

教学经验交流

高师院校统计热力学教学实践与探索^{*}

梁红莲,王树军,傅丽,徐慧娟,赵娣,郑慧敏

(廊坊师范学院 化学与材料科学学院,河北 廊坊 065000)

[摘要]统计热力学是物理化学的重要组成部分,包含许多抽象的概念和复杂的公式。笔者从统计热力学课程特点和自身教学实践出发,分析了统计热力学教学中存在的问题,对如何提高统计热力学教学质量提出了建议。

[关键词]统计热力学;课程特点;教学实践;教学质量

Practice and Exploration of Statistical Thermodynamics
Teaching in Normal University

Liang Honglian, Wang Shujun, Fu Li, Xu Huijuan, Zhao Di, Zheng Huimin

Abstract: Statistical thermodynamics is the important part of physical chemistry, which has a lot of abstract concepts and complex formulas. The problems during the teaching procedures of statistical thermodynamics were analyzed starting from the characteristics of statistical thermodynamics and our teaching practice. The suggestions were given to improve the quality of statistical thermodynamics teaching.

Key words: Statistical thermodynamics; Course characteristics; Teaching practice; Teaching quality

物理化学中的经典热力学是一种宏观理论,其研究方法是“就宏观现象论宏观现象”。统计热力学是热力学的微观理论,其研究方法是从微观粒子的运动特征及粒子间的相互作用出发,利用统计方法研究体系的宏观性质^[1]。因此,它们的研究对象和目的相同,但是研究方法不同,二者相互补充、相互联系、相辅相成。正因为如此,统计热力学被称为连接微观量子化学与宏观热力学、动力学的桥梁。

和物理化学课程其他内容相比,统计热力学

属于更高层次的科学抽象理论,用到的数学知识更多,公式推导的难度更大,系统性和逻辑性更强。学生学习时往往感到概念、原理深奥,难度大,因此兴趣不高。统计热力学所用的理论与物理化学及其他分支学科所用的方法不同,对于学生来说是一种全新的方法,即统计方法。学生除了不能灵活运用微积分、排列组合、概率等相关数学知识,更重要的是没有把握好统计热力学的基本知识体系和原理。因此,高师院校开展统计热力学教学研究、提高统计热力学教学质量势

[作者简介] 梁红莲(1982-),女,讲师,硕士。

^{*} 基金项目:廊坊师范学院校本教育教学研究课题一般项目“高师院校统计热力学教学改革与研究”(K2017-24)。

在必行。

一、教学中存在的问题

(一)学生的积极性、主动性欠缺

目前,国内大多数物理化学教材中安排了“统计热力学初步”一章,但一般仅作了解,不在讲授范围之内。由于工科及部分理院校的物理化学考研试题中会涉及统计热力学内容,因此本校和其他多数地方高师院校将统计热力学作为大三学生的选修课开设,选课对象大多是准备考研的学生。而对于其他学生来说,由于统计热力学课程难度较大,学习热情很难被激发。如何提高学生对统计热力学课程学习的积极性和主动性,是教师首先要解决的问题。

(二)学生数学基础薄弱,灵活运用数学知识的能力较差

统计热力学课程要用到数学中的微积分、排列组合、概率等相关知识,还涉及复杂的分步积分、拉格朗日待定系数法等,学生如果数学基础不牢固,在运用数学工具解决统计热力学问题时就

会遇到困难。师范类院校的学生普遍数学基础较为薄弱,且所学高等数学教材与工科相比偏简单,因此想学好统计热力学课程更加困难。

二、对统计热力学教学的几点建议

(一)框架式教学,建立统计热力学的知识体系

学生要想学好统计热力学课程,首先要明确该课程在体系微观性质与宏观性质研究中的核心地位与桥梁作用,并且在学习过程中逐步建立统计热力学的知识体系。笔者结合框架式教学方法和多年的统计热力学教学实践^[2],指导学生建立了统计热力学知识体系,如图1所示。图1展示了量子化学、统计热力学、热力学之间的相互关系,将量子力学中的能级和简并度等概念运用到统计热力学中,求算宏观体系的微观状态数,在此基础上定义配分函数,并通过配分函数能求算热力学能、吉布斯自由能、焓值等热力学函数和化学反应的平衡常数。

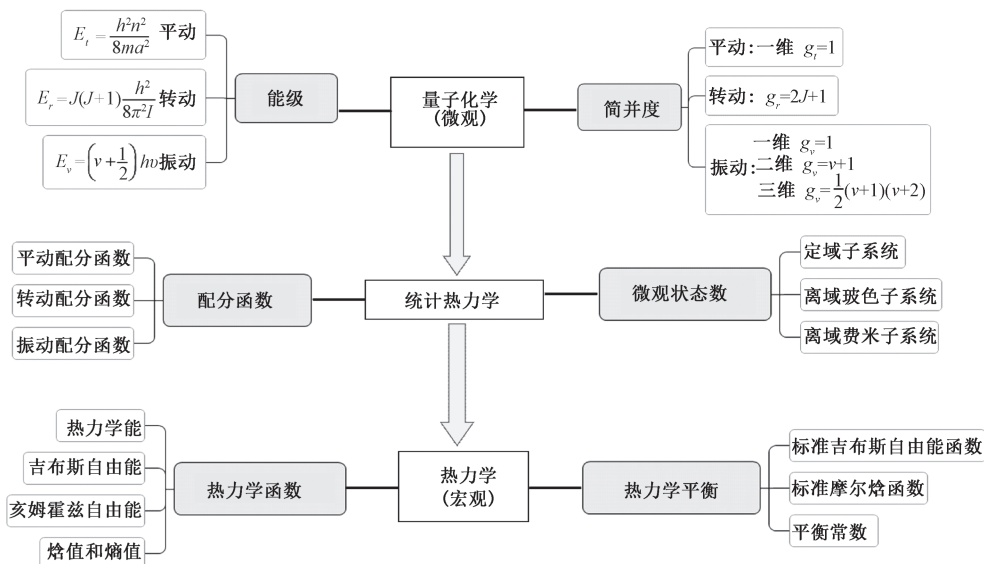


图1 统计热力学知识体系框架图

(二)必要的数学知识储备

统计热力学中用到的数学知识和公式较多,而大多数学生很难达到“随时拿出,为我所用”的程度,因此教师在绪论部分或第一章,可以用1~2个学时讲解将用到的数学知识,这样学生用起来能够得心应手。目前,不少的统计热力学教材也

是按照此思路进行编排的,如内蒙古大学建设了首门“统计热力学”国家精品课程,出版的配套教材在第一章“预备知识”中编写了“几个有关的数学问题”小节^[3],北京大学高执棣等人编写的《统计热力学导论》中在绪论部分对“概率概念及其基本关系”进行了介绍^[4]。对于统计热力学中的复

杂公式,教师要引导学生利用一些高效记忆方法进行理解和记忆,以便引发学生的学习兴趣,获得良好的课堂教学效果。如热力学 4 个基本公式在物理化学和统计热力学中都是重点公式,可以采用图形记忆法(见图 2)、关联记忆法、坐标记忆法等方法进行记忆^[5-7]。

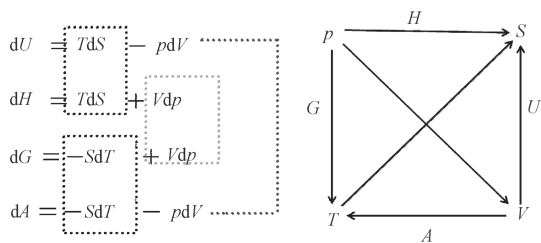


图 2 热力学基本公式的图形记忆法

(三) 发挥多媒体作用,变抽象为形象

统计热力学中的公式众多且推导难度较大,适合用传统的板书教学。随着教育技术的飞速发展,多媒体已经被广泛应用到课堂教学中。多媒体技术能通过图像、声音、动画和影像等先进技术把抽象的概念、复杂的过程呈现给学生,不仅能模拟板书的公式推导过程,而且形象、直观,能激发学生的学习热情,提高学习的主动性^[8]。将多媒体应用到统计热力学教学,有利于师生更好地互动,从而提高课堂教学效果。

统计热力学认为,物质的宏观性质是组成该物质的微观粒子的微观性质的集中体现,玻尔兹曼定理是连接体系的微观性质与宏观性质的桥梁。体系微观状态数的计算是统计热力学教学中的重点和难点,其中抽象的概念和过程很难用传统的教学方法描述清楚。为了计算体系的微观状态数,学生首先要明确粒子、量子态、自由度、能级、简并度这几个概念,后续章节中的配分函数部分还会涉及粒子的转动、多原子分子的内旋转和简正振动。本课程组利用多媒体课件,将粒子看成小球,用动画演示微观状态数的求算过程,进而给出推广公式,如图 3 所示。郭志华等人利用 3DS MAX 动画创作技术研制了多原子分子统计热力学 MCAI 课件^[9],可以生动、直观地表达多原子分子的内旋转和简正振动等抽象概念和过程,便于学生理解,充分发挥了多媒体技术在统计

热力学教学中的作用。

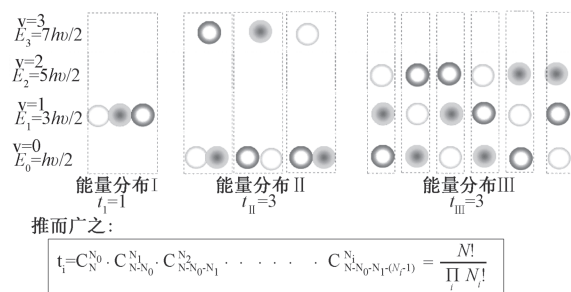


图 3 微观状态数的求算

(四) 改变传统教学方法,提高学生主动性

在现代化课堂教学中,以板书教学、多媒体教学为基础,利用微课、慕课、思维导图等方式进行课堂教学的尝试得到了发展。思维导图是 20 世纪 60 年代英国教育学家和心理学家托尼·巴赞 (Tony Buzan) 发明的简单却极为有效的思维模式。几十年的实践证明,思维导图是基于人脑功能研究和人类行为模式的科学思维模式。作为革命性的思维工具,思维导图目前在教学领域中已得到广泛使用^[10-11]。思维导图的应用可以加深学生对统计热力学诸多概念和复杂公式的理解,提高学生的学习兴趣,激发学生的创新思维。本课题组已经将思维导图应用到物理化学教学中,取得了初步的成效^[12],并将研究成果推广到统计热力学。如配分函数是统计热力学研究的核心内容,它从粒子的微观运动出发进行定义,进而求出粒子的所有热力学函数,因此可以认为配分函数是联系宏观与微观的主要媒介,是统计热力学桥梁作用的集中体现。本课题组对配分函数等重点内容进行了梳理,利用 XMind 7.5 软件建立了思维导图,如图 4 所示。思维导图中利用关键词、色彩、图片来突出重点,形成层次分明的结构。多年的教学实践发现,在化学学科,尤其是物理化学、统计热力学等逻辑性强的学科中,使用思维导图进行教学可以明显提高学生的知识梳理能力和学习主动性,培养学生的创新思维。

(五) 加强统计热力学与物理化学之间的对接

统计热力学本是物理化学中的基本内容,其研究方法和物理化学中其他部分的研究方法不同,那么最终推导出的结果是否一致呢? 这就需

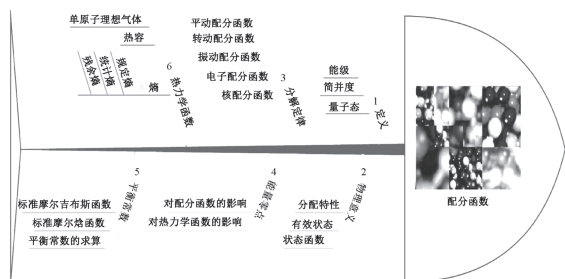


图4 配分函数的思维导图

要教师引导学生把统计热力学推导出的结论和物理化学中相应的结论去对比,如用统计力学的方法从微观角度解释物理化学中热力学三大定律的微观本质^[13]。

1.热力学第一定律

对于近独立子体系,玻尔兹曼统计的热力学能为: $U = \sum_i n_i \epsilon_i$ 。根据热力学第一定律, $dU = \delta Q + (-pdV)$ (封闭体系, $W_f=0$,可逆过程),所以热的统计意义为只改变粒子在能级上的分布数而不改变粒子的能级,体积功的统计意义为只改变粒子的能级而不改变能级上分布的粒子数。

2.热力学第二定律

根据热力学第二定律,热力学孤立体系中发生的一切自发过程总是向着熵值增大的方向进行,达到平衡时熵值最大,用公式表示为:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial \xi}\right)_{U,V,N} \geq 0。而根据玻尔兹曼定理 S = k \ln \Omega$$

可以得出,微观状态数 Ω 越多则混乱程度越高。因此熵的微观统计意义可表述为:熵是体系混乱

程度的量度,即 $\left(\frac{\partial \ln \Omega}{\partial \xi}\right)_{U,V,N} \geq 0$ 。

3.热力学第三定律

热力学第三定律可以表述为在 0 K 时,纯物质完美晶体的熵值等于 0。根据玻尔兹曼定理,在绝对零度时,纯物质体系分子在基态时的简并度为 1,只有一种分布方式,微观状态数 $\Omega=0$,故 $S=0$ 。利用统计热力学的玻尔兹曼定理可以从微观角度解释热力学第三定律。

统计热力学的微观理论和物理化学中的宏观理论相得益彰、不可分割。在学习运用统计热力学的统计方法研究宏观过程的规律时,学生可以

和物理化学中的热力学函数、公式进行对比,达到“学而时习之”的效果。这样一来,学生通过统计热力学的学习就能加深对物理化学中热力学理论的理解。

(六) 穿插介绍科学史,丰富课堂内容

“化学教育给学生以知识,化学史教育给学生以智慧”是我国著名的物理学家傅鹰教授提出的。化学史既可以是某些科学问题的研究发展史,也可以是科学家的传记。在枯燥无味的统计热力学公式推导过程中引入化学史教育,不仅可以提高学生的兴趣,也可以使学生被科学家不畏艰难、勇于创新的精神所激励。如统计热力学的奠基人玻尔兹曼是 18 世纪奥地利物理学家,在气体分子运动论、统计力学和热力学等方面都做出了卓越的贡献。玻尔兹曼的个性独特,一生颇富戏剧性。他提出的“原子论”和奥斯特瓦尔德提出的“唯物论”引起了激烈的科学争论,虽然这次漫长争论的结果是玻尔兹曼胜利,但是由于支持玻尔兹曼的人很少,且他自身的性格存在缺陷,最终他以自杀的方式结束了生命。有人把玻尔兹曼的精神世界形象地比作一个孤立系统。按照熵值增加的原理,孤立系统的熵值不能减小,其混乱程度朝着增加的方向发展。玻尔兹曼的精神世界逐步混乱成了一个不可逆的过程,最终他选择以自杀的方式来结束混乱程度极高的精神生活^[14]。玻尔兹曼的人生经历说明好的心理素质、坚定不移的科学信念在科学研究过程中非常重要。科学史的介绍不仅能加深学生对化学发展史的了解,而且能激发他们不怕困难、勇于探索的科学品质。

三、总结

统计热力学是物理化学不可分割、极为重要的组成部分,该课程的学习能培养学生的综合能力和科学素养。在课程体系改革中进行统计热力学教学内容和教学方法的研究与探索,已成为许多化学教育工作者的共识和迫切需要。实践证明,提高教师的自身素质、引入框架式教学和思维导图的教学方法、加强统计热力学与物理化学的对接及穿插科学史的教学能激发学生的学习兴趣

趣,提高统计热力学的教学效果。

(文字编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 皇起中. 关于物理化学中统计热力学教学的几点看法[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 1983(2): 114-118.
- [2] 陈小全, 周鲁, 邵辉莹, 等. 框架式教学法在物理化学课程教学中的应用[J]. 化工高等教育, 2012, 29(6): 73-74.
- [3] 梁希侠, 班士良. 统计热力学[M]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 2017: 18-28.
- [4] 高执棣, 郭国霖. 统计热力学导论[M]. 北京: 北京大学出版社, 2004: 5-8.
- [5] 吕申壮. 热力学关系的图形记忆法[J]. 大学化学, 2011, 26(3): 77-80.
- [6] 塔金星. 热力学关系式的关联记忆[J]. 物理通报, 2014(7): 24-25.

[7] 王树国, 袁誉洪, 李金林. 热力学函数关系式的坐标记忆法[J]. 广东化工, 2010, 37(1): 158-159.

[8] 武海, 凡素华, 张宏, 等. 现代教育技术在大学化学实验教学中的应用[J]. 化学教育, 2016, 37(8): 33-36.

[9] 郭志华, 张常群. 多原子分子统计热力学 MCAI 课件——多原子分子的内旋转[J]. 计算机与应用化学, 2001, 18(6): 519-522.

[10] 王洪涛, 李艳. 思维导图方法在大学物理教学中的应用尝试[J]. 科技创新导报, 2014(28): 124-125.

[11] 陈博, 陈凯, 薛蒙伟, 等. 思维导图应用于大学有机化学学习[J]. 大学化学, 2009, 24(2): 66-70.

[12] 梁红莲, 傅丽, 赵娣, 等. 思维导图法在物理化学教学中的应用[J]. 化学教育, 2017, 38(20): 17-22.

[13] 朱志昂. 物理化学中如何讲两学时的统计力学: 第六届全国高等学校物理化学课程教学研讨会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 2016.

[14] 方在庆. 说不尽的玻尔兹曼[J]. 博览群书, 2002(12): 67-68.

(上接第 92 页)

参考文献:

- [1] 丁立, 彭勇, 崔琳, 等. 分层次化工实验与实践教学体系的设计与实践[J]. 化工高等教育, 2014(4): 13-16.
- [2] 吕海涛, 曲宝涵. 化学化工类专业实践教学体系改革的研究与实践[J]. 化工高等教育, 2016(3): 73-76.
- [3] 范辉, 李平, 张晓光. 理论-实践教学耦合的化工专业模块化课程构建[J]. 化学工程与装备, 2018(1): 305-309.

[4] 周跃花, 孙平, 李学坤, 等. 基于应用型人才培养的化工实践教学体系[J]. 广州化工, 2017, 45(20): 167-169.

[5] 王淑勤, 汪黎东, 郭天祥. 能源化学工程专业实践教学体系的构建[J]. 山东化工, 2017, 46(14): 161-162.

[6] 李雪, 谢英鹏, 贾松岩, 等. 能源化学工程专业人才培养模式改革创新与实践[J]. 山东化工, 2016, 45(10): 122-123.