

大学无机化学与高中化学知识衔接 ——以原子结构与元素周期表为例

谢木标*

岭南师范学院化学化工学院, 广东 湛江 524048

摘要: 原子结构理论是高中化学和大学无机化学的重要组成部分和学习难点, 教学过程中如何较好地衔接高中阶段知识与大学无机化学课程尤为重要。本文以原子结构和元素周期表知识点为例, 以 2019 版高中人教版教材和北师大版的无机化学教材内容讨论高中化学知识与大学化学知识的衔接问题, 依据作者的教学实践提出若干建议, 为大学无机化学原子结构与元素周期表知识点的教学提供参考, 同时帮助大一学生顺利完成知识的衔接过渡和培养学生独立思考、自主学习的能力。

关键词: 原子结构; 元素周期表; 高中化学; 无机化学; 知识衔接

中图分类号: G64; O641

Knowledge Connection between Chemistry in Senior High School and Inorganic Chemistry in University: Taking Atomic Structure and Periodic Table of the Elements as an Example

Mubiao Xie *

School of Chemistry and Chemical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, Guangdong Province, P. R. China.

Abstract: Atomic structure theory is an important part, but difficult for teaching chemistry in senior high school and inorganic chemistry in university. It is particularly important to connect the knowledge between senior high school and inorganic chemistry course in university. Taking atomic structure and element periodic table as an example, this paper discusses the connection between knowledge of senior high school chemistry and university chemistry with the contents of the textbooks published by the People's Education Press and inorganic chemistry textbooks published by Beijing Normal University Press. Some suggestions are addressed based on the author's teaching practice to guide the teaching of atomic structure and element periodic table in inorganic chemistry course in universities. It also helps freshmen successfully realize the transition of knowledge and cultivate the abilities of independent thinking and learning.

Key Words: Atom structure; Periodic table of the elements; Senior high school chemistry; Inorganic chemistry; Knowledge connection

循序渐进是学习知识过程需要遵循的一大原则, 由于受到学生认知和学习能力的限制, 相同的知识点在不同的学习阶段以不同的难度呈现。因此, 不仅学生在学习过程中需要了解知识点的内涵

收稿: 2019-09-10; 录用: 2019-11-12; 网络发表: 2019-12-02

*通讯作者, Email: xiemubiao@163.com

基金资助: 岭南师范学院教育教学改革项目(LSJGYB1944)

与外延,教师在教学的过程中也要掌握知识点彼此的衔接点和衔接方式,尤其是对于师范类高校的师范生教学更要注意,其有助于培养师范生毕业后从教能将各阶段知识点进行衔接教学的能力。

无机化学是化学相关专业学生进入大学后接触的第一门专业课,由于中学化学的大部分内容都属于无机化学范畴,学生对于无机化学内容相对比较熟悉,很多基础不错的学生开始都很有自信可以学好,但随着时间推移慢慢却发现看起来很熟悉的内容学起来却很困难,逐渐出现了学习不适应的现象,甚至产生厌学情绪。导致这种现象的原因多个方面,其中重要的一点便是没有处理好高中和大学的知识衔接问题。关于高中和大学的知识衔接问题也是多个方面的,主要有:(1) 学生没有掌握高中和大学的知识衔接,没能在高中知识基础上带着疑问进行更深更广的拓展式学习;(2) 大学教师也没有了解和注重高中和大学的知识衔接,忽视学生已有的知识基础而脱离高中知识进行教学,甚至一些教师对高中化学教材内容完全不熟悉;(3) 由于我国大部分地区实行新的高中化学课程体系,其中高中化学内容分为8个教学模块,包括2个必修模块和6个选修模块^[1],不同地区的6个选修模块的知识点分布不同,导致来自不同地区的大一新生化学基础存在差距,接受和理解新知识的能力也有所不同,此外,为了节省课时上必修课,很多学校的选修模块内容上得很少,这也是导致学生基础差异的主要原因;(4) 高中与大学学习方法差异明显。高中化学教学以教师为主体,教师安排学习计划,对知识点进行反复讲解和练习,导致学生依赖性强。而大学课程的课时有限,每堂课的信息量很大,教师上课更注重讲解重点,学习需要主动性。一些学生没有适应这种教与学的差异,逐渐跟不上教师教学进度,学习吃力,甚至对学习失去信心^[2]。

原子结构知识具有微观、抽象的特征,并涉及到量子力学、高等数学、线性代数、晶体学等多学科的复杂公式、方程、术语及“反常规”理论,导致其内容抽象、理论性较强,要求学生具有一定的逻辑分析能力、数理能力、空间想象力、综合运用知识解决问题的能力。因此,学生在学习时普遍有畏难情绪,常常是被动地学,从而导致整个原子结构部分学习效果不佳,甚至影响后续有机化学、分析化学、结构化学、材料化学等课程的学习。本文以人教版最新教材的原子结构与元素周期表知识点为例阐述高中化学和大学无机化学的教学衔接,总结学习和教学经验,希望能为广大教师和学生提供必要参考,以取得更好的教学和学习效果。

1 高中化学的原子结构与元素周期表知识和基本要求

以人民教育出版社2019版教材为例^[1],高中化学必修第一册第4章第四节“原子结构和元素周期表”主要介绍了以下内容:(1) 介绍了质量数、原子核、质子、中子、核电荷数等基本概念,以及它们的相互关系;(2) 介绍了电子层模型和电子层表示;(3) 总结核外电子排布规律,每层最多容纳电子数为 $2n^2$,最外层最多排电子8个(K层2个),次外层最多排电子18个;(4) 介绍元素周期表的行列特征,以及周期和族等基本概念。关于原子结构,高中属于阐述性的结论学习,以上4部分知识之间是独立讲述的,没有体现出它们之间的联系,也没有说明核外电子的微观运动特征,仅在“科学史话”阅读材料中介绍了原子结构模型的演变,其中提到了电子云模型没有确定运动轨道的微观特征。可见,高中对于原子结构和元素周期表部分的学习要求相对是较低的,这和高中化学教学大纲吻合——高中化学对于原子结构和元素周期表知识的基本要求是了解原子的构成和核外电子排布规律以及掌握元素周期表和元素周期律的运用。

2 大学无机化学的原子结构与元素周期表知识

以北京师范大学等校编写的高教版《无机化学》(第四版)教材为例^[3],第1章原子结构与元素周期系关于原子结构主要包括4节的多个知识点:(1) 氢原子光谱和玻尔理论,介绍原子结构的研究历史和玻尔行星模型;(2) 氢原子结构的量子力学模型,用量子力学观点阐述原子结构的电子云图像,介绍能层、电子云形状、电子云空间取向、自旋等概念,引入 n 、 l 、 m 、 m_s 4个量子数;(3) 基态原子电子组态,介绍多个电子时的构造原理:泡利原理、洪特规则和能量最低原理,依据构造原

理获得各元素的基态原子的电子组态；(4) 元素周期表，介绍所有元素基于核外电子排布的周期性排布。

从以上知识点可以发现，这4节内容的知识其实是层层递进的，并且和高中化学知识紧密联系。如何利用这种衔接性进行教学？作者发现传统的问题导向启发式教学法是一个比较好的方法，经过实践，效果良好。

3 主要知识点的衔接教学

3.1 氢原子光谱和玻尔理论的衔接教学

氢原子光谱和玻尔理论知识在高中化学必修课中还没有涉及，但高中学习时很多学生可能有一个疑问：原子中的电子为什么是分别在能量不同的能层上运动？对于大一学生来说，由于这部分内容在高年级的结构化学中还会继续深入讲授，所以不用讲得太详细，但是作为衔接后面的原子结构知识桥梁，这是很好的作为原子结构背景材料和化学史材料的知识点，通过这部分内容讲述让学生了解量子力学发展的历史背景和起源，同时引入能量量子化、轨道、跃迁等观点。利用原子结构模型的发展史介绍，了解由现象到本质的过程，使学生循序渐进地逐步理解原子结构，学习科学家的思维方法和研究精神，具有启发性和教育性，可帮助提高学生的基本化学素养。

3.2 氢原子结构的量子力学模型的衔接教学

关于原子结构高中教材的描述是“原子由原子核和核外电子组成，核外电子在能量不同的电子层运动”，要求掌握会用核外电子排布式写出常见元素的原子核外电子排布。而关于原子结构的量子力学模型，高中教材仅在“科学史话”阅读材料中介绍了原子结构模型的演变，其中提到了电子云模型没有确定运动轨道的特征。高中选修课程的原子结构部分有介绍原子结构的亚层方面的知识，但由于教师教和学生学都比较困难，而高考的分值很低，很多学校都选择不讲这部分内容，导致绝大多数学生在大一学习前并不具备原子结构的量子力学模型相关知识，尤其是对于我们地方性师范院校基础知识本来就相对薄弱的学生来说。那么，怎么由学生已有的“宏观原子轨道”转变到“电子云”图像？可先由高中教材“科学史话”阅读材料中的“原子核外电子没有确定的运动轨道”这句话让学生明确知道：原子的核外电子运动和宏观物体的运动是不一样的，核外电子运动并不遵循宏观物体的运动规律，核外电子运动轨道不是如玻尔假设的真实存在的轨道。

接着，引导学生思考：为什么核外电子运动不遵循宏观物体的运动规律？学生思考后可能会说“因为电子质量非常小，属于看不见摸不着的微观世界”。教师可以引导学生继续思考：核外电子的运动规律是怎么样的？答案是：微观电子的运动完全不同于宏观物体沿着确定的轨道运动，其运动具有波粒二象性，无法同时测定它的空间位置和动量。这样学生就很清楚电子运动和宏观物体运动的区别，也就会容易接受海森堡的“不确定原理”。随后学生可能会有新的疑问：既然电子的运动测不准，那么怎样才能描述电子的运动状态呢？答案是用概率统计方法，因而引出“电子云”的概念——电子云是电子在原子核外空间概率密度分布的形象描述。教师通过展示电子云的图形资料让学生了解处在不同运动状态下的电子的电子云图像具有不同的特征： s 轨道的电子云角度分布图呈球形， p 轨道的电子云角度分布呈哑铃形， d 轨道的电子云角度分布为十字花瓣形。这是学生首次接触电子云图像、原子轨道、原子轨道角度分布等基本术语，对概念的理解仍然较模糊。教师可以接着提问：电子是沿着这些空间图形轨迹运动吗？大多数学生可能概念无法转变过来，不敢确定答案。此时，教师需要引导并强调“如果刚刚问题是肯定回答的说明观念还停留在宏观世界阶段”，强调理解电子只是在这些区域出现的概率密度大，图形空白区域电子出现几率为零，引出本节另一重要概念“轨道”——轨道是指电子在核外空间概率密度较大的地方，指出电子云图像对应原子轨道有 s 轨道、 p 轨道、 d 轨道等，同时总结不同能层所含的轨道类型和数目不一样：第一能层只有一个 $1s$ 轨道，第二能层有1个 $2s$ 和3个 $2p(2p_x、2p_y、2p_z)$ 共4个轨道，第三能层有9个轨道—— $3s、3p_x、3p_y、3p_z、3d_{z^2}、3d_{x^2-y^2}、3d_{xy}、3d_{xz}、3d_{yz}$ ，第四能层有16个轨道，即第 n 能层的轨道数为 n^2 。

核外电子除了绕着原子核运动外, 还像地球一样存在自旋, 而自旋有顺时针和逆时针两个方向。因此, 一定轨道上电子有两种可能的运动状态, 即每个轨道最多可以有两个不同运动状态的电子。此时, 可以引导学生回忆高中知识“原子核第 n 层最多能容纳的电子数为 $2n^2$ ”, 为什么? 原因是如上总结第 n 能层的轨道数为 n^2 , 而每个轨道只能容纳 2 个电子。如此一来, 学生在能解决高中学习留下的疑惑的同时会有一种豁然开朗的感觉, 学习兴趣也就提高了。

此时, 学生已经比较了解核外电子的能层、能级、轨道和自旋的核外电子 4 个基本特征, 那么这些基本术语和具体的轨道符号是怎么样的联系呢? 上述能层、能级、轨道和自旋对于电子的运动状态来讲是逐步递进的关系, 分别对应 4 个量子数的可能取值: 能层对应主量子数 n , 能级对应角量子数 l , 轨道对应磁量子数 m , 自旋对应自旋磁量子数 m_s , 在此理解的基础上继续详细讲解量子数符号、取值、意义以及图形表示等, 来描述表示原子轨道和电子运动状态。

学生还有最后一个疑问: 这些量子数是怎么来的呢? 为什么是这样的取值? 这是在量子力学处理氢原子模型时解薛定谔方程引入的。量子数和波函数的关系, 即量子数确定了, 波函数也就确定了。这里需要说明的是, 关于波函数和薛定谔方程的解方程的具体数学过程等建议不要讲得太深入, 主要让学生有足够的知识学习无机化学后面知识内容就行, 而波函数和薛定谔方程方面内容可以留待高年级结构化学课程中学习。

综上所述, 电子云确定, 则原子轨道确定, 对应的光谱符号、电子排布也确定, 量子数和波函数也都确定, 即对“核外电子的运动状态”的各种描述方法是统一的、相互联系的。再通过课后和课外习题练习进一步加深学生对原子结构知识的理解, 熟悉波函数、量子数、原子轨道、光谱符号、电子排布和电子云之间的相互联系。

3.3 基态原子电子组态的衔接教学

关于基态原子电子组态的教学, 可由学生比较熟悉的中学核外电子排布引入。以 17 号元素氯(Cl)为例, 图 1 是其核外电子排布式, 而在无机化学里其电子组态为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$, 引导学生思考氯原子的这两种核外电子排布的表达式有什么联系? 仔细观察不难发现, 第一能层 $2s$ 的电子数是 2, 第二能层的 $2s$ 和 $2p$ 电子数相加是 8, 第三能层 $3s$ 和 $3p$ 电子数相加是 7, 每一能层的电子数和高中学习排布式完全吻合。而 $2s$ 和 $2p$ 虽然都属于第二能层, 但很显然两者的电子云图像是不一样的, 排布的电子也是不一样的, 它们被称为同一能层的不同亚层。这样, 关于能层和亚层的概念就很清晰了。再深入思考, 学生也不难理解为什么最外层 8 个电子为稳定结构, 为什么每个电子层最多排 $2n^2$ 个电子。既然同一能层包含不同亚层, 亚层能量是否相等? 核外不止一个电子时如何在亚层排布? 解决这些问题的答案就是核外电子排布三原则: 泡利原理、洪特规则、能量最低原理, 以及电子填充顺序——“构造原理”。在初步掌握上面原理的基础上, 再通过列举实例来加以说明。例如 35 号元素溴原子的核外电子排布式 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2 4p^5$ 中是如何遵循能量最低原理、泡利不相容原理和洪特规则的? 教师可一一指出和说明。又比如 21 号元素钪原子的核外电子排布式 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$ 中, 为什么电子填入第四能层的 $4s$ 轨道, 然后再填入第三能层的 $3d$ 轨道? 教师以此为例让学生再深入理解原子核外电子排布近似能级序的应用和能级交错概念。最后, 教师再通过其他不同区域元素的原子核外电子排布例子说明半充满、全充满以及电子组态不符合构造原理的特殊情况。此时, 学生如果能基本掌握大部分元素的原子核外电子排布式则可保障接下来更好地理解和学习元素周期表。

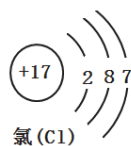


图 1 氯(Cl)核外电子排布

3.4 元素周期表的衔接教学

高中化学关于元素周期律的主要知识内容已接近大学无机化学,可在高中化学知识的基础上加以巩固和适当拓展。如适当讲述门捷列夫提出元素周期表的历史,以及除了常用的门捷列夫长式周期表外的其他类型元素周期表的特征和优缺点,以此让学生明白元素周期表的重要意义和应用。同时,穿插讲述元素周期表的历史,可以活跃课堂气氛,体现对真理的追求是无止尽的,向著名科学家致敬,提高学生人文和科学素养,拓宽其知识视野。

此外,大学无机化学学习元素周期表和高中阶段最大不同之处是此时学生已经学会了用原子核外电子排布近似能级序排布核外电子,掌握了亚层、价层等概念。通过仔细比较分析元素周期各元素原子的价层电子特征就更容易理解每周期元素数目,从而理解为什么第一周期为特短周期,第二、三周期为短周期,第四、五周期为长周期,第六周期为特长周期的问题,为什么有些元素存在多种氧化数。教师可通过具体例子说明如何由价层电子排布确定该元素在周期表中的位置和氧化数等性质,或者反过来任意指定某元素在周期表中的位置,要求学生写出价电子构型。通过反复练习巩固的同时使学生深刻地了解“核外电子结构必然决定周期表的外在表现形式”这句话的内涵,为后续的元素化学学习打好良好的基础。

4 结语

熟悉知识间的衔接关系是学习和教学的基础,本文以原子结构和元素周期表知识点为例,介绍大一无机化学课程中如何从高中和大学的知识衔接出发,采用问题导向的启发式教学法,引导学生思考和讨论,通过知识串联提高学生积极性,将被学生视为“拦路虎”的原子结构知识讲得更有趣,希望对教师教学和学生起到一定的借鉴启发作用。作为大一无机化学课程的任课教师,如能在每堂课的备课中多考虑到中学教材涉及的相应知识点,建立新课和学生已有知识的联系,授课中引导学生思考知识点之间的关系,对学生尽快适应高中到大学的过渡,锻炼独立思考和自主学习的能力有很大的促进作用。

参 考 文 献

- [1] 普通高中教科书:化学2(必修).北京:人民教育出版社,2019.
- [2] 梁爱琴,宋祖伟,曲宝涵.化学教育,2018,39(2),23.
- [3] 北京师范大学,华中师范大学,南京师范大学无机化学教研室.无机化学.第4版.北京:高等教育出版社,2003.