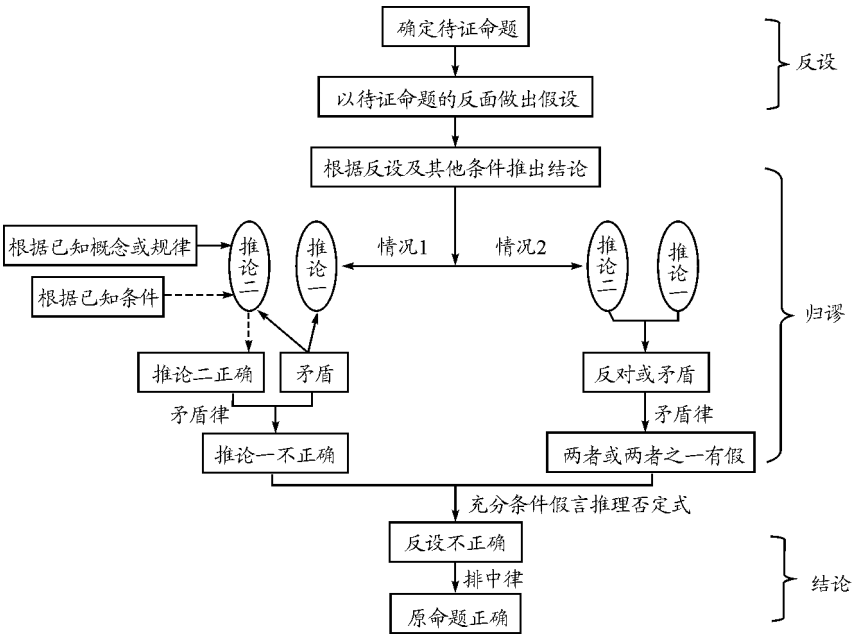

图 3　归谬法的流程图以及各步骤依据

3　归谬法教学与科学论证素养的培养

归谬法作为一种论证方法，可以应用于对科学观点的证明与反驳，提高科学论证的科学性和逻辑性. 学生具有科学论证素养本质上是通过在学习实践中运用论证方法解决问题而体现出来的. 因此，培养科学论证素养的教学应该以帮助学生经历科学论证实践和习得科学论证方法为目标.

科学论证方法作为提高科学论证效率的技能，属于学习心理学领域中的认知策略，其教学通常应当包含 3 个环节[4].

(1) 经历：学习者经历运用科学方法解决问题的过程，积累所需学习科学论证方法的运用经验.

(2) 显性：由于认知策略的运用具有潜在性(即在解决问题中个体并不会意识到自己所用的方法)，所以需要在学生积累科学论证方法运用经验的基础上，帮助学生显性化科学论证方法的适用条件、基本步骤以及各步骤的依据等.

(3) 应用：提供所学习的科学论证方法适用的情境，帮助学生遵循科学方法论证步骤有序论证解决问题.

在“自由落体运动”一节中结合伽利略的论证，归谬法科学论证素养培养的方案可如下进行.

3.1　经历

对归谬法的教学需要结合科学论证的案例，帮助学生理解各环节的逻辑依据. 以伽利略论证过程中得出“两个推论中至少有一个不正确”的片段为例，该环节的逻辑难点是结合矛盾律说明两个推论中一定至少有一个是错误的.

教学活动 1：“两个推论中至少有一个不正确”

的得出.

教师引入重物和轻物连接在一起下落的情景，引导学生分别得出两个推论："连接体比原重物下落快""连接体比原重物下落慢".

师：我们根据"物体下落与重量有关"，推出了两个推论. 这两个推论有什么关系？或者说这两个推论的真假性如何？

学生思考并讨论.

师：我们看一个例子，比如"王明是安徽人""王明是上海人"，这两个判断能够同时是正确的吗？

生：不能. 如果"王明实际是江西人"，那么以上两个都错；如果"王明实际是上海人"，那么"王明是安徽人"就不正确，反之亦然. 所以，这两个判断要么都错，要么有一个错误.

师：与之类似，伽利略得到的两个推论也是相互反对的关系，所以要么都是错误的，要么有一个错误.

师：这两个推论都是根据哪一个前提推出的？

生：根据"物体下落快慢与重量有关，重的下落快".

师：现在我们可以知道，从"物体下落快慢与重量有关"推出的这两个推论中至少有一个是不正确的.

设计意图：归谬法所遵循的逻辑原理不同于学生熟悉的"因为……，所以……"式的三段式论证，需要教学中补充清楚各结论获得的逻辑机制，帮助学生补全理解归谬法论证过程中可能产生困难的逻辑空白与断点. 事实上，学生虽然没有正式学习过排中律、矛盾律等原理，但在生活情景中积累过相关经验. 因此在物理课堂教学中并不需要点明每一逻辑的具体名称，而是举例生活情境中具有相似逻辑的生活化命题帮助学生理解.

通过伽利略的论证过程，学生对归谬法在科学论证中的应用有了初步体验，教师可以借助板书，使推理结构和依据更加直观、条理，为论证方法的显性化提供基础. 对伽利略论证过程教学的完整板书结构如图 4 所示.

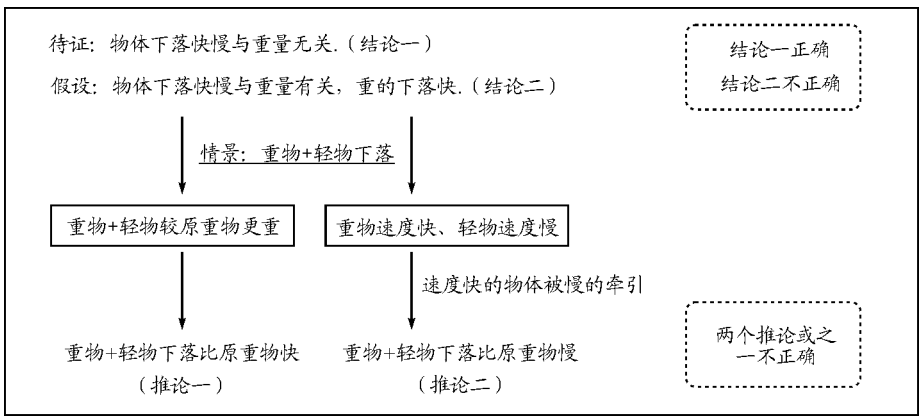

图 4　伽利略论证过程教学板书设计

3.2　显性化

跟随伽利略的论证过程，学生也经历了运用归谬法进行科学论证. 但从科学论证能力的培养来看，学生并不能自动概括出归谬法运用的条件以及步骤，也就无法掌握此方法. 如果希望学生能够具备使用归谬法进行论证的能力，还需要安排一个针对归谬法学习的教学环节，将论证方法显性化.

教学活动 2：伽利略所使用论证方法的显性化.

教师引导：伽利略论证"物体下落快慢与重量无关"的论证方法称为归谬法，请同学们结合板书，梳理伽利略的论证过程经历了哪些步骤.

教师可根据归谬法的结构，引导学生进行梳理并加以完善，概括出归谬法论证的基本步骤：

(1) 明确待证结论.

(2) 作出与待证结论相反的反设.

(3) 从反设出发推理得到矛盾的结论.

(4) 说明待证命题真假性.

设计意图：引导学生对问题解决过程进行回顾

与反思，从中梳理出归谬法的结构，实现方法的显性化教学.

3.3　应用

培养学生运用论证方法进行科学论证的能力与意识还需要积累使用科学论证方法解决问题的经验. 教师可以给出案例为学生提供应用论证方法的机会，使学生尝试遵循归谬法的步骤完成科学命题的论证.

教学活动 3：归谬法的应用 —— 静摩擦力的大小.

问题情境：当用手紧握一个瓶子，增大手的握力，有学生会认为瓶子所受的摩擦力也会增大. 实际上手握瓶保持竖直方向静止时，增大手的握力，不会增大摩擦力. 该结论是否可以用归谬法进行证明？

学生在教师引导下遵循上一环节得到的归谬法论证的步骤完成论证.

待证论题：手握瓶静止，压力增大时，静摩擦力不增大.

反设：当手握瓶的用力增大，手与瓶之间的摩擦力会变大.

归谬：

(1) 初始时瓶在竖直方向静止，说明竖直方向上摩擦力和重力相等.

(2) 如果手的握力增大，摩擦力也增大，而重力不变，那么摩擦力大于重力，瓶应该向上运动（推论）.

(3) 实际情况是手握力增大，瓶仍处于静止状态（事实）. 推论与事实不符，因此是错误的.

结论：推论的前提（反设）不正确，因此待证论题正确，即手握瓶静止，压力增大时，静摩擦力不增大.

设计意图：选取适当的科学命题，由学生自主完成论证，将对归谬法的学习内化为科学论证的能力. 该案例对应了图 3 中归谬的另一种情况，得出与事实不符的推论，与物体下落快慢问题的论证互为补充.

通过以上 3 个阶段的教学，学生能够用自己的语言叙述归谬法的适用范围与具体步骤，并可以举例说明在论证什么样的论题时可以使用归谬法，以及如何用归谬法对其进行证明. 在此基础之上，学生可以在今后的学习实践中识别出应使用归谬法的情景，遵循方法的引导对特定命题进行科学论证. 上述教学方案构成了对问题二的解决.

4　总结

科学论证的过程本质上是解决问题的过程：对一个待论证的观点或命题，学生需要在已有知识与经验中找到相关事实和理论依据，进行合乎逻辑的推理，最终证明或证伪观点. 学习和掌握归谬法等相关的论证方法能够为科学论证提供思考方向的引导，从而提高科学论证的效率.

在教学中，教师应当遵循科学论证方法，引导学生有依据、有逻辑地解决问题，增加学生运用科学论证方法的经验，并重视论证方法的显性化，使学生真正理解方法用在哪里和如何运用，经过一定的练习，逐步习得科学论证方法，从而实现真正意义上的科学论证素养的培养[5]. 在对归谬法的教学中，学生在教师的引导下，经历了运用归谬法进行科学论证的过程和对归谬法本身的学习，为真正理解归谬法的内涵及运用归谬法进行科学论证提供了可能. 科学论证能力的培养和科学思维素养的发展不是一蹴而就，教师要充分利用教材和生活中的科学论证案例，在长期教学中持续加深学生对方法的理解和应用.

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准（2017 版 2020 年修订）[S]. 北京：人民教育出版社，2020.

[2] 人民教育出版社，课程教材研究所，物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书物理必修第一册[M]. 北京：人民教育出版社，2019：49.

[3] 陆书环. 数学教学论[M]. 北京：科学出版社，2006：284.

[4] 陈刚. 物理学习与教学论[M]. 上海：华东师范大学出版社，2019：77.

[5] 魏舜芷，陈刚，刘紫微. 科学方法显性化的教材编写研究 —— 以单摆模型建构为例[J]. 物理通报，2021(2)：154 - 157.