

突出“宏 - 微 - 符”三重表征定量转化思维的教学设计

——以“物质组成的定量认识”为例

彭兰贞¹, 苏日平^{2*}, 刘泳彤¹, 王钰媛³

¹岭南师范学院化学化工学院, 广东 湛江

²湛江第一中学, 广东 湛江

³湛江市第七中学, 广东 湛江

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

遵循学生心理发展规律, 依据实体模型和图像模型, 建构“宏 - 微 - 符”三重表征的定量转化思维模式, 助力学生理解物质组成的定量认识相关计算模型中的宏观表征和微观表征内涵, 进而应用计算模型解决实际问题, 最终发展学科核心素养。

关键词

宏 - 微 - 符, 三重表征, 相对分子质量, 计算

Teaching Design Emphasizing the Quantitative Transformation Thinking of “Macro-Micro-Symbol” Triple Representation

—A Case Study of “Quantitative Understanding of Material Composition”

Lanzhen Peng¹, Riping Su^{2*}, Yongtong Liu¹, Yuyuan Wang³

¹School of Chemistry and Chemical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang Guangdong

²Zhanjiang No. 1 High School, Zhanjiang Guangdong

*通讯作者。

文章引用: 彭兰贞, 苏日平, 刘泳彤, 王钰媛. 突出“宏-微-符”三重表征定量转化思维的教学设计[J]. 教育进展, 2026, 16(7): 623-628. DOI: 10.12677/ae.2026.1671413

Abstract

Following the laws of students' psychological development and utilizing physical and visual models, this study constructs a quantitative transformation thinking mode based on the "macro-micro-symbol" triple representation. It helps students understand the connotations of macroscopic and microscopic representations in calculation models related to the quantitative understanding of material composition, and apply these calculation models to solve practical problems, while simultaneously developing students' core disciplinary competencies.

Keywords

Macro-Micro-Symbol, Triple Representation, Relative Molecular Mass, Calculation

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. 问题的提出

从宏观、微观和符号三种水平上认识和理解化学知识，并建立三者之间的内在联系，即三重表征，是化学学习特有的思维方式[1]。毕华林等研究者系统阐述了三重表征的理论内涵，指出化学学习中存在“宏观-微观-符号”三个表征水平，学生需要在三者之间实现灵活转换[1]。宏观辨识是具体的、直观的形象思维，而微观探析和定量计算属于抽象逻辑思维。根据皮亚杰的认知发展阶段理论，初中生正处于形式运算阶段的初期，其抽象逻辑思维虽已占优势，但仍属经验型抽象逻辑思维——即思维活动仍需要具体、直观的感性经验作为支撑[2]。这一心理发展特征决定了化学定量计算教学必须借助实体模型、图像模型等中介工具，帮助学生完成从“经验”到“抽象”的思维跨越。

基于上述分析，本教学设计主要依据三重表征理论、模型认知理论和概念转变理论。其中，三重表征理论为本设计提供了“教什么”的内容框架；模型认知理论通过实体模型和图像模型将微观过程可视化，为本设计提供了“怎么教”的方法路径；概念转变理论则通过预设学生的迷思概念(如“原子质量与相对原子质量的混淆”“原子团理解”等)并设计认知冲突，为本设计中的“错误预防与纠正”策略提供理论依据。三种理论在本设计中协同作用，共同服务于“宏-微-符定量转化”这一核心教学目标。

在“有关相对分子质量计算”的教学中，一些教师的习惯模式是“计算公式-范例展示-模仿训练-错误分析-强化训练”[3]。学生看似掌握计算技能，实则并未理解计算公式的由来与推导，欠缺计算的理论依据和理解支点，容易陷入机械识记和题海训练。这种记忆保留时间短、提取困难，且难以迁移应用，不利于学生的能力发展和长远学习。据此，本节课探讨如何借助模型建构宏观、微观和符号之间的定量转化思维方式，以期让学生领会计算公式本身的宏观和微观表征意义，促进学生形成良好的化学思维方式和认知结构，并帮助学生理解化学学科内在的逻辑关系，培养学科核心素养。

2. 教学背景分析

2.1. 内容分析

人教版(2024 版)第四单元课题 3《物质组成的表示》包含了化学式、化合价与物质组成的定量认识相关计算三部分内容,这些内容都是学生长远学习化学的重要“工具”和必备知识基础。教学中常细分为三个课时,课时 1 是化学式,课时 2 是化合价,课时 3 是物质组成的定量认识相关计算,而本教学设计的主要内容是课时 3。

物质组成的定量认识相关计算包含了四个核心知识点:相对分子质量的含义、相对分子质量的计算、组成物质各元素的质量比计算和物质中某元素的质量分数计算,使学生从定量角度来理解化学,初步形成化学研究中的定量研究思想。学好本节课可为第五单元学习有关化学方程式的相关计算奠定基础,乃至是学生化学定量计算学习的开端。

2.2. 学情分析

学生在此前已学习了化学式代表的宏观和微观意义,化学式的意义构建奠定本节课学习化学计算的起点,但学生在化学符号与其蕴含的数目、质量等关系以及微观与宏观相结合方面存在较大的困难[3]。另外,有关相对分子质量的学习内容是初中定量计算的开始,学习内容离实际生活比较远,学生难免机械地记忆计算公式,注重模仿强化训练,着重数学计算而忽略计算公式的化学内涵和表征意义,尤其难以在微观层次理解和突破元素的质量比计算、元素的质量分数计算等重难点。因此,学生容易在此阶段出现分化,后续学习涉及化学方程式的相关计算就会存在困难。

2.3. 核心素养目标

通过实体模型、图像模型,建构宏-微-符三重表征思维模型,由宏到微,培养宏观辨识与微观探析学科核心素养。

通过阅读商品标签或说明书,并根据所学知识进行课堂练习,巩固所学核心内容,感受定量计算在实际生活中的重要价值,培养科学精神与社会责任学科核心素养。

3. 课堂教学策略设计

3.1. 意义建构、奠定基础

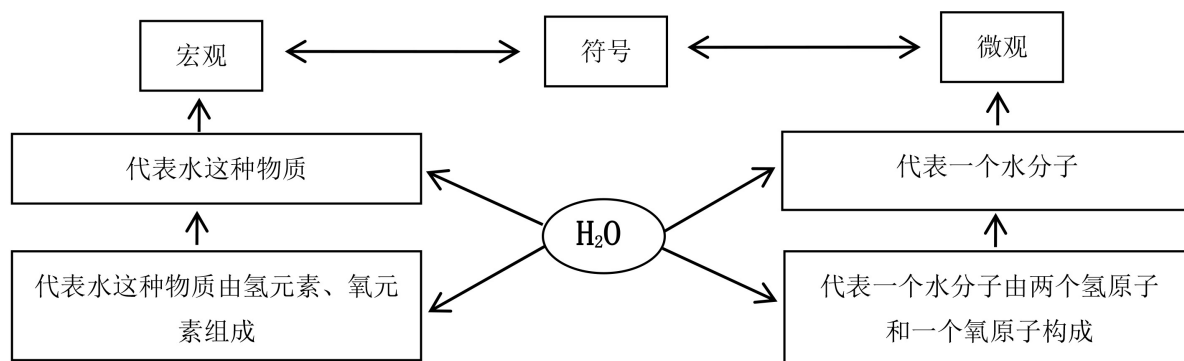


Figure 1. The meaning construction of the chemical formula “H₂O”

图 1. 化学式“H₂O”的意义建构

化学式的意义构建是学习化学计算的基础环节,是化学计算教学的起点[4]。教学过程中,笔者选择

简单典型的物质化学式“ H_2O ”为范例切入,回顾化学式所代表的宏观、微观层面的意义,实现符号-宏观-微观的切换,较易建立三者之间的内在关联(见图1),为后续模型建构和理解计算公式的表征意义,并形成宏-微-符号之间的定量转化思维方式奠定基础。

3.2. 模型建构、助力理解

根据化学式表示的意义,笔者提供实体原子模型教具,让学生利用教组组装和拆解化学式“ H_2O ”所代表的水分子实体模型(如图2),把物质微观构成显性化,帮助学生想象和理解。学生在组装和拆分水分子实体模型自然得出水分子中氢、氧原子个数比,从而引申出分子中原子的个数比的计算方法。随后引导学生在分子图像模型中填入氧原子和氢原子的相对原子质量(如图3),据此,较易算出一个水分子的相对分子质量为18。此过程较易引出相对分子质量的计算公式的微观表征意义,实现宏观到微观,再从微观到计算(符号)的切换,让化学课上得有化学“味道”,而不是侧重数学计算。

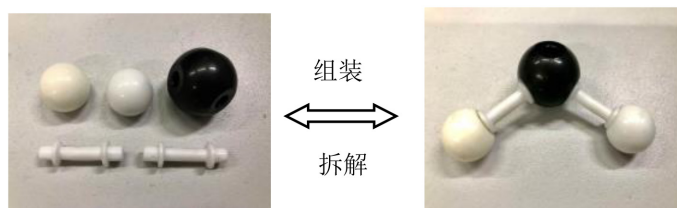


Figure 2. Assembly and disassembly of the physical model of a water molecule
图2. 水分子实体模型的组装和拆分

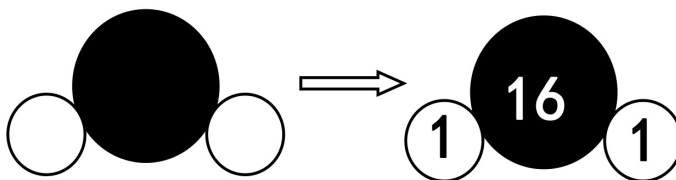


Figure 3. Calculation of the relative molecular mass using the water molecule model
图3. 水分子相对分子质量的计算

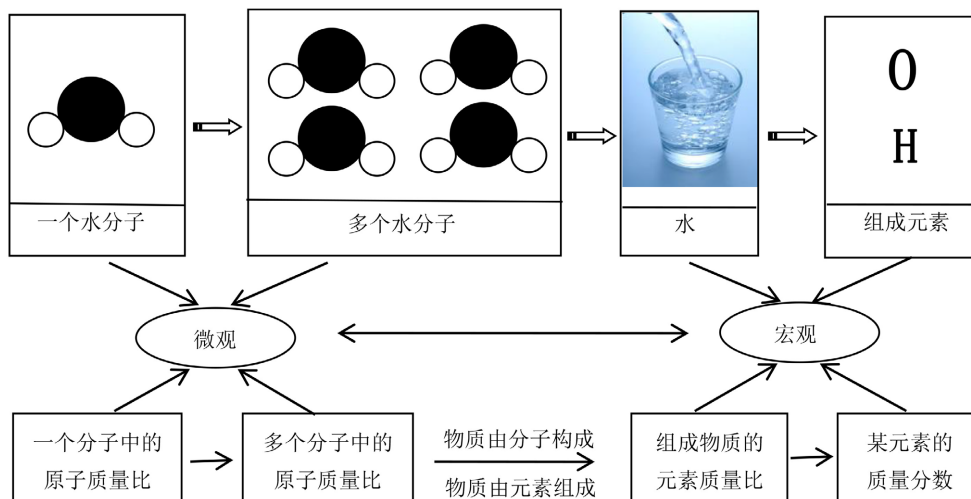


Figure 4. Instructional design process diagram
图4. 教学设计过程图

一个水分子是由两个氢原子和一个氧原子构成，可设置问题引导学生简单算出一个水分子中氢原子和氧原子的质量比。而水又由无数个水分子聚集而成的，无数个水分子中氢原子和氧原子的质量比如何算呢？水分子中氢原子和氧原子的比例是不变的，便可得出无数个水分子中的氢原子和氧原子的质量比和一个水分子的运算是一致的。水是由无数个水分子构成，又由氢元素和氧元素组成，那水中氢元素和氧元素的质量比怎么算呢？体现“宏观”到“微观”的思维进阶，把原子质量比和元素质量比串联起来，让学生认识到物质中元素的质量比计算其实可简单缩小到单一分子中解决。此外，元素所占质量分数计算难点也可做相似方法突破。具体教学设计过程如图 4 所示。

综上所述，本节课以水分子实体模型和图像模型为例贯穿全课堂，学习有关相对分子质量的计算，整个过程由“单一”到“多数”，形成“个别”到“一般”的思维模式，以帮助学生理解计算公式的表征意义，形成宏观、微观和符号之间的定量转化思维方式，克服思维障碍。

3.3. 穿插训练、典型提升

通过上述模型建构，学生基本理解计算公式的宏观、微观表征意义，初步掌握了有关相对分子质量的计算，但会经常犯一些计算典型错误。笔者总结历年学生的常见错误(见表 1)，在四个计算知识点间穿插训练，提升知识的应用能力。

Table 1. Typical exercises and analysis
表 1. 典型选题与分析

	原子个数比	相对分子质量	元素质量比	元素质量分数
典型 选题	1. NH_4NO_3 中____ 的原子个数比为____； 2. $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$ 中____的原子个数比为____。	1. 2NaCl 的相对分子质量的总和=____； 2. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的相对分子质量=____。	1. NH_4NO_3 中____ 的元素质量比为____； 2. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 中____的元素质量比=____。	1. NO_2 中的氧元素的质量分数=____； 2. 10gNO_2 中氧元素的质量=____。
选题 说明	题 1. 涉及原子重复的计算，学生容易忽略合并后运算； 题 2. 学生误把原子团当作单一原子运算，或原子团的单一原子没有乘以原子团的个数。	题 1. 学生容易忽略化学式前面的系数运算或不理解系数代表的整体性； 题 2. 原子团的右下角数字运算易出错。	题 1. 涉及原子重复性的计算，学生容易忽略合并后运算； 题 2. 原子团的右下角数字运算易出错。巩固前两个的易错点。	题 1. 容易忽略百分比，计算格式出错； 题 2. 宏观层面和微观层面的切换困难。

3.4. 生活应用、素养渗透

在课堂设计具有真实生活应用情境的化学计算，如下例题 1，学生根据所学知识进行课堂练习，巩固所学核心内容，提高知识的生活应用能力，并让学生感受定量计算在实际生活中的重要价值，在教学过程中渗透科学精神与社会责任学科核心素养。

【例题 1】：人体中的钙元素主要存在于骨骼和牙齿中，以羟基磷酸钙晶体 $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ 形式存在(它的相对分子质量为 1004)。我们喝的牛奶含钙丰富又易吸收，是青少年补钙的理想食品。图 5 是某纯牛奶包装标签的部分文字。请仔细阅读后回答下列问题：

- (1) $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ 中氢原子和氧原子的个数比为____；
- (2) 求 $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ 中钙元素的质量分数为_____(保留到 0.1%)；
- (3) 标签中的“钙”指的是钙_____(填单质、原子或元素)，仔细阅读标签，一盒 250 ml 的牛奶中含钙至少_____ g (保留到 0.01)；

(4) 若人体每天至少需要 0.6 g 钙, 且这些钙有 90% 来自牛奶, 则一个人每天至少喝____盒牛奶? (计算结果取整数)

营养成分表		
项目	每100mL	NRV%
能量	191kJ	2%
蛋白质	3.4 g	6%
脂肪	1.3g	2%
碳水化合物	5.0g	2%
钠	67mg	3%
钙	110mg	14%

请勿乱扔空包 保持环境清洁
PLEASE DISPOSE PROPERLY

Figure 5. Label of a milk product

图 5. 牛奶商品标签

4. 结语

本教学设计遵循学生心理发展规律, 突出“宏-微-符”三重表征的定量转化思维方式, 促进学生深层次地理解化学计算模型的本质和意义, 并利用计算模型解决不同情境中的化学计算, 为今后化学定量计算素养的提升奠定基础, 同时发展学生学科核心素养。

基金项目

本文系岭南师范学院 2024 年赋能基础教育高质量发展筑峰计划专项资金项目“基于科学史教学的理论与实践研究”; 2025 年岭南师范学院赋能基础教育高质量发展帮扶工作项目资助(JCJYBF06)。

参考文献

- [1] 毕华林, 黄婕, 亓英丽. 化学学习中“宏观-微观-符号”三重表征的研究[J]. 化学教育, 2005, 26(5): 51-54.
- [2] 刘世云. 发展心理学视域下初中数学教学对学生心智能力的培养[J]. 中学课程资源, 2016(1): 4-5+64.
- [3] 杨砚宁. 创设真实情境提高化学计算教学实效——以“依据化学方程式的计算”的教学设计为例[J]. 化学教学, 2018(11): 52-55.
- [4] 李华. 授人以鱼, 不如授人以渔——化学式计算的教学思考与实践[J]. 化学教与学, 2016(3): 37-38+11.