

基于核心素养的生物学跨学科教学路径研究

——以“细胞的能量‘货币’ATP”为例

孙玉琪

淮北师范大学

摘要: 基于跨学科教育理念,以人教版生物学必修一“细胞的能量‘货币’ATP”为例,以萤火虫发光的贯穿式情境为主线,将生物学与化学、物理、数学学科有机融合,通过实验探究、模型建构、资料分析与数学运算等教学活动,帮助学生深入理解ATP的结构、功能及其与ADP的相互转化,落实核心素养目标。

关键词: 跨学科; 核心素养; ATP; 情境教学; 模型建构

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2026.01.292

引言

《普通高中生物学课程标准(2017年版2020年修订)》明确提出,要以核心素养为导向组织教学,强调教师在教学过程中要“注意学科间的联系”,培养学生的综合能力和跨学科能力^[1]。北师大刘恩山教授亦指出,要将培养跨学科能力作为生物学科的重中之重,并渗透跨学科概念^[2]。然而,已有研究表明,跨学科主题学习在实践推进中普遍存在“跨而不合”“合而不深”等浅表化现象:学科之间并未产生真正关联,或对主题的学习停留于常识性认知,未能引导学生在问题解决中实现认知突破^[3]。这说明,跨学科教学并非简单地将多门学科知识拼接于同一课堂,而需要以真实情境为组织中心,在多学科“学以致用”中实现知识的有机整合。

高中生物学中许多概念需要学科融合才能更好地理解其本质,“ATP供能机制”即为典型案例。新教材认为“特殊化学键”断裂时末端磷酸基团会携带转移势能与其它分子结合,要深刻理解这一机制,须借助化学中的共价键、物理中的弹力势能以及数学定量运算等跨学科知识^[4]。已有研究对ATP的跨学科教学设计有所探索,但在物理势能的深度融合与数学定量推算方面有待进一步细化。本文以此为切入点,探讨如何在跨学科视域下,通过真实情境的创设与多学科知识的有机融合,促进学生对生物学核心概念的深度建构。

一、教学分析

(一)教材与学情分析

本节课选自人教版高中生物学必修一第五章第二节。ATP是连接细胞物质代谢与能量代谢的关键枢纽,是后续学习细胞呼吸和光合作用中能量转化的基础。在跨学科联系方面,ATP中磷酸基团带负电荷、同种电荷相互排斥导致化学键不稳定,涉及化学中的共价键原理;特殊化学键断裂释放转移势能涉及物理中的弹力势能概

念;ATP含量与消耗量之间的矛盾分析则需要数学运算论证,具有丰富的跨学科教学价值。

高一学生已在化学课中学习了共价键的饱和性,在物理课中接触了弹力势能概念,具备了开展跨学科学习的知识基础;然而,学生对于生物体内能量如何从有机物转化为直接驱动生命活动的形式尚缺乏系统认知,难以将不同学科的零散知识整合为解释生命现象的综合模型。因此,教学需通过问题驱动,引导学生调用多学科知识进行协同推理。

(二)教材版本比较与内容选取

目前我国高中生物学教材存在多个版本,不同版本在ATP一节的编排逻辑、概念表述及素材选取上各具特色。通过对人教版、北师大版、沪科版等六个版本教材的比较分析,本研究在设计中进行了针对性的优化与整合。

首先,在核心概念的表述上,本课采纳了人教版“特殊化学键”的提法。如下表所示,不同教材对ATP中磷酸基团间化学键的命名不同:北师大版和浙科版称“高能磷酸键”或“磷酸酐键”,但生化原理上化学键断裂实际吸能,所谓“高能”源于电荷排斥导致的不稳定,断裂时释放电势能。人教版则称其为“特殊的化学键”,既避免了争议,又引导学生从电荷排斥角度理解其不稳定性,为本课教学提供了直接依据。

其次,在教学素材的运用上,本课融合了北师大版与沪教版的科学史优势。虽然各版本教材多以萤火虫发光导入,但北师大版和沪教版在“寻找证据”和“经典再现”栏目中提供了更为翔实的ATP发现史和萤火虫发光实验数据。本设计借鉴了这一思路,将1934年罗曼发现ATP的科学史转化为学生可操作的探究实验,让学生在复现经典的过程中,不仅验证ATP的功能,更感悟科学家的探究逻辑。

不同版本教材中ATP化学键表述及教学启示

教材版本	化学键表述	学术准确性与教学难点	本课设计的融合策略
人教版	特殊的化学键	最优选。回避了“键能”误区，强调结构的不稳定性，有利于跨学科融合。	核心依据：以此为基础，引入化学电荷排斥原理和物理势能模型，深度解析ATP结构。
北师大版	磷酸酐键	术语准确但较生僻，学生难理解其与能量释放的直接联系。	借鉴其“寻找证据”栏目中的科学史素材，用于实验探究环节。
浙科版	高能磷酸键	易产生迷思概念。学生易误认为“键”本身含有高能量，断裂即释放。	在教学中作为反例辨析，强调“能量来自物质结构的势能，而非键能”。
苏教版	磷酸酐键	同北师大版，侧重于跨学科视角的化学解释。	参考其跨学科视角，补充说明脂肪与糖类能量差异的化学本质。

二、教学目标与重难点

依据生物学科核心素养的四个维度制定如下目标：

（1）生命观念：通过化学键与物理势能的跨学科分析，深化“结构与功能相适应”的生命观念；（2）科学思维：通过化学键原理对学生错误模型进行批判性修正，发展假说—演绎和批判性思维；（3）科学探究：通过合作设计实验与建构ATP物理模型，培养动手操作与团队协作能力；（4）社会责任：通过付新华教授的科研事迹，激发学生以科学造福社会的责任感。

教学重点：ATP的分子结构及简式书写，ATP与ADP相互转化的过程及生物学意义。教学难点：结合化学键与物理势能知识理解ATP的高能特性；利用数学定量推算理解ATP转化的动态平衡。

三、具体实施路径

基于多版本教材的比较分析与核心素养的培育要求，本文构建了以“萤火虫发光”为贯穿式情境的跨学科教学策略。该策略旨在打破学科壁垒，通过融合化学、物理、数学等学科核心概念，引导学生从微观结构与宏观现象的联系中深入理解ATP的功能本质。

（一）化学视角：解析结构，修正概念

针对学生易将ATP中“~”符号误解为“键本身含有高能量”的迷思概念，本研究引入化学学科中的共价键理论与电荷排斥原理。

依据人教版教材对“特殊化学键”的表述，结合化学中原子结构知识，引导学生分析ATP分子中相邻磷酸基团因带负电荷而产生的相互排斥作用。这种跨学科的分析，使学生认识到“高能”的本质并非键能本身，而是电荷排斥导致的分子结构不稳定。此外，针对浙科版、北师大版教材中提及的“高能磷酸键”或“磷酸酐键”可能带来的认知门槛，本策略通过引入化学键能与自由能变化的区别，帮助学生厘清“化学键断裂通常吸能，而ATP水解释放能量是由于产物比反应物更稳定”这一生化本质。通过这一策略，学生能从化学键的视角理解ATP易水解的结构基础，从而将“结构与功能观”从生物学

表象深入到化学本质，有效规避“键能即能量”的认知误区。

（二）物理模型：类比势能，具象机制

ATP水解供能的微观机制难以通过肉眼观察，学生往往难以理解能量是如何“释放”并“转移”的。为此，本研究引入物理学中的弹力势能模型进行类比教学。

利用物理学科中“压缩弹簧储存势能，松开后转化为动能”的原理，构建ATP水解的物理类比模型：用超轻黏土制作立体ATP教具，扭扭棒模拟普通磷酸键，弹簧模拟特殊化学键，乒乓球模拟磷酸基团，利用三个问题：（1）把3个乒乓球挤在一起需要用力吗？（2）挤压注入的力相当于什么？（3）松手时会发生什么？被压缩的弹簧处于暂稳状态，松手后弹力势能转化为动能，末端磷酸基团被弹走。将末端磷酸基团的转移势能类比为被压缩弹簧的弹力势能，直观地展示了化学键断裂时势能向动能的转化过程。

结合人教版与北师大版教材中关于“基团转移”的描述，引入物理学的“载体”概念。ATP供能不仅仅是能量的释放，更是磷酸基团（作为能量的载体）向受体分子的转移过程（即基团转移反应）。这种跨学科的模式建构策略，不仅破解了微观粒子运动不可见的教学难点，更帮助学生建立起“能量以物质为载体进行转移”的实际景象，深刻理解ATP作为“能量货币”的物质载体属性。

（三）数学定量：推算速率，建构平衡

针对ATP与ADP相互转化的动态平衡特征，单纯的文字描述难以让学生感知其转化的高效性与必要性。本研究通过引入数学定量推算与比例类比，将抽象的代谢速率数据化、可视化。

基于人体ATP存量与日均能量消耗的真实数据，引导学生进行数学运算。通过计算得出人体ATP需在短时间内更新上千次的结论，从定量角度论证了ATP-ADP循环的高速率与动态平衡特征。

此外，借鉴沪科版教材中关于“能量载体分子”的拓展视角，通过计算葡萄糖完全氧化释放的能量与ATP

水解能的差值（约94倍），利用数学比例关系构建“大额支票”（葡萄糖/脂肪）与“零钱”（ATP）的类比模型。这一策略不仅强化了学生的逻辑思维与数据处理能力，更使其深刻理解ATP作为细胞能量“货币”在物质代谢与能量代谢中的枢纽作用——既解决了能量释放的缓慢性与生命活动需能的即时性之间的矛盾，又体现了生物体对能量利用的高效性与精准性。

（四）人文融合：科学生态，培养责任

跨学科教学不仅局限于理工科的融合，更应注重科学与人文的渗透。本研究整合了多版本教材中的优质素材，构建了立体的科学史教学情境。

结合人教版引用的古诗《秋夕》与“囊萤映雪”的典故，将古诗词的人文情怀与萤火虫发光的生物学现象相融合，建立语文与生物的跨学科联系。同时，借鉴北师大版“寻找证据阅读”栏目与沪教版“经典再现”栏目中的ATP发现史（如罗曼的实验、Lipmann的研究），引导学生复现科学家的探究逻辑。

通过追溯从“糖类供能”到“ATP直接供能”的认知转变历程，让学生在批判性思维中感悟科学发展的曲折性。最后，结合当代科学家付新华教授对萤火虫保护的研究，将科学与生态保护的社会责任相结合。这种文理交融的策略，旨在落实生物学学科核心素养中的“社会责任”，培养学生对自然的敬畏、对科学真理的追求以及利用科学知识造福社会的意识。

四、教学反思

（一）贯穿式情境是跨学科融合的纽带

本节课以“萤火虫发光”为贯穿式情境，将实验探究、模型建构、资料分析、概念迁移等环节有机串联，形成逻辑连贯的认知链条。以真实情境的大问题、大任务作为学习的组织中心，将学科知识放在更大的背景中进行考查，正是走向深度跨学科主题学习的关键路径^[4]。

（二）学科融合需把握“度”与“位”

跨学科教学并不适用于每一节生物学课，必须找到合适的切入点。教师开展跨学科教学时，应对教学内容进行多方位思考，从教材中提炼出有价值的跨学科知识点^[5]，同时，跨学科知识的引入应以服务生物学概念理解为根本目的。

（三）评价体系应伴随素养生成

跨学科教学需要配套的过程性评价。在本课中，通过观察学生在模型建构中对化学原理的应用、在数学推算中的逻辑表现，以及在实验设计中的变量控制能力，运用观察量表、多维评价量表、学生自评与同伴互评等，能够多维度评估学生核心素养的真实发展水平。

（四）教材重构需实现“静态栏目”向“动态探究”的转化

通过对多版本教材的比较发现，沪科版的“广角镜”和北师大版的“寻找证据”等栏目，为学生提供了丰富的跨学科视角。然而，教材的静态呈现无法替代学生的动态体验。在本课设计中，笔者并未局限于教材的文字，而是将这些潜在的“栏目功能”转化为课堂的“活动脚手架”：利用“物理弹簧模型”替代了枯燥的化学键解释，利用“数学定量推算”替代了单纯的记忆背诵。这启示我们，优秀的跨学科教学设计，本质上是对教材静态知识的二次开发，将其转化为学生可操作、可推理、可建构的动态学习过程。

结语

本研究以“细胞的能量‘货币’ATP”为切入点，构建了以真实情境“萤火虫发光”为主线的跨学科教学模式。通过整合化学共价键原理、物理能量转化模型及数学的定量推算方法，成功将抽象的生物学概念具象化、逻辑化。实践证明，这种打破学科壁垒的教学设计，不仅有效破解了学生关于“能量释放”的迷思概念，更在“做中学”与“用中学”的过程中，切实提升了学生的核心素养，体现了“结构与功能观”“物质与能量观”等生物学核心思想。

然而，跨学科教学的精髓在于“融”而不在于“杂”。本研究的实践启示我，学科融合的最终落脚点仍应回归生物学的育人本质。未来的教学探索，应当更加注重从“静态知识”向“动态探究”的转化，即如何引导学生像科学家一样思考，利用多学科工具去解决真实世界中的复杂问题。相信通过更多此类教学设计的涌现，能让课堂真正成为培养学生科学思维与社会责任的沃土，让核心素养在学科的有机交融中自然生长，推动教学实践从“知识传递”向“素养培育”根本转型，为培养具有复杂问题解决能力的创新型人才提供持续的理论与实践支撑。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中生物学课程标准（2017年版2020年修订）[M]. 北京：人民教育出版社，2020.
- [2] 刘恩山. 课程内容少而精教学过程重实践——高中生物学课程标准修订中期待完善的内容[J]. 基础教育课程，2013（Z1）：67-70.
- [3] 张玉华. 跨学科主题学习的水平分析与深化策略[J]. 全球教育展望，2023，52（03）：48-61.
- [4] 付桂玲. 以跨学科教学和模型构建破解难点——“细胞的能量‘货币’ATP”教学设计[J]. 中学生物教学，2022（29）：69-71.