

CER-L框架支持A-Level物理主观题作答的案例研究

李萌萌

新东方国际教育事业部北京分中心, 北京

收稿日期: 2026年8月3日; 录用日期: 2026年8月12日; 发布日期: 2026年8月26日

摘要

文章关注在中国A-Level物理课堂中, CER-L框架对学生解释题作答的影响。CER-L框架包括结论陈述、证据使用、推理展开和科学语言准确性四个维度, 是帮助学生建立因果式作答的框架。研究选取三名A-Level物理学生作为个案进行分析, 比较其前测和后测解释题答案。结果显示, 三名学生后测总分均高于前测, 但提升方式存在差异。学生A在结论陈述和推理展开方面提升最多; 学生B在证据使用和推理展开方面有所改善, 但在波动主题中未建立稳定解释框架; 学生C的结论陈述提升明显, 但科学语言准确性下降。研究表明, CER-L框架能够为物理解释题提供有效的结构支架, 但不能替代具体概念理解和科学语言训练。教学中应将CER-L框架与学科因果链、范例对比、答案修改和分层支持结合使用。

关键词

A-Level物理, 解释题, CER框架, 科学语言准确性, CER-L框架

A Case Study of Using the CER-L Framework to Support Students' Responses to A-Level Physics Structured Questions

Mengmeng Li

Beijing Center, Global Education Office, New Oriental Education & Technology Group, Beijing

Received: August 3, 2026; accepted: August 12, 2026; published: August 26, 2026

Abstract

This study investigates the effects of the CER-L framework on students' responses to explanation questions in a Chinese A-Level Physics classroom. The CER-L framework consists of four dimensions:

文章引用: 李萌萌. CER-L 框架支持 A-Level 物理主观题作答的案例研究[J]. 国外英语考试教学与研究, 2026, 8(3): 99-110.
DOI: 10.12677/oetpr.2026.83013

Claim, Evidence, Reasoning, and Scientific Language Accuracy. It aims to help students construct complete explanations. This study selected three A-Level Physics students as individual cases and compared their pre-test and post-test responses to explanation questions. The results show that all three students achieved higher total scores in the post-test, but their dimensions of improvement are different. Student A showed clear improvement in Claim and Reasoning. Student B improved in Evidence and Reasoning, but still cannot clearly explain the topic of waves. Student C showed clear improvement in Claim, but declined in Scientific Language Accuracy. The findings suggest that the CER-L framework can provide an effective structural scaffold for physics explanation questions, but it cannot replace conceptual understanding or scientific language training. In teaching practice, the CER-L framework should be combined with subject-specific causal chains, comparison of examples, answer revision, and differentiated support.

Keywords

A-Level Physics, Explanation Question, CER Framework, Scientific Language Accuracy, CER-L Framework

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 常见问题

近些年，物理学科在国际考试中的评价愈发关注学生对于物理现象和背后原理解释能力。该趋势在国际 A-Level 考试(简称 IAL)中表现得尤为明显。如图 1 所示，以 2025 年冬为例，Pearson Edexcel 考试局四张卷子中的解释题占比(按总分数计)平均达到了 29%。而 CAIE 在 2025 年全年中，解释题占比平均达到 19%。

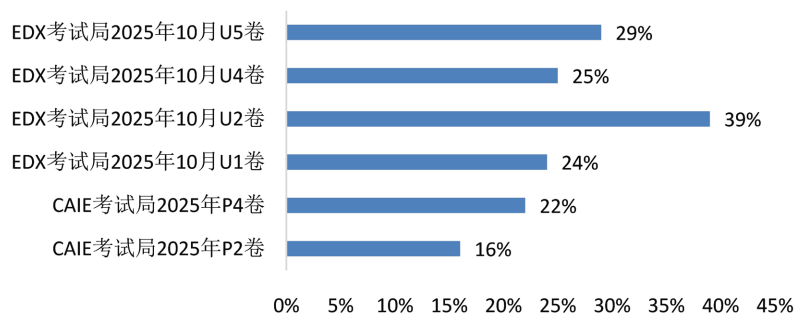


Figure 1. The proportion of explanation questions in CAIE 2025 examination papers and Edexcel 2025 winter examination papers

图 1. CAIE 考试局 2025 年考题中解释题占比以及 Edexcel 考试局 2025 年冬季考题中解释题占比

本文讨论的“解释题”是要求学生围绕某一物理过程，使用物理原理和证据，完成因果说明的题目，常见指令词包括 compare、explain、describe、suggest why、assess 和 discuss 等。这类题目不同于单纯的定义题，它更关注学生能否联结已学物理知识，组织逻辑自洽的论述，以解释特定情境中的物理现象。

然而根据考试局官方的 Examiner Report，解释题是考生们扣分较为严重的题型。比如在 CAIE 2023

年夏季考试中,对于全球范围内的 AS 学生来说,虽然电学部分的计算题大部分人可以成功回答,但是解释题得分率偏低。而 A2 阶段的学生在解释题上的表现甚至不如 AS 阶段。由于 A2 解释题更多、范围更广,学生在力场、热力学等考点的得分率均偏低[1]。同时,根据对本地学生真实考试成绩的得分率分析,在 CAIE 考试局的 P2 考卷中,考生平均因解释题失分的占比为 10%,而在 A2 的 P4 考卷中,该占比提升到 39%。

因此,探究使用恰当支架支持学生构建结构清晰、因果关系明确的物理解释,具有重要的教学意义。

1.2. 主观解释题的意义

IAL 中常见的主观解释题并非单纯为了给考试增加难度。根据美国国家理事会提出的 K-12 科学教育框架强调,任何学生对于科学的学习都应该在三个维度上进行整合:科学与工程上的实际应用、跨学科解释复杂现象以及学科核心概念[2]。因此,在学科学习中,学生不仅应当掌握学科事实和公式,更应掌握如何使用学科核心概念和科学实践结果来解释、论证。而 IAL 考试中的主观解释题恰恰体现了对这一核心素养的要求,学生往往需要根据题目条件、图像,自己构建物理模型,运用相关原理说明现象发生的原因。也有研究发现,讨论式探究比起传统的教师授课模式更能够促进学生对知识的加工,对于学生学习学科内容起到积极作用,因为科学观点的形成依赖于批判和论证[3]。

2. 理论框架和文献综述

2.1. A-Level 中主观解释题的评价要求

以本地比较主流的 CAIE 和 Edexcel 考试局为例,IAL 对学生的要求不仅是回顾物理知识点和公式,也需要在具体场景中解释、应用、分析和评价物理概念。两个考试局的考纲,也均要求学生能够掌握科学术语、科学规范以及基本科学知识点和概念[4][5]。

CAIE 的 AO2 和 Edexcel 的评价概要中都要求学生能够理解新情境、解决问题,并且对现象、规律和关系做出有理由的解释。另外,从指令词要求来看,CAIE 在指示词 *explain* 中做出的解释为:阐明目的或者利用、通过证据揭示事物间的关系,提供原因和(或)方式并辅以相关证据,而 Edexcel 的要求也类似[4][5]。

综上所述,IAL 对于主观解释题的要求是:学生要将物理知识应用于延伸场景,展示因果解释链,在证据的基础上进行推理,然后以连贯规范的科学术语进行表达。

2.2. CER 理论来源

在如何支持学生完成解释题答题方法的建立方面,本文参考了 McNeill 与 Krajcik 提出的 CER 框架[6]。该框架吸收了文献中 Toulmin 的主张,并在其基础上进行了关于科学学习的改进[7]。McNeill 和 Krajcik 所提出的 CER 由 *claim*、*evidence* 和 *reasoning* 三个部分构成。其中 *claim* 指的是一个用来回答原本问题的观点或结论,*evidence* 是一些充分必要的可以支持观点的科学数据,比如题干信息和相关物理证据,而 *reasoning* 是数据和结论之间的支持性解释,通常包含了适用的科学原理。McNeil 在多次实验中收集到的结果都表明这一框架在学科教育中是适用的,可以提升学生在科学解释方面的能力。本文参考了 CER 框架和相关文献中的实操方法(见表 1)。

鉴于 IAL 同属学科教学,CER 框架理应适用于该情境。因此,本文着重探讨在中国教育背景下,如何面向 IAL 学习者引入 CER 框架及其具体教学策略。然而,中国学生在科学解释题作答中面临的另一难点在于如何运用规范的英语进行学科内容表达。基于此,在原本的 CER 框架基础之上,本文增加了一个维度——科学语言准确性(Scientific Language Accuracy)。

Table 1. Analysis of research participants and findings in studies on the CER framework in references [6] [8]-[10]
表 1. 文献[6] [8]-[10]中关于 CER 框架的研究对象和结果分析

文献名称	年份	研究对象	采取措施	前测 - 后测水平提升程度
Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials	2006	七年级学生 项目式化学单元学习	显性教授科学解释框架 CER	学生在结论陈述、证据使用和推理展开三个维度均表现出明显提升[8]。
Supporting students' construction of scientific explanations through generic versus context-specific written scaffolds	2006	中学生科学解释写作	比较通用型支架和情景特定型支架	两类支架均促进了学生表现 通用型支架有助于学生迁移 CER 框架，情景特定型支架有助于当前任务[9]。
Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning	2008	中学科学课堂	分析教师如何使用定义、示范、反馈和讨论来支持基于 CER 框架的科学解释	教师越明确解释 CER 要素，学生提升越明显[6]。
Teachers' use of curriculum to support students in writing scientific arguments to explain phenomena	2009	实用课程材料 进行科学解释教学的课堂	教师直接使用课程设计中 的解释支架	不同教师实施方式不同，学生提升效果也不同[10]。

2.3. 科学语言准确性

科学语言准确性维度的定义为：学生能否使用恰当的英文物理术语与科学表达传递明确的物理意义。本维度不过多关注一般英语语法，若有轻微语法错误但不影响理解，在此维度不会严重扣分。

科学语言不同于日常语言，而是需要按照科学领域广泛认可的方式进行语言组织，联系不同科学概念、证据和关系[11]。而学科语言具有抽象性、名词化、高信息密度的特点，同时重视因果逻辑、分类和定义[12]。对于学生，尤其是学习 IAL 的中国学生来说尤其困难。因此，本文将使用 CER + 科学语言准确性框架(下称 CER-L)进行研究。考虑到在中国授课的语言环境，该框架的对应中英文如表 2 所示：

Table 2. Chinese-English terms and core assessment criteria of the CER-L framework
表 2. CER-L 框架各维度的中英文对照以及核心判断标准

英文	对应中文翻译	核心判断标准
Claim	结论陈述	学生是否明确、准确地回答了问题
Evidence	证据使用	学生是否使用了相关且充分的物理证据
Reasoning	推理展开	学生是否清晰地使用物理原理解释了证据如何支持结论
Coherence	科学语言准确性	学生是否使用了正确的学科术语

教师不能默认使用科学语言是学生与生俱来的能力。学生必须通过教师学会：学科专有名词、因果表达、比较表达、条件表达、证据表达、解释性表达。如果不能掌握这些表达方式，即使他们理解部分概念，也无法清晰用文字表达[13]。因此在讲解知识点和 CER 框架的同时，也需要逐步加入常见的英文表达的练习，即科学语言表达的练习。

2.4. 支架教学法在一对一教学中的应用

根据维果斯基的最近发展区理论，学生可以在教师或同伴支持的情况下完成高于其独立水平的任务，从而逐步提升学生独立完成任务的水平[14]。而在一对一教学环境下，只能通过教师支持来逐步提升学生独立完成任务的水平。Wood、Bruner 和 Ross 提出的支架式教学就是一个非常有效的方法，让学生们从

“能在教师指导下完成任务”发展为“能独立完成任务”[15]。因此,本研究将使用混合支架辅助学生从“能够在帮助下部分完成解释题”过渡到“能够独立完成解释题”。

3. 研究设计

3.1. 研究方法

本研究采用多个案例分析结合的方法。研究目的并非进行大样本统计推广,而是通过对笔者的三位一对一 A-Level 物理学生的持续观察,分析 CER-L 框架对主观解释题作答质量的影响。

3.2. 研究对象和情景

本研究选取了三名初始答题能力处于同基线的中国 IAL 物理学生(见表 3)。前测数据显示,三人的总分均在 5~7 范围内,共同表现出“依赖独立关键词、缺乏因果推理链”的特点。选取同基线样本,目的是控制初始能力变量,来观察不同干预条件下学生解释能力的发展轨迹。

Table 3. Basic information and pre-test performance of the students in case study

表 3. 案例分析中学生基本情况以及前测水平

学生	前测水平	阶段	考试局	干预时长
A	6.8	A2 总复习	CIE	3 个月
B	5.3	AS 总复习	CIE	1 个月
C	5.2	AS 新授课	CIE	1 节课

3.3. 教学干预设计

本文的教学干预围绕 CER-L 框架展开,主要分为四个阶段。

Table 4. The four stages of teaching intervention design

表 4. 教学干预设计的 4 个阶段

阶段	教学内容	教学目的
(1) 前测	学生独立完成解释题	辨别学生的原始问题
(2) 显性教学	显性教授 CER-L 框架	让学生建立 CER-L 框架
(3) 支架练习	通过通用支架和学科支架辅助学生完成练习	促进学生的答题规范化发展
(4) 后测	撤除支架,让学生独立答题	检验教学成果

如表 4 所示,在练习阶段,教师会提供通用型支架和学科支架。通用型支架关注英语语法与常用句型,而学科支架围绕物理知识点,主要强调物理量及其影响因素。

由于本研究是嵌入在真实教学中的行动研究,前后测题目并非完全等值的标准化试卷,而是根据教学大纲推进的真实考题。这导致不同学生面临的物理主题是不一样的。这种设计虽然在变量控制上存在局限,但是也提供了极高的生态效度,使研究者能够观察 CER-L 框架在不同物理主题中的适用性差异。

3.4. 数据收集

本研究的数据主要包括五类:学生前测答案、课堂练习答案、修改稿、后测答案、教师观察记录。

使用 CER-L 量规辅助打分,该量规参考了 McNeill 和 Krajcik 提出的 CER 量规,并增加了科学语言准确性维度,每个维度按照 0~3 分进行评分,总分共 12 分[6]。得分越高,说明学生在某一维度或总体解

释中表现越好，具体量规见表 5。评分阶段每份解释题将分别由 3 位 IAL 物理教师盲评并取平均数，以确保实验数据公平。

3.5. 数据分析方法

数据分析分为定量描述和质性文本分析两个方面。首先，依据 CER-L 量规对学生的前测和后测答案进行评分。其次，对学生典型答案进行文本分析。最后，分析同基线学生在支架支持下变化的相同点和区别。

Table 5. Rubric for CER-L framework
表 5. CER-L 框架量规

维度	3 分：优秀	2 分：基本达标	1 分：初步达标	0 分：维度缺失
Claim	结论明确且准确，完整回答了题目要求，如变量的变化、方向等	结论基本正确，但表达不够完整准确	有得出结论的尝试，但是模糊不准确，或者只暗示了结论	无明确结论或结论错误
Evidence	使用了与结论高度相关且充分的信息作为证据，如数据、图像趋势等	使用了相关证据但不充分	提到一些信息，但是和结论相关性弱、过于宽泛或不准确	没有使用证据或使用了无关、错误证据
Reasoning	能准确运用物理概念，清楚解释证据如何支持结论	使用了相关物理原理，但是解释不够充分，或存在轻微跳步	有简单解释，但是缺少关键物理原理，或证据与结论之间关联性弱，或存在明显跳步	无推理或推理错误
Language	物理术语准确，英文科学表达清楚，可能有少量语法或拼写错误但不影响物理意义	术语基本准确，英文表达基本清晰，有一些语言小错误，但是不影响物理意义理解	存在明显的术语或表达问题，部分影响物理意义，需要教师推断学生意思	关键物理术语严重混淆或混乱，导致物理意义错误或难以理解

4. 结果

4.1. 前后测整体结果

表 6 和表 7 呈现了三名学生从前测到后测的分数变化：

Table 6. Total score and changes of pre-test and post-test of three students
表 6. 三名学生前测和后测的总分以及变化

学生编号	前测	后测	变化量
A	6.8	10.2	+3.4
B	5.3	7.8	+2.5
C	5.2	6.8	+1.7

Table 7. Score and changes in 4 dimensions of the three students
表 7. 三名学生 4 个维度的分数以及变化

学生编号	结论陈述变化	证据使用变化	推理展开变化	科学语言准确性变化
A	1.5	0.3	1	0.5
B	-0.2	1	1.2	0.5
C	1.3	0.5	0.5	-0.7

结果显示, 三名学生的总分均有所提升, 物理解释题作答质量均出现正向变化。但需指出的是, 三名学生的提升幅度和提升性质并不完全相同。学生 A 接受干预时间最长, 其后测提升最明显; 学生 B 总分虽然有所提高, 但其在波相关解释题上的进步比较有限; 学生 C 的提升幅度也比较大, 但是其前后测题目主要集中在自由落体加速度变化这一单一主题上。考虑到这些因素, 本研究将上述结果视为课堂行动研究中的描述性证据。

4.2. 学生 A 个案分析

前测中, 学生 A 已经能够使用部分相关术语, 但是答案多停留在罗列关键词层面。例如, 在解释弹簧长度变化的题目中, 学生写道: “The tension provide centripetal force because the sphere do circular motion.” 该答案提到了关键词, 但是没有进一步说明拉力的分力与重力、向心力的关系等, 答案结论不足, 推理链也不完整。

后测中, 学生 A 的答案体现出更加清晰的因果结果。比如, 在解释理想气体内能时, 学生提到: “In ideal gas, molecular potential energy is zero. So internal energy equal to total molecular kinetic energy.” 答案中虽然存在冠词和表达搭配等问题, 但是能够建立“分子势能为零”所以“内能等于分子总动能”的物理联系。在 PET scanning 的题目中, 学生也能够将湮灭前因后果解释清楚。

总体来看, 学生 A 能够在高度多样化且包含抽象概念的主题中稳定完成解释, 这结果表明, 较长时间的 CER-L 训练可能有助于学生从关键词式作答转向结构化解释, 从而形成一种可迁移的认知结构。

4.3. 学生 B 个案分析

从四个维度来看, 学生 B 的提升主要集中在证据使用和推理展开方面, 而结论陈述反而下降 0.2 分, 说明学生 B 的整体提升并非是均衡的。

前测中, 学生 B 能够给出和题目相关的结论, 但答案较为简略。例如, 解释在干涉章节中亮纹如何形成时, 学生写到 “constructive interference happens.” 该答案能够大致上指出正确结论, 但是没有说明该点波程差、相位差的特点等。在不确定度解释的题目中, 也只给出了结果性判断, 没有给出定量的依据。因此, 学生 B 在前测中的主要问题是缺少证据支持和推理过程。

后测中, 在解释浮力产生的题目中, 学生能够提到物体上下表面的压强差, 虽然表述过程中存在一些语法问题, 但是关键物理依据是完整且相关的, 在这类题目中学生已经能够从“单纯给结论”转向“使用物理条件进行解释”。

然而, 学生 B 在波动主题中的进展是有限的。后测中遇到和前测类似的解释亮暗条纹的题目, 学生仍然写道: “constructive interference happens and bright fringes form” 等, 这个答案停留在“同义反复”层面。

总体来说, 学生 B 的结果显示, CER-L 框架的促进作用在较直观的场景中较为明显。中等时长的干预可能帮助学生开始补充证据和推理, 但是尚不足以在抽象主题中形成完整的解释结构, 因此当物理主题高度抽象且不可见时, 中短期的 CER-L 框架干预可能难以奏效。

4.4. 学生 C 个案分析

学生 C 的总分是提升幅度最小的。从维度变化看, 结论陈述是提升最明显的维度, 证据使用和推理展开均小幅度提升, 而科学语言准确性下降了 0.7 分。

前测中, 学生 C 能够识别部分与自由落体相关的物理信息, 但表达和推理均较不稳定。例如, 在描述速度-时间图像时, 学生写道: “速度下降, 斜率下降所以逐渐变到了匀速直线运动”。该答案为中文作答, 而且没有关注斜率和加速度的关系。同样地, 学生在解释初始加速度时, 提到了 “ignore air

resistance”和“物体受到重力”，说明他能够识别“初始阶段可以忽略阻力”(虽然他不知道为什么)这一关键条件，但没有进一步说明合力和重力的关系等。因此，学生 C 在前测中的主要问题是能够写出零散信息，但难以形成完整的力学因果链。

后测中，学生 C 的结论陈述有显著改善。例如在解释加速增加时加速度为何减小，学生提到：“speed increases, leading to air resistance increases. So acceleration decreases.”该答案虽然没有提到合力的特点，推理稍有跳跃，但是能够抓住力影响加速度的主要趋势。

在这个案例中，更需要注意的是，在关于终端速度的题目中，学生写道：“acceleration equals air resistance”这一表达不是简单的语法问题，而是物理量关系错误。加速度和空气阻力属于不同物理量，二者不能相等。这一错误说明学生 C 可能记住了“终端速度到达时，加速度为零”这一结论，但是对于重力、空气阻力和加速度等概念之间的关系仍然没有形成可迁移性的理解。因此在进行描述时，学生 C 可能只是在背诵模仿前序解释题的答案而非真正使用对物理知识点的理解完成逻辑推理。

所以总体来看，由于前后测题目都集中在自由落体和空气阻力这一单一主题上，学生 C 的提升应谨慎解释。学生 C 的后测表现更接近于常见因果链的表层模仿，而不是稳定的概念理解和解释能力内化。

4.5. 小结

综上，三名学生的后测总分均高于前测，但是提升方式存在明显差异，说明 CER-L 框架对学生解释题作答具有一定支持作用，但不同学生在不同维度上的发展并不均衡。

5. 讨论

5.1. CER-L 框架对解释结构的促进作用

从整体结果来看，CER-L 框架可能对学生解释题作答产生了积极影响，特别是推理展开维度上，三名学生均有提升。

但是结果也显示，CER-L 框架的作用主要体现在解释结构上，它不能自动让学生的所有维度得到提升，比如学生的科学语言准确性提升都相对较少，因此教师不能将 CER-L 框架视为同时解决所有问题的万用工具。

5.2. 不同学生的不同发展轨迹

本研究的三名学生的发展轨迹出现了明显差异，这说明即使学生初始解释能力相近，干预后的变化仍可能因为干预时长、题目主题等不同而出现不同分化。

学生 A 的变化最接近“结构内化”。其面临的题目涉及物理 A2 的诸多方面，但是仍能够比较稳定地使用相关术语并展开解释。这说明较长时间的训练可能有助于学生将 CER-L 结构迁移至不同物理情境中。

相比之下，学生 B 的提升具有明显的局限性，其虽然开始使用证据和推理，但尚未形成稳定的作答结构，这个局限性在波的章节中尤为突出。

学生 C 的问题更加明显，由于新授课中能够使用的练习题的范围较窄，他的进步更可能反映其对熟悉题型中的常见结论的掌握而不是解释能力的提升。

因此，CER-L 框架虽然能够为学生提供作答结构的支持，但是学生能否真正内化该结构，仍然取决于练习次数、反馈质量和具体理解程度。

5.3. 物理概念的抽象程度对解释质量的影响

物理主题本身的抽象程度会影响 CER-L 框架的效果。CER-L 框架只能帮助学生组织已经理解的内

容，不能代替概念建构。比如：波动主题中的波程差、相位差等概念具有较高抽象性，学生难以通过日常经验直接理解。如果学生没有建立起对应的物理模型，那么即使使用了 CER-L 框架，也难以组织高质量解释。

因此，在波动、电磁感应、量子物理等高度抽象的章节中，教师不能仅仅教授学生 CER-L 框架，还需要花费更多的时间在解释题中帮助学生建立清晰的物理机制模型。例如，在解释亮暗纹时训练学生对因果链的掌握：波程差导致相位差，相位差决定相长/相消干涉，干涉类型决定振幅，振幅决定强度等。

5.4. 单一题型训练中的虚假提升

学生 C 的结果提示，短期且单一主题训练可能导致表面的提升，这种提升并不一定代表解释能力真正内化。比如，学生 C 的前后测题目都集中在自由落体、空气阻力相关内容上，因此结论陈述得分明显提高。但学生 C 混淆加速度与阻力的错误说明，其提升更接近于对常见因果链的表层模仿，而不是完整概念结构的形成。

这警示我们，教师经常会通过重复同类题来帮助学生提高解释题得分，这种方法确实可以帮助学生熟悉常见表述，但也可能掩盖学生的概念混淆。在日常授课中，教师应当更多地收集学生的表现证据，比如在课堂中，学生能够顺利写出关键词还不够，教师需要进一步检查学生对于物理量关系的理解，才可能发现学生的深层理解问题。

5.5. 对 A-Level 物理教学的启示

综上，CER-L 框架能够帮助学生改善解释题的结构，尤其在结论陈述和推理展开方面；该框架的效果受到干预时长、主题抽象程度和学生概念理解水平的限制，不能够代替具体物理概念的教学，但可以作为一种解释结构支架。

在课堂中，首先，教师需要显性教授解释题结构。许多学生在解释题中失分，并不是因为完全不知道物理概念，而是因为无法组织答案。CER-L 框架可以帮助学生明确一份解释题答案应包含结论、证据和推理三个基本部分，促使其把答案从“写出相关词”转向“说明因果关系”。

其次，教师应将 CER-L 框架与具体物理机制教学结合。如果学生对主题概念理解不足，CER-L 框架只能带来术语堆叠，而不能自动生成深层解释。因此，在讲解 CER-L 框架之前，教师应当先检测学生对于物理知识的掌握程度，确保学生有足够的基础来完成解释题逻辑分析。

最后，科学语言准确性需要作为独立训练目标。在英语授课或双语环境下，学生不仅要理解物理概念，还要能够用准确的英文科学表达呈现这些关系。教师可提供固定表达支架，引导学生先依托支架完成部分解释，再逐步撤除，最终自主建构逻辑链并完成语言输出。

5.6. 局限性

本研究仍存在三个问题：

第一，样本数量过少，难以验证理论普适性，因此后续研究应当扩大研究样本，分析多名老师不同阶段的大量学生，来测试 CER-L 框架的普适性。

第二，三名学生的前后测题目并非完全等值，受限于学生数量和课程阶段，一对一课程中进度完全一致的学生较少，今后在大样本的基础上应当将学生按照不同阶段分类进行分别研究。

第三，虽然本研究使用三名教师评分以提高评分可靠性，但评分标准本身仍可能受到教师理解差异的影响。尤其是“科学语言准确性”这一维度，需要进一步明确其评分边界，即它评价的不是一般英语语法，而是学生能否准确使用物理术语并表达物理量之间的关系。

6. 教学策略

6.1. 显化介绍 CER-L 框架

教师应当先说明高质量解答应当包含四个维度的内容，在课堂中可以改成一些操作性的语言，比如：先下结论、再找依据、相关原理、注意顺序。

6.2. 支架化内容：结合通用型框架与学科框架

通用型支架能够帮助学生了解答案结构，而学科支架主要梳理具体物理情境中的变量和因果机制，建立“目标物理量、印象因素、公式关系、因果链”流程的分析思路。

6.3. 范例对比和答案修改

教师可以通过范例对比的方式暴露学生问题，相比于直接展示、背诵答案，弱解释和强解释的对比更能够暴露学生常见问题。通过这种方法，学生可以尝试自己标注范例中的四个维度，随后根据量规修改答案，从而逐步内化解释题的评价标准。

6.4. 分层支持

教学策略仍然应当根据学生基础进行个性化教学。对于物理水平较高的学生，教师应当减少支架的使用，通过追问让学生补全物理机制；而对于中等层次的学生，教师应当侧重于使用 CER-L 量规和物理量影响因素等支架，将学生脑中零散的知识点组织形成因果链；对于物理基础比较薄弱或者英文相对较差的学生，则需要保留更多的句型、关键词等支架，促使他们先熟悉基本的解释结构，再逐步提高推理过程的准确性。

7. 结论

通过对三位学生前测、后测数据的分析，研究发现本框架在主观解释题教学中具有积极作用，能够帮助学生改善答案的完整性和逻辑连贯性。

然而，三名学生的提升路径并不一致，分别说明持续训练和反馈可能有助于学生内化解释结构，但不能代替具体概念理解，而短期单一的主题训练可能带来表层提升，不一定能带来稳定的概念理解。

因此本研究认为，CER-L 框架可以作为物理解释题教学的支架，但不能简单理解为固定答题模板。教学中应将解释题结构与物理机制结合，通过多种教学手段帮助学生发展机制化解释，并将科学语言准确性视为独立的教学目标。

总体来看，CER-L 框架的价值在于帮助学生理解和改进物理解释题的结构，但解释能力的真正发展仍需要概念理解、科学语言表达和持续反馈的共同支持。

致 谢

感谢 McNeill 教授及其团队关于 CER 框架的相关研究。其研究为本文构建 CER-L 框架提供了重要的理论启发。

感谢公司为我提供赴英国学习的机会，此次学习经历拓宽了我对科学教育、课堂研究和教师专业发展的理解，也为本研究提供了重要支持。

感谢参与本研究评分工作的各位教师，以及在本研究过程中给予支持和帮助的同事与学生。

参考文献

- [1] Cambridge Assessment International Education (2024) Cambridge International AS & A Level Physics 9702: Principal

-
- Examiner Report for Teachers, June 2024. Cambridge University Press & Assessment.
<https://www.cambridgeinternational.org/Images/567861-june-2024-examiner-report.pdf>
- [2] National Research Council (2012) A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. National Academies Press.
 - [3] Osborne, J. (2010) Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, **328**, 463-466.
<https://doi.org/10.1126/science.1183944>
 - [4] Cambridge Assessment International Education (2022) Cambridge International AS & A Level Physics 9702 Syllabus for 2025, 2026 and 2027. Cambridge University Press & Assessment.
<https://www.cambridgeinternational.org/programmes-and-qualifications/cambridge-international-as-and-a-level-physics-9702/>
 - [5] Pearson Education Limited (2021) Pearson Edexcel International Advanced Level Physics Specification: International Advanced Subsidiary in Physics (XPH11) and International Advanced Level in Physics (YPH11) (Issue 3). Pearson Education Limited.
https://qualifications.pearson.com/content/dam/pdf/International%20Advanced%20Level/Physics/2018/Specification%20and%20Sample%20Assessment/9781446957783_IAL_Physics_Iss3.pdf
 - [6] McNeill, K.L. and Krajcik, J. (2008) Scientific Explanations: Characterizing and Evaluating the Effects of Teachers' Instructional Practices on Student Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, **45**, 53-78.
<https://doi.org/10.1002/tea.20201>
 - [7] Toulmin, S.E. (1958) The Uses of Argument. Cambridge University Press.
 - [8] McNeill, K.L., Lizotte, D.J., Krajcik, J. and Marx, R.W. (2006) Supporting Students' Construction of Scientific Explanations by Fading Scaffolds in Instructional Materials. *Journal of the Learning Sciences*, **15**, 153-191.
https://doi.org/10.1207/s15327809jls1502_1
 - [9] McNeill, K.L. and Krajcik, J. (2006) Supporting Students' Construction of Scientific Explanations through Generic versus Context-Specific Written Scaffolds. *The Annual Meeting of the American Educational Research Association*, San Francisco, 7-11 April 2006.
 - [10] McNeill, K.L. (2009) Teachers' Use of Curriculum to Support Students in Writing Scientific Arguments to Explain Phenomena. *Science Education*, **93**, 233-268. <https://doi.org/10.1002/sce.20294>
 - [11] Lemke, J.L. (1990) Talking Science: Language, Learning, and Values. Ablex Publishing.
 - [12] Halliday, M.A.K. and Martin, J.R. (1993) Writing Science: Literacy and Discursive Power. Falmer Press.
 - [13] Wellington, J. and Osborne, J. (2001) Language and Literacy in Science Education. Open University Press.
 - [14] Vygotsky, L.S. (1978) Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press.
 - [15] Wood, D., Bruner, J.S. and Ross, G. (1976) The Role of Tutoring in Problem Solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, **17**, 89-100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>

附录：原始评分数据

Table S1. Raw marks for 4 dimensions in CER-L framework
附表 1. CER-L 框架 4 个维度的原始评分

		Claim	Evidence	Reasoning	Language
学生 A 数据	前测总分	1.2	1.7	1.0	3.0
	后测总分	2.7	2.0	2.0	3.5
学生 B 数据	前测总分	1.7	0.3	0.5	2.8
	后测总分	1.5	1.3	1.7	3.3
学生 C 数据	前测总分	1.0	1.2	1.0	2.0
	后测总分	2.3	1.7	1.5	1.3

Table S2. Raw marks from three individual IAL physics teachers
附表 2. 3 位 IAL 物理老师的初始评分

		教师 A				教师 B				教师 C			
		Claim	Evidence	Reasoning	Language	Claim	Evidence	Reasoning	Language	Claim	Evidence	Reasoning	Language
学生 A 数据	前测分	1	1.5	0.5	3	1.5	2	1	3	1	1.5	1.5	3
	后测分	2.5	2	2	3	3	2	2	4	2.5	2	2	3.5
学生 B 数据	前测分	1.5	0.5	0.5	3	2	0.5	0	2	1.5	0	1	3.5
	后测分	1.5	1	2	3	1	1.5	1	3	2	1.5	2	4
学生 C 数据	前测分	1	1	1	3	0.5	1	1	2	1.5	1.5	1	1
	后测分	2	1.5	1.5	0.5	2.5	1.5	1.5	2	2.5	2	1.5	1.5