

基于 CER 论证模型 发展高中生科学论证能力

丁丽娟 (上海南汇中学 上海 201399)

摘要 科学论证是科学思维的重要组成部分,是学生发展的关键能力之一,其关键要素包含观点、证据、推理和反驳。通过教学实例——对“磁电式电表中存在电磁阻尼作用”的科学论证,展示以 CER 科学论证模型为支撑,引导学生开展有效的科学论证活动。建议在教学中从显化科学论证要素、强化证据意识、可视化推理链、鼓励反驳质疑入手发展学生的科学论证能力。

关键词 科学论证 观点 证据 推理 反驳

文章编号 1002-0748(2024)11-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

1 研究背景

21 世纪以来,在科学教育领域,科学论证的研究和培养得到高度重视。科学论证在促进学生科学概念转变与理解、提升科学认知水平、提升推理能力和批判性思维能力、发展科学探究能力等方面的价值被普遍认可。我国《普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)》明确指出:科学论证作为构成科学思维的主要成分,是学生发展的关键能力之一^[1]。

1.1 科学论证的内涵

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说明,提出自己的论点,反思自己和别人论点的不足并提出反论点,同时能反驳他人的质疑和批判的高级思维能力^[2]。科学论证的个人属性和社会属性是不可分割的,作为一项复杂的实践活动,它既是“个体内部一系列推理活动”,又是“不同人之间的不同看法的碰撞”。

1.2 CER 科学论证模型

科学教育领域对科学论证的研究已经开展了几十年,研究者们提出了多种科学论证模型。凯瑟琳·L·麦克尼尔(Katherine L. Mcneil)与约瑟夫·S·克雷西克(Joseph S. Krajcik)等人,吸收了图尔敏科学论证模型(Toulmin's Argument Pattern, TAP 模型)的思想,提出由主张、证据、推理、反驳四部分组成的 CER(Claim Evidence-Reasoning Framework)科学论证模型(见图 1)^[3]。

CER 模型要求学生围绕某一科学问题提出观点,通过科学的方法收集证据,借助科学原理进行推

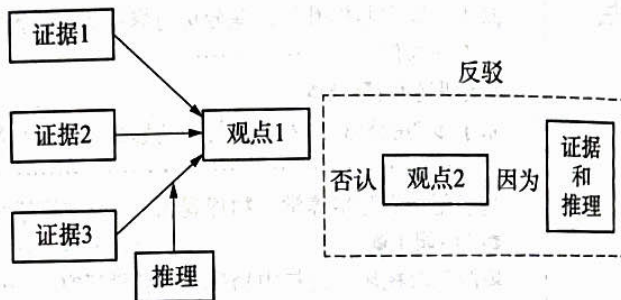


图 1 CER 科学论证模型

理,链接证据和观点,从而验证自己的观点。与 TAP 模型相比,CER 模型突出了观点、证据、推理三个关键的论证要素,更加清晰明了。该模型的高级阶段开始引入反驳,要求学生借助证据与科学原理,通过讨论或辩论,维护合理的主张,反驳不合理的主张,从而获得对科学知识的深层理解。科学发展是不断发现证据、弥补不足、修正错误、逼近真理的过程。对于高中生而言,适时引入反驳可以在提升科学论证能力的同时,增强对科学本质的认识。

2 CER 论证模型应用于物理课堂示例

高中生具备一定的抽象思维能力和逻辑思维能力,但由于在以往的学习中大多没有得到专门的科学论证方面的指导,常常在课堂上表现出证据意识不足、混淆观点和证据、推理逻辑混乱等问题。运用 CER 论证模型能够规范学生在科学论证过程中的思维路径,对学生开展科学论证提供很好的支撑。本文从教学现场中学生提出的原始问题出发,介绍开展科学论证教学的一些探索。

2.1 质疑批判, 提出观点

上科版教材中“自感现象和涡流现象”一节简单介绍了磁电式仪表中的电磁阻尼作用:“在许多电磁仪表中采用了类似的电磁阻尼装置,能够使仪表的指针避免左右晃动而直接指出稳定的示数。”^[4]教师引导学生根据电磁感应的规律进一步分析。

师:磁电式仪表的线圈常常用铝框做骨架,把线圈绕在铝框上,指针也固定在铝框上。同学们能分析一下,铝框转动时,电磁阻尼作用是怎么产生的吗?

生 1:铝框转动时两条边框切割磁感线产生感应电动势,用右手定则可以判断出感应电流的方向。感应电流在磁场中会受到安培力,用左手定则判断安培力的方向,发现安培力对铝框的运动起到阻碍作用。

一位学生联系教材“安培力”一节中介绍磁电式电表原理时的配图(见图 2),提出了质疑。

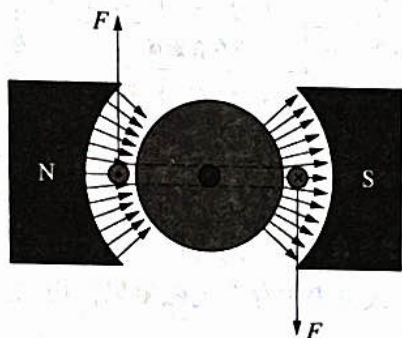


图 2 上科版教材中配图

生 2:老师,根据这张图,磁感线与铝框平面始终平行,铝框在转动过程中穿过它的磁通量始终为零,不会产生感应电流,怎么会有电磁阻尼作用呢?



根据右手定则,判断铝框中存在感应电流;
根据左手定则,铝框受到安培力阻碍转动

图 3 “磁电式电表存在电磁阻尼作用”的初步论证

2.3 多重证据, 完成论证

第二节课上,学生展示了两种可能的铁芯中磁感线分布图,论证继续开展。

生 1:根据磁感线不能相交,图 4(a)中的画法一定是错误的。

师:哦,这位同学发现了一个问题。现在出现了两种观点:一种观点认为磁电式电表中存在电磁阻尼,另一种观点认为不存在电磁阻尼。同学们,你支持哪种观点呢?为什么?

2.2 合理推理, 反驳观点

生 3:我认为第一位同学是对的。铝框转动时确实在切割磁感线,我也用了右手定则和左手定则,得到的结果和他的一样。

生 4:第二位同学错在哪里呢?产生感应电流的条件是磁通量发生变化,按照图 2 中所示,确实磁通量没有变化啊。

师:似乎都有道理,那么问题出在哪里呢?

生 3:这幅图的磁感线应该没有画完整。你们看,图上磁感线从 N 极出发到铁芯终止,又从铁芯出发到 S 极终止,但我们知道磁感线是闭合曲线,所以我认为图中只画出了部分磁感线,铁芯里还有磁感线,图上没画出来。

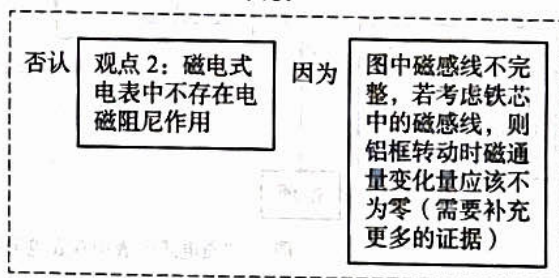
师:大家觉得谁的观点有道理?

生 5:第一位同学是正确的,第二位同学的问题可能就出在磁感线上。不过,铁芯里的磁场是什么样的呢?

师:这个问题有点难度,请大家课后深入研究,下节课我们继续讨论。

课后,老师把学生在这段讨论中呈现的观点、证据和推理用结构化的图表整理出来并发在班级群以便继续讨论和补充。在这段课堂对话中,最可贵的是“反驳”,它体现了科学论证是能反驳他人的质疑和批判的高级思维能力。

反驳



生 2:我在《新概念高中物理课本》中找到的图与图 4(b)一样。

师:老师下载了一款可以画磁感线的软件,通过软件得到的图像(见图 5)也是支持图 4(b)中的画法的。补充了铁芯中的磁感线后,你们有什么发现?

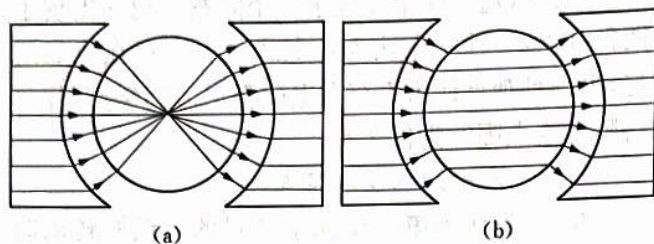


图 4 学生关于铁芯中磁感线分布的猜想



图 5 Femm 软件绘制的磁感线

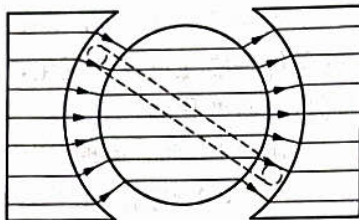


图 6 穿过铝框的磁感线

生 2: 铝框在转动过程中, 穿过它的磁通量发生变化从而产生感应电流, 所以铝框会受到电磁阻尼作用(见图 6)。

师: 大家有没有更多的证据支持存在电磁阻尼的观点呢?

生 3: 老师, 我们目前只进行了理论上的分析, 能不能直接用实验来验证呢?

根据学生 3 的建议, 教师带领学生拆解了实验室里淘汰的安培表进行实验验证。

将指针放置于最右端后从静止释放, 观察铝框和线圈在磁场中时指针的左右摇摆情况; 然后拆掉磁靴, 去掉磁场后, 重复操作, 观察没有磁场时指针的左右摆动情况。发现两种条件下, 指针的摇摆区别比较明显。多次实验, 结果基本类似, 实验记录见表 1。

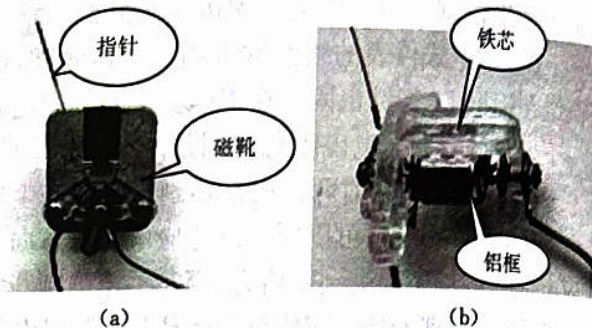


图 7 J0407 型电流表主要结构

表 1 线圈指针偏转情况实验记录表

实验序号	1	2	3	4	5	6
实验条件	不存在磁场			存在磁场		
指针摆动次数(次)	22	24	22	7	7	7
指针摆动时间(s)	16	16	15	5	4	4

铝框和线圈在磁场中时, 指针能较快地停止摆动, 就是电磁阻尼作用的直接证据。至此, 学生完成了对“磁电式电表中存在电磁阻尼作用”的完整科学论证过程。

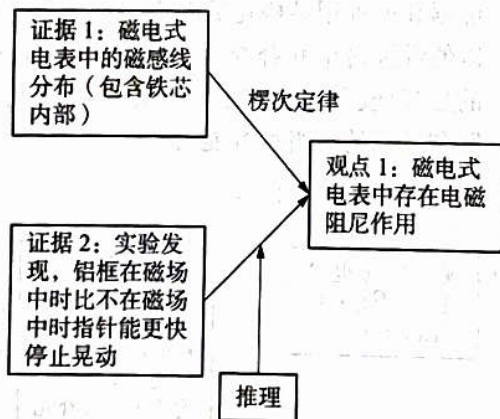
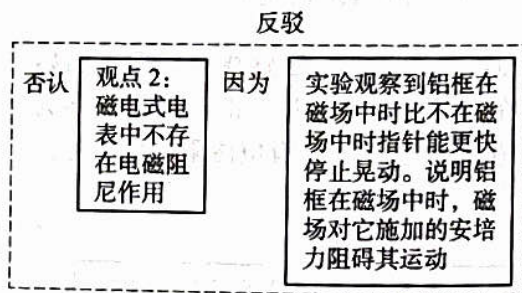


图 8 “磁电式电表中存在电磁阻尼作用”的最终论证



3 基于 CER 模型的科学论证教学建议

对高中生物理科学论证能力的评价研究表明, 学生在“观点”评价要素上表现最好, 在“证据”和“推理”评价要素上表现次之, 在“反驳”评价要素上表现最差^[5]。基于 CER 模型开展显性的科学论证教学是发展学生的科学论证能力, 落实物理学科核心素养的有效策略之一。

3.1 显化科学论证要素, 提供论证支架

在教师为学生创造科学论证的机会之前, 必要的准备工作是在课堂教学中显化科学论证, 让学生知道何为科学论证、如何进行科学论证。学生要理解科学论证各要素的具体含义以及彼此之间的联系, 学会使用科学论证的话语体系来进行论证。对不少高中生而言, 科学论证是一项陌生的、复杂的活动, 需要教师提供足够的示范和支持。

CER 模型是一种有效的论证支架,能为学生提供概念、程序、元认知等方面的支持。在上面的案例中,教师将论证活动中的观点、证据、推理、反驳等要素通过结构化的图表进行展示,较好地规范了论证的流程,更重要的是通过结构化教学帮助学生更好地认识科学论证要素之间的逻辑关系。学生在论证活动的各个环节中,也可以借助 CER 模型支架,反思自己可能存在的问题,并在修正后进行新的论证。

3.2 强化证据意识 厘清证据概念

证据是论证的基石,而证据意识是启动科学论证的必要心理准备。在教学中常常会发现,一些学生的证据意识较为薄弱。具体表现为只有观点,没有证据和推理,比如在发表观点时常采用“我凭感觉认为这样”“我猜应该是这样”等类似表述。在上面的案例中,当学生出现不同观点的碰撞时,教师非常重视对证据的追问,通过“为什么”“你的证据是什么”“还有没有其他证据”等,引发学生思考自己掌握了哪些支撑观点的证据,从而在证据的较量中自然地淘汰错误的观点。

在使用证据时,学生常见的一类问题是调用生活经验或已有的认知,而不是基于事实证据进行论证^[6]。因此,厘清证据的概念对学生的论证而言十分重要。在科学论证中,证据是自然界观察或测量的资料或实验所得的结果^[7]。教师可以对学生提出的证据进行评价,引导学生理解证据,并关注证据的真实性和强度。对于高中生而言,有些问题不一定能够得到一手的数据,那么也可以将一些来源可靠、可信的二手数据作为自己论证的证据。比如本案例

中,教材中磁电式仪表内部的磁感线示意图、教学软件画出的磁感线图都属于可信的二手数据,而实验则属于很强的直接证据。提出用实验来证明观点的学生 3 很显然具有较强的证据意识。

3.3 可视化推理链,加强推理反思

推理是联接事实证据和观点的因果关系链,是从物理的视角对证据进行合理的解释,说明它是如何支持主张的。高中阶段的物理问题比较复杂,往往需要连续的多个推理。前一个推理的结果决定后一个推理,后者受前者制约,对学生推理能力的要求比较高。教师可以将推理链可视化。一方面,“环环相扣”的推理链很好地展示了物理概念是如何被运用到推理中的,证据到观点的因果链是如何构建的,能给予学生正向的示范和引导;另一方面,可视化可以帮助学生对推理过程进行反思,及时发现逻辑断点并进行修正。

考察图 9 所示的推理链,我们发现如果推理 2 的前提是正确的,则推理 2 的结论也一定正确,推理 3 亦是如此。因此,我们有必要重点审视一下推理 2 的前提,也就是推理 1 的结论是否站得住脚。教材中配图是为了说明磁电式仪表的指针为什么会偏转,为了突出通电线圈的边框在磁场中受到的安培力,因此只画出边框所在处,即磁极极靴间的磁场是合理的。但要分析铝框中是否会产生感应电流,则需要考虑铝框所围成的整个平面的磁通量。显然,推理 1 使用的证据并没有反映研究对象的全貌,这个逻辑断点造成了后续所有推理的无效。通过这样的分析,学生对证据、观点、推理在论证中的各自作用和相互联系会产生更加清晰、深刻的理解。

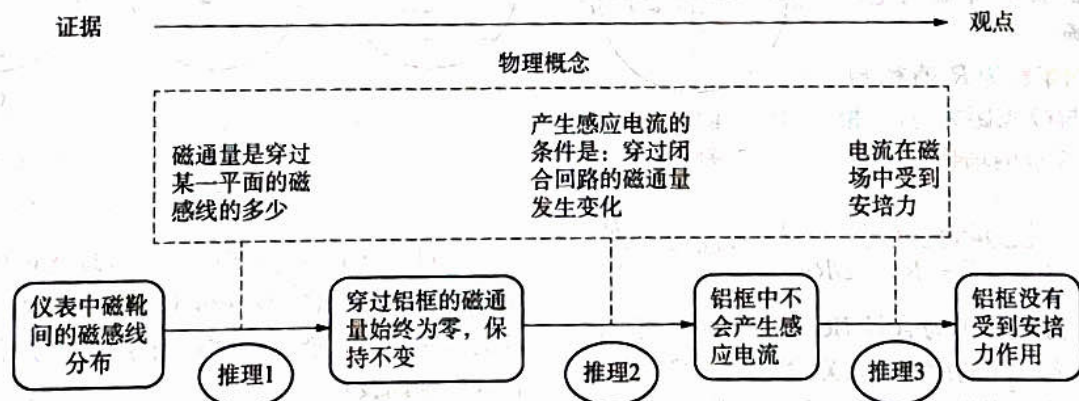


图 9 案例中学生 1 的推理链图

3.4 鼓励反驳质疑,提升批判精神

“反驳”属于科学论证能力的高阶水平,是培养高中生科学论证能力的目标之一。对学生而言,“反驳”是最具挑战性的要素,并非在所有的课堂上都会

发生。过去的教学中,我们常将重点放在介绍物理学研究的成果上,而很少讲述科学家是如何得到这些结果的故事,造成学生把物理理解为一堆事实和理论的集合^[8]。这些“既定的”事实和“正确的”理

论,在学生看来是无需反驳的。另一方面,已有的研究发现,教师在课堂话语中很少鼓励学生提出反论点或反驳。长此以往,学生失去了反驳的意识,也没有了反驳的能力。

首先,教师要通过话语激励学生大胆反驳。本案例中,每次学生提出观点时,教师都没有直接给出肯定或否定的评价,而是不断提问“同学们,你们怎么想?”“你们认为谁有道理?”等,将评价权交到学生的手中。提出观点的学生能感受到老师对他的尊重,从而燃起继续反驳的积极性,而其他学生也沉浸在一种自由发言的氛围中,能更主动地思考支持论证或者进行反驳。其次,教师要在教学中展示科学发展的历程,使学生认识到:科学知识需要观察或实验证据的论证;科学不是绝对真理,它可能有偏见或谬误,它会随着时代的发展而不断发展。比如人类对物质的结构、光的本性的认识过程中,各种观点相互碰撞,否定之否定的过程,就很好地诠释了批判、质疑在科学发展过程中的重要作用。物理学史的教学能培养学生的批判精神。最后,利用 CER 模型框架和可视化的策略,教师要指导学生,从哪些方面进行反驳,如何发现论证中的漏洞进行反驳,从而掌握反驳的技能。

4 结 语

科学知识的产生并非一蹴而就,而是需要科学

家经过长期的科学论证过程。科学知识的教育也应该采用反映科学本质的方式。教师在物理课堂中可以创设科学论证的问题情境,基于 CER 模型引导学生开展基于证据的、深入持续的科学论证活动。教师让学生知道可以从要素、结构、逻辑性等方面进行反思,发展自己的科学论证能力,提升物理学科核心素养。

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 年版 2020 年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020.
- [2] 教育部基础教育课程教材专家工作委员会. 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,2020:56.
- [3] Carla Zembal-Saul, Katherine L. McNeil, Kimber Hersherger. 科学论证怎么教[M]. 何燕玲,孙慧芳,译. 北京:科学教育出版社,2024:28.
- [4] 高中物理教科书编写组. 物理选择性必修(第二册)[M]. 上海:上海科学技术出版社,2023:59.
- [5] 陈颖,郭玉英. 高中物理科学论证能力表现评价框架的构建[J]. 中学物理教学参考,2017(11):12—15.
- [6] 郑颖,张军朋,张玉发. 高中生物理科学论证能力表现——基于 Rasch 模型的测试评价[J]. 物理教师,2019(1):2—6.
- [7] 许西伶,张正严. 基于图尔敏论证模型的物理教科书论证结构研究[J]. 中学物理,2023(19):21—26.
- [8] W. Thomas Griffith, Juliet W. Brosing. 物理学与生活(修订版)[M]. 秦克诚,译. 北京:电子工业出版社,2019:6.

(上接第 8 页)

$\cos\theta$, θ 为球面一点与球心连线与半径 OC 的夹角,如图 9 所示。下面证明球面内电场为匀强电场。

设球面半径为 R ,直径 BC 上某点 A 与 O 点距离为 l 。根据对称性, A 点的场强大小为

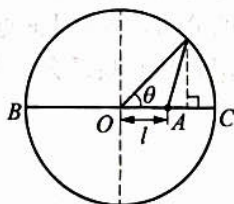


图 9 电荷余弦分布球面

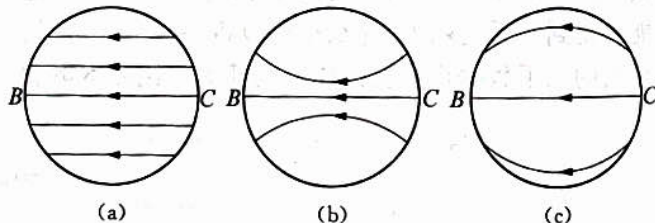


图 10

3 总 结

通过上面的讨论,巧妙使用电场线可以定性解决一些静电场问题,收到事半功倍的效果。但电场线的妙用一般只能对问题进行定性的分析,是定量计算的辅助技巧。

参考文献

- [1] 彭前程,黄恕伯. 物理(必修第三册)[M]. 北京:人民教育出版社,2019.
- [2] 梁灿彬,秦光戎,梁竹健. 电磁学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:57—59.
- [3] 张之翔. 电磁学千题解[M]. 北京:科学出版社,2018:48—49.

$$E = \int_0^\pi \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sigma 2\pi R^2 \sin\theta (R\cos\theta - l)}{(l^2 + R^2 - 2lR\cos\theta)^{3/2}} d\theta = -\frac{R}{3\epsilon_0}$$

方向为 CB 方向。 A 为直径 BC 上的任意一点,该点场强大小与 OA 的距离 l 无关,故直径 BC 上各点场强大小相等。根据对称性,场强方向水平向左。

球面内电场线可能有三种情况,如图 10 所示。因直径 BC 上各点场强大小相等,故只有图 10(a)符合,即球面内电场为匀强电场。

通过电场线的妙用,可以减轻积分的运算量,使得本问题的计算变得简单。