

基于CER论证模型的跨学科教学设计 ——以“细胞膜的组成与结构”的探究为例

蔡惹里, 原巾焯, 余香树

北京师范大学珠海校区未来教育学院, 广东 珠海

收稿日期: 2026年6月8日; 录用日期: 2026年7月9日; 发布日期: 2026年7月16日

摘 要

设置四轮层层递进的CER论证探究活动, 依次引导学生通过证据推理论证细胞膜的脂质成分、磷脂在水环境中的排布规律、细胞膜中蛋白质与糖类的存在形式, 并通过深度质疑推翻静态三明治模型, 逐步建构并完善细胞膜流动镶嵌模型。学生基于CER论证模式不断论证、质疑观点, 深化学生对细胞膜结构探索历程及核心结构的认知, 有效锻炼学生的证据推理与模型建构能力。教学过程整合物质的物理化学性质、科学史实证逻辑等跨学科知识, 学生在学习过程中结构化、立体化理解知识。

关键词

CER论证模型, 跨学科教学, 高中生物, 细胞膜

Interdisciplinary Teaching Design Based on the CER Argumentation Model

—A Case Study of Exploring the “Composition and Structure of the Cell Membrane”

Reli Cai, Jinzhuo Yuan, Xiangshu Yu

College of Future Education, Beijing Normal University Zhuhai Campus, Zhuhai Guangdong

Received: June 8, 2026; accepted: July 9, 2026; published: July 16, 2026

Abstract

Four progressively designed rounds of CER (Claim-Evidence-Reasoning) argumentation activities are implemented to guide students step by step in using evidence and reasoning to demonstrate the lipid composition of cell membranes, the arrangement pattern of phospholipids in an aqueous

environment, and the existence forms of proteins and carbohydrates in cell membranes. Through in-depth questioning, students overturn the static sandwich model and gradually construct and refine the fluid mosaic model of the cell membrane. By continuously engaging in argumentation and critical questioning within the CER framework, students deepen their understanding of the historical exploration and core structure of cell membranes, while effectively developing their evidence-based reasoning and model-building abilities. The teaching process integrates interdisciplinary knowledge, including physicochemical properties of substances and empirical logic from the history of science, enabling students to acquire a structured and multidimensional understanding of the subject.

Keywords

CER Argumentation Model, Interdisciplinary Teaching, High School Biology, Cell Membrane

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

CER 论证模型由主张、证据、推理三要素构成，主张是对科学问题的暂时性结论性陈述，需明确且具备动态发展性，证据分为理论证据、事实证据、实验证据三类，是支持或反驳主张的科学依据，为论证提供可靠支撑，而推理是建立主张与证据间内在逻辑关系的关键环节，学生需基于科学原理与证据完成逻辑判断，以实现完整的科学论证[1]。2017 版《普通高中生物学课程标准》指出，科学思维是理论和证据相互协调的过程。学生在获取新知识的过程中由于已有理论不够完善，通过新的证据来检验和完善已有理论，获取新知识。发展学生的科学思维是学校教育和科学教育的关注重点，一种行之有效的策略是通过论证或者科学论证，来发展学生的论证技能，并促进他们科学思维的发展。同时，高中生物教材注重跨学科知识体系构建，教师应梳理不同学科知识之间的相关性，让学生对生物学科知识产生更深刻的印象，使认知体系呈现出结构化、立体化[2]。本文以人教版高中生物学必修一《分子与细胞》的第三章第 1 节部分内容“细胞膜成分与结构的探索”为例，探讨基于 CER 论证模型的跨学科教学设计与实践。

2. 教学背景分析

2.1. 教学内容分析

“细胞膜成分与结构的探索”隶属人教版高中生物学必修一《分子与细胞》，根据《普通高中生物学课程标准(2017 年版 2020 年修订)》，教师需要引导学生构建大概念“细胞是生物体结构与生命活动的基本单位”；要求通过细胞膜的研究资料、分析细胞膜的分子组成、结构特点，重点发展“科学探究”和“科学探究”两大核心素养。

《分子与细胞》的主要内容是细胞的分子组成、细胞的结构、细胞的代谢、细胞的增殖以及细胞的分化、衰老和死亡等。课本前两章聚焦概念“细胞是生物体结构与生命活动的基本单位”和细胞的物质基础。前两章为第三章铺垫基础知识，第三章是前面内容的核心延伸。本次授课的第三章部分内容“细胞膜的成分与结构的探索”就是通过实验证据和逻辑推理，理解细胞膜的组成成分和结构特点，为《分子与细胞》想要传递的“细胞是生命活动的基本单位”这一核心大概念的构建提供关键支撑，也为必修二《遗传与进化》做铺垫细胞膜的成分与结构是受精作用、细胞融合技术、细胞减数分裂等的基础。

2.2. 教学重难点分析

1) 基于 CER 论证模型的理论分析

基于 CER 论证模式的教学,契合学生概念建构的认知规律,既能促进学生对生物学概念的深层理解,又能同步提升其论证能力,成为衔接概念掌握与核心素养发展的有效路径。

《细胞膜成分与结构的探索》中,细胞膜成分探索和结构探索都符合“主张-证据-推理论证”的逻辑。前者是后者的基础。在细胞膜的成分探索中,主张(Claim)是细胞膜的主要成分是脂质和蛋白质,其中脂质中磷脂的含量最高;细胞膜含有少量的糖类,糖类通常与蛋白质结合形成糖蛋白,或与脂质结合形成糖脂。证据(Evidence)是欧文顿的渗透实验、哺乳动物成熟红细胞的细胞膜提取实验、细胞膜成分的化学分析、磷脂的分离与鉴定。推理论证(Reasoning)如下:由欧文顿实验可推理得出“细胞膜的组成成分中必然含有脂质”。通过哺乳动物成熟红细胞提取到纯净细胞膜保障了成分鉴定的准确性。化学分析结果直接证明了细胞膜中含有脂质、蛋白质和少量糖类,且通过进一步分离鉴定,确定脂质中磷脂占比最高。

在细胞膜的结构探索中,主张(Claim)是细胞膜的基本支架是磷脂双分子层,磷脂分子以“头部朝向细胞膜内外两侧、尾部相对朝向细胞膜内部”的方式排列;蛋白质分子在细胞膜上的分布具有多样性,主要有镶嵌、贯穿、覆盖三种方式,部分蛋白质与糖类结合形成糖蛋白;细胞膜的结构模型为流动镶嵌模型。证据(Evidence)是戈特和格伦德尔的实验、罗伯特森的电镜观察、人鼠细胞融合的荧光标记实验、后续的冷冻蚀刻实验、流动镶嵌模型。推理论证(Reasoning)过程如下:由戈特和格伦德尔的实验可推理得出“细胞膜中的磷脂分子必然是排列成双层结构(即磷脂双分子层),这是细胞膜的基本支架”。结合磷脂分子“头部亲水、尾部疏水”的结构特点,进一步推理得出磷脂双分子层的排布方式。罗伯特森的电镜观察结果“暗-亮-暗三层结构”,结合化学分析已知的细胞膜成分,可推理得出“两侧的暗层是蛋白质分子,中间的亮层是磷脂双分子层”,初步提出“蛋白质-脂质-蛋白质”的三层静态模型,但该模型无法解释细胞膜的动态功能。人鼠细胞融合的荧光标记实验直接证明了细胞膜上的蛋白质分子具有流动性;结合磷脂分子的化学特性(尾部疏水相互作用较弱),可推理得出磷脂分子也能侧向自由移动,证明细胞膜具有一定的流动性。冷冻蚀刻实验进一步观察到蛋白质在磷脂双分子层上的具体分布;桑格和尼克森整合所有实验证据,提出流动镶嵌模型,最终确立为细胞膜的经典结构模型。

2) 学情分析

本次教学对象为高一年级的学生,首先,学生通过初中以及高一前阶段生物课程的训练,已经初步形成基本的“观点+证据”的科学思维和表达模式,但尚未形成科学严谨的论证思维习惯以及在交流观点时面临表达逻辑混乱等情况;其次,高中阶段的学生有着强烈的求知欲和表达欲;另外,在知识储备上,学生在初中生物中已经初步认识到细胞是生物体结构和功能的基本单位,知道动植物细胞都具有细胞膜这一基本结构,也了解细胞有细胞核、细胞质等基本结构,但对细胞膜具体由哪些物质组成、结构是什么样、科学家是如何一步步探索发现完全陌生;同时高一学生已经刚学过组成细胞的蛋白质、脂质、糖类等有机物基础知识,为理解细胞膜的物质成分奠定了必修一前置知识基础,但缺乏物质结构与细胞结构相联系的思维;最后,学生高中物理已初步接触物质扩散、分子运动相关知识,能够理解物质跨膜移动的微观运动逻辑;化学学科已学习分子、原子、有机物分子的基本特性,了解脂质、蛋白质的分子性质,可辅助理解细胞膜磷脂分子排布、蛋白质镶嵌分布的结构特点,为理解细胞膜结构模型的构建提供了跨学科思维支撑。

3. 教学目标

① 参与细胞膜成分与结构探索的论证过程,通过结合实验证据与逻辑推理,理解细胞膜主要是由脂质、蛋白质和少量糖类组成,理解流动镶嵌模型。

- ② 在细胞膜成分与结构探索的过程中，能梳理关键实验证据，明确实验现象与实验结论之间的逻辑关系，能基于证据提出合理观点，反驳不合理假设。
- ③ 通过对不同科学家探索实验的论证分析，概括科学发现的一般规律，理解科学理论从假说提出、证据验证到不断完善的发展过程。
- ④ 准确描述细胞膜流动镶嵌模型的核心内容，明确模型中各组成成分的位置和特点，理解模型在生物学研究中的表达作用。

4. 教学活动设计

4.1. 细胞膜组成成分的 CER 论证与跨学科设计

为培养学生基于证据进行推理与质疑的科学思维，本教学设计围绕“细胞膜由哪些成分组成？”这一核心问题，以科学史关键实验为证据链，设计了三轮递进的 CER 论证活动。每一轮引导学生提出主张、分析证据、阐明推理，并引入跨学科知识作为解读工具，最终自主归纳出细胞膜的完整成分。

1) 第一轮 CER：细胞膜中含有脂质

创设情境与引发质疑：

教师展示实例：脂溶性麻药比水溶性麻药起效更快；台盼蓝染色剂不能进入活细胞。同时提供资料 1 (相似相溶原理)：极性分子易溶于极性溶剂，非极性分子易溶于非极性溶剂。

教师提出问题：细胞膜是由什么物质构成的？细胞膜为什么对不同物质的通透性不一样？

引导学生结合生活经验，例如油溶于油、水油不溶，去提出猜想。第一部分的 CER 论证活动设计如表 1 所示。

Table 1. Students' first round CER argumentation activity
表 1. 学生第一轮 CER 论证活动

要素	内容
主张(Claim)	① 细胞膜由脂质组成； ② 细胞膜对于和其相似的物质通透性大。
证据(Evidence)	资料 2：19 世纪末，欧文顿用 500 多种化学物质对植物细胞通透性进行上万次实验，发现脂溶性物质比非脂溶性物质更容易通过细胞膜。
推理(Reasoning)	根据相似相溶原理，推测细胞膜应含有脂质成分，因为根据资料 2 可推测脂溶性物质易溶于脂质环境。

教师进一步质疑：如何直接验证细胞膜中含有脂质？脂质的具体类型是什么？

学生讨论并设计实验思路。

教师通过问题串完善实验设计：使用哪种细胞可更方便提取纯净细胞膜？使用苏丹Ⅲ染液时注意什么？是否可用酶实现去除特定脂质？

呈现资料 3：20 世纪初，科学家利用哺乳动物红细胞制备纯净细胞膜，化学分析表明组成细胞膜的脂质有磷脂和胆固醇，其中磷脂含量最多。

学生根据资料 3 完善自己的主张。

能力培养：学生从通透性实验现象推测成分，再通过设计实验直接验证，初步建立“提出主张 - 寻找证据 - 实验检验”的论证流程。

2) 第二轮 CER：磷脂在水环境中的排布方式

创设情境与引发质疑

在第一轮确定细胞膜含磷脂后，教师提出新问题：磷脂分子如何在细胞膜中排列？细胞内外均为水环境，单个磷脂分子在水 - 空气界面可铺展成单层，但在水环境中会如何排布？第二部分的 CER 论证活动设计如表 2 所示。

Table 2. Students' second round CER argumentation activity

表 2. 学生第二轮 CER 论证活动

要素	内容
主张(Claim)	细胞膜中的磷脂分子排列为连续的两层(脂双层)。
证据(Evidence)	资料 4：朗缪尔(1917)将膜脂铺在水面，形成单分子层，亲水头朝水面，疏水尾朝空气。 资料 5：(化学)：极性分子(如水)与亲水基团相互吸引；非极性分子(如脂肪酸链)与水作用微弱。 资料 6：戈特和格伦德尔从红细胞提取脂质，在空气 - 水界面铺展成单层，面积恰为红细胞表面积的 2 倍。
推理(Reasoning)	① 根据化学极性原理，磷脂分子的亲水头部与水亲和，疏水尾部避开水。在水 - 空气界面，只能形成单层。 ② 细胞内外均为水环境，若仅有一层磷脂，疏水尾部会暴露于水，极不稳定；只有两层磷脂(尾部相对、头部朝外)才能稳定存在。 ③ 资料 6 的 2 倍面积关系直接证明：红细胞膜所含脂质恰好足以形成双层。

教师组织学生小组讨论并上台展示磷脂分子在不同情景下的排列方式模型。

能力培养：

将化学结构信息(亲水/疏水)与物理原理(极性作用)结合，定量解释实验数据(面积比)。

通过模型建构突破抽象难点，理解磷脂双分子层排布。

3) 第三轮 CER：细胞膜中含有蛋白质和糖类

创设情境与引发质疑：

在确定脂双层为基础结构后，教师提出新的挑战事实：细胞膜除了磷脂是否还含有其他物质？若细胞膜只有磷脂，能否实现其复杂功能(如物质运输、细胞识别)？如果不能，你认为还需要什么物质？如何鉴定？第三部分的 CER 论证活动设计如表 3 所示。

Table 3. Students' third round CER argumentation activity

表 3. 学生第三轮 CER 论证活动

要素	内容
质疑(Questioning)	仅含磷脂的细胞膜无法解释复杂的生理功能，推测膜上还存在蛋白质和糖类。
新主张(New Claim)	细胞膜中含有蛋白质和糖类。
补充证据(Evidence)	资料 7：糖蛋白作为细胞身份标识和信号接收器，参与识别、免疫、黏附等功能。资料 8：丹尼利和戴维森研究发现细胞膜表面张力低于油 - 水界面，而油脂滴吸附蛋白质后表面张力会降低(物理) [3]。资料 9：多种细胞膜的化学成分表显示均含脂质、蛋白质和糖类(化学)。
推理(Reasoning)	① 表面张力数据表明：膜表面并非纯脂质，因为纯脂质的表面张力较高；实测低值与蛋白质吸附导致的张力降低一致，由此推测膜上附有蛋白质。② 糖蛋白的功能证据反过来证明糖类存在。③ 多膜成分表提供直接化学数据，证实蛋白质和糖类是膜的普遍成分。

学生提出新主张之后，教师引导学生完善鉴定细胞膜中是否含有蛋白质和糖类的实验方案。

学生阅读资料 7、8、9，得出最终结论。

能力培养：

主动寻找已有模型(纯脂双层)无法解释的现象，提出质疑。

利用表面张力等跨学科概念定量解读实验数据，作为支持蛋白质存在的关键证据。

强化证据意识，提升实验设计与逻辑推理能力。

综合三轮 CER 证据，学生共同总结：细胞膜的主要成分为脂质(磷脂为主，含胆固醇)和蛋白质，少量糖类；磷脂以双分子层为基本支架。

联系生活实际，回答问题：为什么脂溶性药物更易被吸收？高温、蛋白酶为何能破坏细胞膜？

4.2. 细胞膜流动镶嵌模型结构的 CER 与跨学科设计

1) 第四轮 CER：对“静态三明治模型”的质疑与“流动镶嵌模型”的确立

创设情境与引发质疑：

在第二轮形成的“蛋白质-脂双层-蛋白质”静态三明治模型(如罗伯逊的单位膜模型)盛行的背景下，教师提供两项颠覆性证据：① 冰冻蚀刻电镜技术显示，蛋白质颗粒并非只分布在脂双层表面[4]，而是也可以嵌入、贯穿和镶在脂双层；② 荧光标记细胞融合实验：用不同荧光染料标记小鼠细胞膜蛋白和人细胞膜蛋白，诱导融合后，在 40 分钟内两种荧光均匀混合。

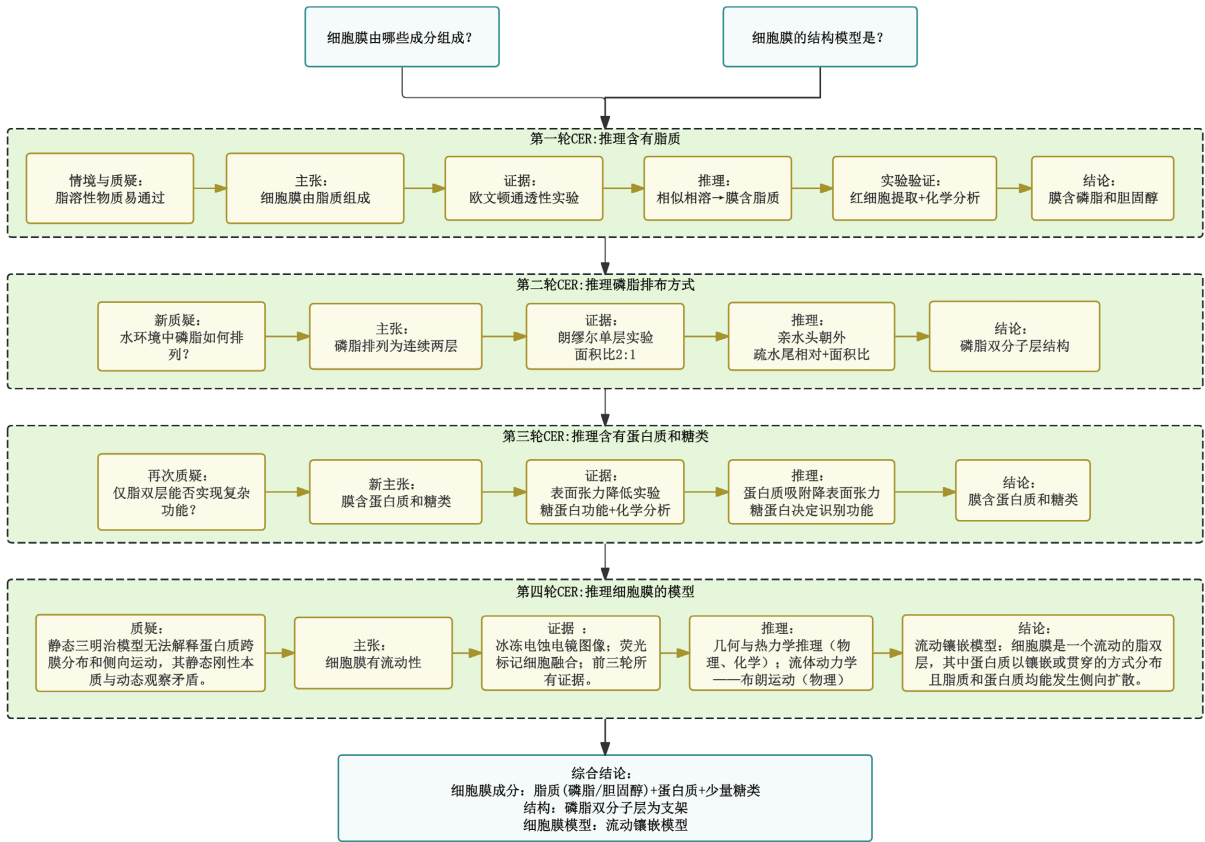


Figure 1. Flowchart of CER argumentation and interdisciplinary design for the components and fluid mosaic model of the cell membrane

图 1. 细胞膜的成分与流动镶嵌模型 CER 论证与跨学科设计流程图

教师引导：“如果膜蛋白是固定附着在脂双层表面的刚性三明治结构，冰冻蚀刻图像中的‘颗粒’从何而来？融合细胞中荧光蛋白为何会混合？这暗示了膜蛋白和脂质具有何种动态行为？”第四部分的 CER 论证活动设计如表 4 所示以及整体的细胞膜的组成与结构推测 CER 论证活动设计如图 1 所示。

Table 4. Students’ fourth round CER argumentation activity (Final Model Construction)
表 4. 学生第四轮 CER 论证活动(最终模型建构)

要素	内容
深度质疑 (Deep Skepticism)	1. 静态三明治模型无法解释蛋白质颗粒跨膜分布的电镜证据。2. 更无法解释融合细胞中膜蛋白的侧向运动。该模型本质上是静态、刚性的，与动态观察矛盾。
整合证据 (Integrated Evidence)	① 冰冻蚀刻电镜图像(形态学证据)——显示膜内部有跨膜蛋白颗粒；② 荧光标记细胞融合实验(动力学证据)——证明膜蛋白在脂双层中可水平运动；③ 前两轮所有证据(脂双层基础、蛋白质功能与表面张力)。
推理 (Reasoning)	① 几何与热力学推理(跨学科：物理/化学)：磷脂双层的疏水区内部为非极性环境，跨膜蛋白的跨膜结构域也由疏水氨基酸组成[5]，依据相似相溶原理，疏水结构域能稳定嵌入脂双层的疏水核心；亲水结构域则暴露于两侧水环境。这解释了电镜图像中的跨膜颗粒。② 流体动力学推理(跨学科：物理)：在生理温度下(37℃)，脂双层处于液晶态，脂分子以每秒约 1 μm 的速度侧向扩散(布朗运动) [3]。镶嵌在其中的蛋白质如同冰山在海洋中漂浮，虽受一定限制，但也可发生侧向运动。荧光混合是蛋白质侧向扩散的直接证明。由此，膜结构被动态化——流动与镶嵌两者缺一不可。
最终主张 (Final Claim)	流动镶嵌模型：细胞膜是一个流动的脂双层，其中蛋白质以镶嵌或贯穿的方式分布(而非仅附着于表面)，且脂质和蛋白质均能发生侧向扩散。

5. 教学效果与教学反思

5.1. 教学效果

本教学通过四轮 CER 论证及跨学科整合，旨在达成以下预期效果：

① 合理质疑能力：学生能从“被动接受模型”转向主动寻找矛盾点。例如，在第二轮中，学生应能主动提出“静态脂双层无法解释膜的选择透过性与低表面张力”，并推测蛋白质的存在。

② 证据搜寻与解读能力：学生学会将跨学科证据(表面张力数值、磷脂面积比、荧光混合图像)作为支撑主张的依据。预期学生能够清晰区分“现象”与“证据”，并能用物理化学原理(如自由能最小化、相似相溶)解释证据为何支持某一主张。

③ 跨学科思维：学生能意识到生物学结构问题需要借助化学(两亲性分子)、物理(热力学、布朗运动)甚至数学(比例关系)的工具来回答，形成“用多学科透镜看生命”的认知习惯。

④ 对科学本质的理解：学生经历“模型 - 质疑 - 证据 - 修正”的过程，体会到科学知识是动态建构的，而非一成不变的真理。

5.2. 课程评价设计

为实现上述目标，本课程采用多元化的形成性评价，不依赖单一纸笔测试。具体评价工具如下：

① CER 论证(四轮)：每轮使用评分量规，从“主张的明确性”“证据与主张的逻辑关联度”“推理中跨学科原理的运用准确性”“质疑的合理性”四个维度进行等级评价(优秀/良好/待改进)。教师针对每位学生的论证单提供书面反馈。

② 课堂质疑记录表：教师记录学生在小组讨论或全班交流中主动提出质疑的次数与质量(如：质疑是否基于证据或逻辑矛盾，而非随意反对)。

③ 跨学科整合任务：在第四轮结束后，提供一种新的膜结构情境(如“某古细菌的膜由单层碳氢链构成”)，要求学生独立完成一份完整的 CER 报告，重点评估其调用物理/化学原理进行推理的能力。

④ 学生个人反思日志：学生回答：“请举一个你在本单元中‘改变原有想法’的具体实例，说明是什么证据或推理促使你发生了改变。”教师通过日志判断学生对科学论证过程的元认知发展。

以上评价方式聚焦学习过程，避免了单纯记忆性测试的局限，能够真实反映学生在质疑、证据解读与跨学科思维方面的成长。

5.3. 教学反思

本节课以“细胞膜成分与结构的科学探究史”为情境，结合真实的科研实验材料，围绕“细胞膜的成分与结构”这一主干知识展开教学。通过四轮递进的 CER 论证活动，帮助学生在已有知识的基础上完善对细胞膜流动镶嵌模型的认知体系，进一步形成结构与功能观、物质与能量观等生命观念。教学过程中注重让学生亲历科学探究过程，在分析历史实验证据、提出质疑、建构模型的真实任务中参与完整的科学论证活动，有效提升了学生的科学思维与科学探究素养。

在教学实践中，需要注意以下几个问题：

首先，本节课的知识高度综合，融合了化学的极性原理、表面张力、相似相溶，以及物理的布朗运动、液晶态等跨学科概念，思维含量高、逻辑链条长。因此，在课堂实施时需给予学生充足的思考与梳理时间，避免因赶进度而弱化推理环节。建议将部分理化基础知识以微课或导学案形式前置，课堂聚焦于“如何用这些原理解释实验现象”。

其次，跨学科知识的融入需把握好“工具性”与“学科主体”的平衡。部分学生在理解表面张力、布朗运动等概念时存在困难，容易陷入对物理概念的纠结而偏离生物学核心问题。教师应始终强调：理化知识是为解释细胞膜结构与功能服务的工具，最终要落脚到“膜如何实现选择性透过、流动性如何保障生命活动”等生物学本质问题上。

总体而言，本节课使用四轮 CER 论证活动，致力于使学生在真实探究中实现概念的深度建构与科学思维的同步发展。教师可以在实际教学活动中进一步优化问题链设计，使不同学情的学生都能在不断论证的过程中获得成长。

参考文献

- [1] 戎佳旦. 基于 CER 论证模型开展高中生物学概念教学的研究与实践[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2025.
- [2] 张稳. 跨学科视域下高中生物教学资源的多重整合[J]. 新教育, 2025(26): 51-52.
- [3] Butt, H.J., Graf, K. and Kappl, M. (2013) *Physics and Chemistry of Interfaces*. 3rd Edition, Wiley-VCH.
- [4] Steck, T.L. (1974) The Organization of Proteins in the Human Red Blood Cell Membrane. *The Journal of Cell Biology*, 62, 1-19. <https://doi.org/10.1083/jcb.62.1.1>
- [5] Nelson, P. (2004) *Biological Physics: Energy, Information, Life*. W. H. Freeman.