DOI:10.19789/j.1004-9398.2019.02.014

原子结构示意图的教学研究

吴晗清[1,2] 张鸿智[1]

(1. 首都师范大学教师教育学院,北京 100037; 2. 首都师范大学化学教育研究所,北京 100048)

摘 要

原子结构示意图是表示原子核电荷数和电子层排布关系的图示形式,然而它到底"示意"了什么、"误导"了什么?对北京市示范性高中225名高一学生的研究,发现由于对原子结构示意图"形象"的望文生义,2/3左右的学生不能全面地认识原子结构示意图的意义;绝大部分学生不能正确认识电子的运动状态;但是还是有大部分学生对此深入学习有兴趣.基于此,本文指出在教学中要结合化学史让学生认识到原子结构理论的不断发展,构建学生"宏观—符号—微观"三重表征的内在一致性,以及要以量子力学的动态认知摒弃经典力学的机械图景,从而构建原子结构的正确认知.

关键词: 原子结构示意图;电子排布式;化学教学;化学史;三重表征
中图分类号: G632.4

原子结构示意图是表示原子核电荷数和电子层排布关系的图示形式.小圈和圈内的数字表示原子核和核内质子数(电荷数),弧线表示电子层,弧线上的数字表示该层的电子数.学生最开始接触原子结构示意图的相关内容是在初三学习《原子的结构》的时候[1],在这个阶段,学生知道原子结构示意图的基本含义,并在后续更深入的学习中,继续巩固学习原子结构示意图.原子结构示意图和原子结构相关知识密不可分.对于原子结构的相关内容,在现行高中化学必修二第一章《物质结构元素周期律》[2]、选修三《物质结构与性质》模块[3],本科的无机化学、结构化学等模块中会对其进行深入探讨,当然在物理、生物等相关学科中也有渗透.

不过,这一知识点不同阶段的关键区别在于,深入学习原子结构后学生会更多地使用一种新的方式——电子排布式,来表示原子核外电子的排布.那么,表述原子微观结构的两种表达方式之间的相同点是什么,不同点又包含哪些?针对这些异同点,在教学中教师又应该如何处理,从而使得学生顺利进阶,是亟需解决的问题.本文将从原子结构发展史、原子结构特点和学生的认识特点等方面着手,分析问题症结所在,提出相应的教学策略以帮助学生更加主动和牢固地掌握该部分的知识内容.

收稿日期:2017-12-20

1 原子结构研究发展简史

1.1 古希腊哲学时期

原子论的创始人是古希腊人留基伯(Leucippus,公元前500年—约公元前440年),其学说是由他的学生德谟克利特(希腊文:Δημόκριτος,约公元前460年—公元前370年)发展和完善的.德谟克利特认为,万物的本原或根本元素是"原子"和"虚空".德谟克利特用这一概念来指称构成具体事物的最基本的物质微粒."原子"第一次出现,其含义是"不可分割"的意思.

1.2 经典力学时期

经过两千余年的探索,后来许多科学家针对原子结构提出了自己的学说理论,代表如下:

1803年,英国科学家道尔顿(Dalton,1766—1844)将古希腊思辨的原子论改造成定量的理论,总结了一些元素化合时的质量比例关系,提出了原子学说以及世界上第一个原子的理论模型,认为所有物质都是由非常微小的、不可再分的物质微粒即原子组成;同种元素的原子的各种性质和质量都相

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

同,不同元素的原子,主要表现为质量的不同;原子是微小的、不可再分的实心球体;原子是参加化学变化的最小单位,在化学反应中,原子仅仅是重新排列,而不会被创造或者消失.

1897 年,汤姆生(Thomson,1856—1940)发现原子中存在电子,并用实验方法测出电子的质量不及氢原子质量的千分之一(后进一步确定为氢原子质量的 1/1 836).电子的发现使人们对原子结构的认识进入新的阶段,认识到原子是由更小的微粒构成的.1904 年,汤姆生在发现电子的基础上提出葡萄干布丁模型(枣糕模型).认为正电荷像流体一样均匀分布在原子中,电子就像葡萄干一样散布在正电荷中,它们的负电荷与那些正电荷相互抵消;在受到激发时,电子会离开原子,产生阴极射线.同年,日本物理学家长冈半太郎(Nagaoka Hantaro,1865—1950)提出"土星型原子模型",认为电子并不是均匀分布,而是集中分布在原子核外围的一个固定轨道上.

1911 年,卢瑟福(Rutherford,1871—1937)以经典电磁学为基础,通过 α 粒子散射实验提出行星模型,认为原子的大部分体积是空的;在原子的中心有一个体积很小、密度极大的原子核;原子的全部正电荷在原子核内,且几乎全部质量均集中在原子核内部.带负电的电子在核外空间进行高速的绕核运动[4].

1.3 量子力学时期

1913 年,丹麦物理学家玻尔(Bohr,1885—1962)在研究氢原子光谱时,引入了量子论观点,提出了核外电子分层排布的原子结构模型即玻尔模型,认为原子中的电子在具有确定半径的圆周轨道上绕核运动,不辐射能量;在不同轨道上运动的电子具有不同的能量,而且能量是量子化的,轨道能量值依 n(1,2,3...)值的增大而升高,n 称为量子数.不同的轨道则分别被命名为 K($n=1$)、L($n=2$)、M($n=3$)、N($n=4$)、O($n=5$)、P($n=6$)、Q($n=7$);当且仅当电子从一个轨道跃迁到另一个轨道时,才会辐射或吸收能量,如果辐射或吸收的能量以光的形式表现并被记录下来,就形成了光谱.虽然该模型只能解释氢原子和类氢原子的结构和性质,但这为核外电子在量子力学中进一步地深入研究开启了大门.

1920 年以来,物理学家德布罗意(Duc de Broglie,1892—1987)、薛定谔(Schrödinger,1887—1961)和海森堡(Heisenberg,1901—1976)等人,经过 13 年的艰苦论证,在现代量子力学模型和玻尔原子模型的基础上提出了原子结构的现代量子力学模型,针对电子排布有以下观点:主量子数的符号为 n,决定不同的电子层,用 K、L、M、N、O、P、Q 表示.角量子数决定不同的电子亚层,主量子数和角量子数共同决定电子的能级.角量子数符号为 l,共有 n 个值(0,1,2,3,…,$n-1$),符号用 s、p、d、f、g……表示,对多电子原子来说,电子的运动状态与角量子数有关.磁量子数决定不同能级的轨道在空间的伸展方向,符号 m,m 取值受 l 制约,对于给定的 l 值,$m\in\{m\mid m\in Z$ 且 $|m|\leqslant l\}$,即 $m=-l,\ldots,-2,-1,0,+1,+2\cdots,+l$,共 $2l+1$ 个值.自旋磁量子数(m_s)表示处于同一轨道的电子的两种自旋,取值为 $+1/2$ 或 $-1/2$,用"↑↓"表示.n、l、m、m_s 4 个量确定一个原子的运动状态.综上而言,原子结构发展到今天,对于原子内部微观粒子的了解已经进入到量子力学,其运动已经不能用经典力学进行解释[5].

2 学生对原子结构示意图认知的实证研究

2.1 问题提出

《义务教育化学课程标准(2011 年版)》要求学生"知道原子是由原子核和核外电子构成的"[6];《普通高中化学课程标准(实验)》在必修二阶段要求学生"了解原子核外电子的排布"[7];在选修三阶段要求学生"了解原子核外电子的运动状态"以及"了解原子结构的构造原理,知道原子核外电子的能级分布,能用电子排布式表示常见元素(1~36 号)原子核外电子的排布"[8].从以上课程标准的内容可以看出,义务教育阶段要求学生掌握静态的原子结构即原子核和核外电子;普通高中阶段要求学生掌握原子核外电子的运动状态并能描述之.

两者之间差异在于,要求学生的思维能力能从静态向动态流畅转换.在进行思维转换的过程中,学生对原子结构的静态理解(原子结构示意图)可能会阻碍其对原子核外电子正确运动状态(电子排布和能级分布).最直观的就是通过 s、p、d、f 等轨道来表征核外电子的排布.s 轨道是一个球形;p 轨道是哑铃形(3 个方向);d 轨道是花瓣形(5 个方向);f 轨道是大花瓣形(7 个方向).相较于原子结构示意图,电子排布式更加深入具体地表示了电子状态.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2 研究工具、研究对象

为了研究原子结构示意图相关的迷思概念,以及迷思概念对学生后续学习电子排布式带来的困扰,编制的测试题具体如下:

(1) 什么是原子结构示意图,含有哪些意义?可画图举例说明. (2) 在原子结构示意图中,每层最多能容纳多少个电子(以前 4 层为例分别说明),每层所容纳电子的数量有什么规律? (3) 核外电子是如何在原子中运动的? 可画图说明. (4) 是否知道核外某一层中的多个电子是如何在核外排布? (5) 是否有兴趣进行更深层次的关于原子内部结构与电子运动状态的学习,理由是什么?

为了清楚这些问题,笔者对北京市示范性高中的 240 名高一学生进行了相关内容的问卷测查,收回有效测试卷 225,有效率 93.75%.

2.3 研究结论

2.3.1 学生对原子结构示意图的基本认知

2/3 左右的学生不能全面地认识到原子结构示意图的意义. 学生不能对原子结构示意图的意义进行全面的阐述,而对诸如核电荷数、电子层数、电子数、某单一电子层上的电子的数目,这样一些通过示意图能够表达的信息,只有 27% 的学生能够全部描述,其中达 11% 的学生只能描述出其中一种信息的含义.

在示意图中,某一电子层最多能容纳多少个电子? 每层最多所能容纳的电子数目及规律? 这些数目又是如何确定的呢? 在这一部分的内容中,将前 4 层中每层最多容纳的电子数书写正确的占 62.7%; 正确写出核外电子层容纳电子数量规律的占 52.0%; 但是,几乎没有同学能阐释清楚这些数目是如何确定的. 分析学生问卷可以发现,很多书写错误的原因在于: ①将最多容纳电子数理解为元素周期表中短周期元素的种类. 如 2、8、8、18; ②没有读懂题意,将“最外层不超过 8 个电子”应用到该题的回答中,导致出错.

2.3.2 学生对原子核外电子运动的基本认知

绝大部分学生不能正确认识到电子的运动状态. 关于核外电子是如何在原子内部运动的问题,大多数学生回答得模棱两可,不能完整表述,更多的是提到零碎的几个词语. 因而采用关键词出现的次数进行统计分析,结果发现使用频率最高的词语是“不规则”累计占 52%,其次是“圆周运动”累计占 23%,“绕原子核”累计占 9%,“层内运动”累计占 7%,“电子云”累计占 6% 以及“有规律”累计占 3%.

可以看出学生对核外电子的运动情况存在较多的错误认知,如“圆周运动”、“有规律”等明显是由原子结构示意图的“形象”所带来的错误理解. 学生会认为核外电子就是在一个个轨道上均匀排布,在某一层内做着绕核规则圆周运动. 典型个案如,有同学会把圆弧扩大化为圆周,将电子全部填充进去进行圆周运动,更有甚者认识电子是在半个圆弧中运动. 可见示意图对学生在原子结构方面会造成较大的困惑.

其实这是一种错误的认识,因为由经典电磁理论可知,绕核运动的电子既然在作变速运动,必将不断地以电磁波的形式辐射能量,最终会落在核上,且辐射频率等于电子绕核转动的频率. 于是整个原子系统的能量就会不断减少,频率也将逐渐改变,所发光谱应是连续的. 但是,这与原子线状光谱的实验事实不符. 因此卢瑟福用经典理论构建的有核模型,在解释原子内电子的运动时遇到了不可克服的困难.

当继续追问“在同一层内的多个电子又是如何运动时”,同样以统计关键词的方式分析,得到的结果如下 “在特定的一层内运动”累计占 21.3%,“均匀围绕原子核运动”累计占 14.7%, “圆弧状运动”累计占 2.7%,有 13.3% 的学生知道电子在 s、p、d 轨道的运动状态. 在这里,“均匀围绕原子核运动”、“圆弧状运动”等明显是错误的,其根源也是从原子结构示意图的“形象”望文生义而来,这对于后续学习产生了较严重的误导. 这种情形的出现也反映了教师在教学时没有将这部分知识的进阶在课堂上给学生做一定的解释说明,甚至访谈发现教师自身对于原子的微观结构、电子的运动与排布的认识存在一定的偏差.

2.3.3 学生对深入学习原子结构的兴趣

大部分学生对此感兴趣. 测试的最后部分,是一个开放性的问题,询问学生对原子微观结构与电子运动的学习兴趣,以及原因. 比较乐观的是,有 72% 的学生对于这一部分内容感兴趣,中立的学生占 3%,有 25% 的学生不感兴趣. 有兴趣的学生,其理由主要体现在: 原子是组成物质基础,其内部结构又决定性质,因此深入学习、充分认识原子是必要的,还有学生表示对自然界本身好奇,对化学学

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

习感兴趣等.

不感兴趣的学生,主要是两个方面的理由. 一是学科基础薄弱,现有知识已经有所不懂,这些内容太深奥,从而打算学文科等; 二是觉得原子结构相关的内容,与生活联系不紧密,实用性不足,无法得到相关的体验从而无兴趣. 从他们的回答中可以看出: 有兴趣的学生已经认识到原子是发生化学反应的最小单位,具有"结构决定性质,性质决定用途"这样的化学思维,也有好奇心的驱使让学生对这部分内容进行深层次的学习; 而不感兴趣的学生,会觉得这部分内容枯燥无味,太费脑,找不到学习这部分内容的意义. 因此,在教学实践中要结合化学学科、社会生活这两个方面来激发学生的兴趣.

3 原子结构教学的建议

(1) 结合化学发展史,让学生认识到原子结构理论的不断深入.

化学史在中学化学教育中有着重要的作用,它能够有效地唤起学生的学习兴趣、激发创造的动机; 能够让学生在不断的思考中深刻地把握化学知识,启迪学生科学思维,培养科学方法和创新精神; 化学史还能培养学生的爱国热忱,体悟科学家的人文精神,让学生在思想和品德方面得到提高. 对原子结构研究发展历程(图 1) 的分析,有利于激发学生的学习兴趣和构建对原子结构的深度认知,并且能让学生深刻地体会到科学研究的复杂性、感受科学家和历史人物的人格魅力及高尚的精神涵养.

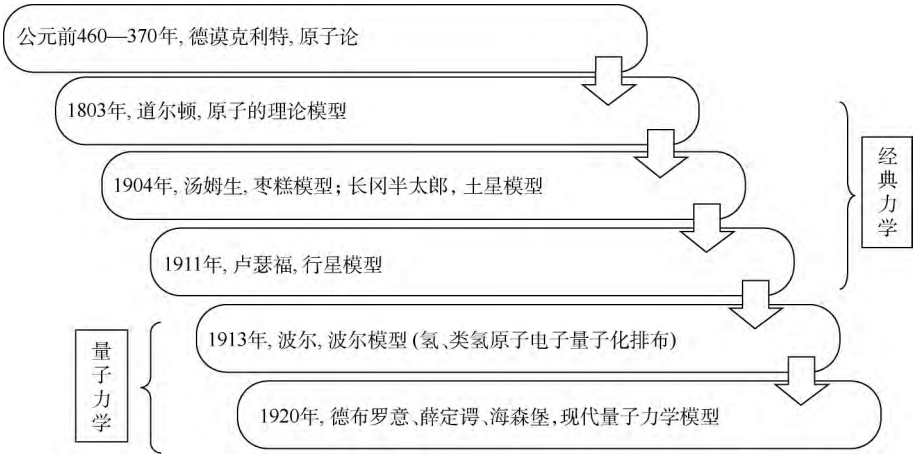


图 1 原子结构研究的发展历史

著名科学哲学家波普尔的批判理性主义指出,科学始于问题. 其猜想—反驳方法论是要说明一切知识都只能通过纠正错误而增长. 由此形成了一个关于知识增长的理论,并且构划出了一个科学发展的模式即: P1—TT—EE—P2……,其中 P1 表示问题 1、TT 表示试探性理论、EE 表示消除错误、P2 表示新的问题 2[6]. 本研究发现,原子结构研究的发展史也正是这样在不断地发展,从古希腊的纯粹哲学思辨,到道尔顿通过实验得出原子的概念; 在此基础之上,人们继续深入探讨原子内部的结构,提出一些假设、试探性的理论,而后汤姆生、卢瑟福等人则通过实验事实推翻之前原子结构模型,提出了各自相应的原子结构模型; 随后发现经典电磁理论与卢瑟福提出的模型不能吻合,以致波尔、德布罗意、薛定谔等的量子力学理论应运而生. 在教学中,教师要以这样的方式让学生感知科学的开放性、发展性,从而深度体验科学探究,培养良好的科学素养.

(2) 构建学生"宏观—符号—微观"三重表征的内在一致性.

"宏观—微观—符号"三重表征是最具特色的化学学科思想及思维方式. 首先是宏观层面,它用来描述可观察的化学现象,即物质在变化过程中表现出来的、可以直接感知到的宏观现象在学习者头脑中的反映; 其次是微观层面,它用来表征物质的微观世界,比如原子结构、微粒运动、分子之间的作用等等; 再次是符号水平,它是用化学式和化学方程式等化学用语在宏观辨识与微观探析之间搭建桥梁.

学生在化学学习中,遵循宏观感知、符号表示和微观建构 3 个步骤. 这 3 者之间是有机关联的,而非相互割裂的板块. 不仅要让学生能够运用感官感知物质的宏观性质,还要运用特有的化学语言表示

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物质的性质及其变化,更要在头脑中建立物质的微观结构模型. 如在学习原子结构相关内容时,要让学生构建原子结构的两层三重表征模型(图 2) . 具体来说,第一层是初步认识原子结构的“元素—元素符号—构成”思维体系,以碳为例,其中元素是指从性质的角度来宏观感知比如黑色,元素符号是以“C”来表示,构成则是探析碳原子由哪些部分组成. 第二层是深入认识原子结构的“带电性—示意图—电子状态”思维体系,从可宏观感知的带电性去理解原子的核外电子,然后用原子结构示意图去表征原子的基本结构,继而进一步探讨微观世界里电子的运动状态. 使得三重表征具有内在一致性,消除众多的迷思概念,如调查显示的很多学生错误地以为电子是绕原子核作圆周运动等.

(3) 微观世界中,要以量子力学的动态认知摒弃经典力学的机械图景.

到目前为止,原子结构理论的发展可以概括为一个以量子力学的动态认知摒弃经典力学机械图景的过程. 具体来说,从图 1 中可以得出,原子结构模型理论的发展经历了由猜想到实证,由哲学思辨到实验科学; 从原子不可再分,到行星模型,人们的认识逐渐由静态的原子到动态的原子. 随着量子力学的发展,从薛定谔方程中得到的不同的解,从而对原有的电子有固定轨道的模型进行批判,指出有不定的原子轨道,而后又通过形象的“电子云”的概念对于电子的运动予以描述. 所以,电子的运动轨道

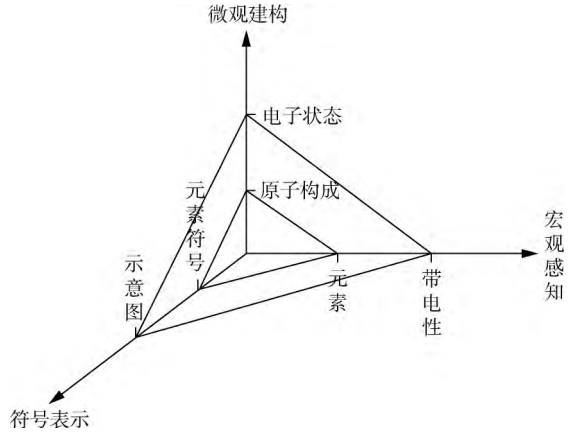


图 2　原子结构的两层三重表征模型图

不是固定不变的,而是一直在变化,不能够准确测出,电子大概率在一个范围内作无规则运动,这是当今科学认识的最高水平.

因而在教学中,需要让学生意识到在微观世界中微粒的运动不同于宏观物体的运动,其规律不能用经典力学进行分析探讨. 所以虽然在知识层面,量子化、测不准等内容不做要求,但是这种思想需要让学生有所感知,清楚地认识到微观世界并不是一幅机械的图景. 另外,教学中还需要指出,虽然后来被否定了的那些科学史的重要人物及其理论,并不是没有价值,而是在肯定其历史价值的同时要辨析出其局限性所在. 甚至现在的基于量子理论的原子结构理论,也不是完美,后续一定有更加适切的理论出现. 通过这种方式,培养学生动态的、辩证的思维方式,从而达成良好的科学素养.

参 考 文 献

[1] 王晶, 郑长龙. 义务教育教科书化学九年级, 上册 [M] . 北京: 人民教育出版社, 2013: 53 – 55.
[2] 宋心琦. 普通高中课程标准实验教科书·化学必修 2 [M] . 北京: 人民教育出版社, 2007.
[3] 宋心琦. 普通高中课程标准实验教科书·化学选修 3 [M] . 北京: 人民教育出版社, 2009.
[4] 张霄, 马薇, 吴晗清. “原子结构发现史”中科学要素剖析及教学反思 [J] . 化学教学, 2016(4) : 33 – 36.
[5] 宋天佑. 无机化学(第二版) 上册 [M] . 北京: 高等教育出版社, 2009: 113 – 143.
[6] 中华人民共和国教育部. 义务教育化学课程标准(2011 年版) [S] . 北京: 北京师范大学出版社, 2012: 24.
[7] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(实验) [S] . 北京: 人民教育出版社, 2003: 12.
[8] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(实验) [S] . 北京: 人民教育出版社, 2003: 20.
[9] 波普尔. 猜想与反驳 [M] . 傅季重,纪树立,周昌忠,等,译. 上海: 上海译文出版社, 1986: 317.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Teaching Research on Schematic Diagram of Atomic Structures

WU Hanqing[1,2] ZHANG Hongzhi[1]

(1. Teacher Education Institute, Capital Normal University, Beijing 100037;
2. Institute for Chemical Education, Capital Normal University, Beijing 100048)

Abstract

The atomic structure diagram is a graphical representation of the relationship between the number of nuclei and the electrons. However, what does it mean and what is the "misleading" message? A survey of 225 high school students in Beijing's model high school had been found and it was found that two-thirds of the students could't fully understand the meaning of the atomic structure diagram, a lot of students could't correctly understand the movement of electronic state, but most students were interested in this in-depth study. This study pointed out that it was necessary to combine the history of chemistry with the students to realize the deepening of the theory of atomic structure, to construct the intrinsic consistency of the triple sign of students' macro-symbol-microcosm, to substitute the dynamic cognition of quantum mechanics for mechanical picture of classical mechanics, and to build the correct understanding of the atomic structure.

Keywords: atomic structure diagram; electronic arrangement; chemistry teaching; history of chemistry; triple characterization

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net