

提高原子结构教学质量的思路与策略

朱国贤*, 陈静, 潘荣楷

岭南师范学院化学化工学院, 广东 湛江 524048

摘要: 原子结构是无机化学中的重要内容和教学难点, 对教育工作者提出了极大挑战。如何突破教学难点, 一直是教师关注和亟需解决的问题。本文从精心设计课堂教学思路, 以量子力学原理为主线并贯穿于整个教学内容中, 要求学生做好预习以提高听课效率, 采用问题导向式教学, 借助多媒体手段把枯燥单调的知识变得生动有趣以激发学生的学习热情, 结合发展史培养学生的科学精神与创新能力等方面探讨了原子结构教学过程, 能帮助学生更好地学习、理解并掌握知识, 提高课堂教学质量和学生学习效率。

关键词: 原子结构; 教学方法; 量子化学

中图分类号: G64; O61

Enhancing the Teaching Quality of Atomic Structure: Insights and Strategies

Guoxian Zhu*, Jing Chen, Rongkai Pan

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

Abstract: Atomic structure, a fundamental topic and teaching difficulty in inorganic chemistry, poses significant challenges for educators. Overcoming these obstacles has remained a constant concern for teachers, necessitating urgent solutions. In this study, we explore the teaching process of atomic structure by employing a meticulously crafted classroom approach, centered around the principles of quantum mechanics, and interweaving the entire curriculum. Emphasizing the importance of active student engagement, we encourage thorough preparation, leverage problem-oriented teaching methods, and harness the power of multimedia tools to transform dry and monotonous content into vivid and captivating lessons. By instilling an appreciation for the historical context and development of atomic structure, we aim to nurture students' scientific spirit and foster their innovative abilities. Ultimately, our approach strives to enhance students' learning, comprehension, and mastery of the subject matter, resulting in improved classroom teaching quality and heightened learning efficiency of students.

Key Words: Atomic structure; Teaching methods; Quantum chemistry

原子结构是无机化学中的重要内容^[1], 是学生认识物质及其结构的基础理论, 在教材中占有重要地位。学生若能把本单元知识学好, 对于后续各章内容的学习均能打下牢固的理论基础, 对于理解化学键的形成, 领会杂化轨道理论和分子轨道理论, 认识晶体结构以及掌握元素及化合物的性质等都会起到重要作用。本章要求学生能理解微观的原子结构与宏观的元素周期律递变规律的内在联系, 能从微观的视角认识物质世界, 其中涉及到很多抽象的概念、深奥的基本假说和理论, 是教学的难点, 也是师生必需共同攻克的难点。在实际教学中, 学生学习该章内容时, 发觉很多理论、假说与日常生活和经验脱节, 而且与平时的学习思维方式迥然不同, 这使得学生理解知识时异常困难,

收稿: 2023-05-08; 录用: 2023-07-21; 网络发表: 2023-08-23

*通讯作者, Email: zhugxian@163.com

基金资助: 2021年度广东省教育厅一流本科课程; 2019年广东省高等教育教学改革项目

感觉乏味,似有“虚无缥缈,高深莫测”的感觉,易产生厌学、焦虑情绪。教师授课时同样也觉得困难重重,花了大量时间和精力备课及上课,却未能达到预期的教学目标,有时甚至陷入“束手无策,一筹莫展”的窘境。因此,在教学中如何提高学生学习的积极性?如何改进教学方法和教学手段,引导学生积极思考,以提升学生的空间思维能力和想象力?如何带领学生走进奇妙的微观世界?这是每一位化学工作者应该积极思考且必须解决的课题。本文结合多年的教学实践与反思,谈谈对原子结构课堂教学的总结和体会,希望能为广大师生提供有益的参考,以期进一步改善本课程的教学质量。

1 师生的知识储备

本章知识面宽,难度大,深度厚,而且相当一部知识与数学、物理密切相关,如玻尔理论、薛定谔方程、波函数和原子轨道等,这些知识看不见、摸不着,似无形“鸿沟”,牢牢地锁困着教学,这无疑对教师的知识结构提出更高的要求,教师除了有扎实的化学知识外,还要具有牢固的数学和物理知识基础(见表1)。教师只有具备宽广厚实的化学、数学、物理知识后,才能把教材理解透彻,才能把握教材重点、难点以及深奥的假说和理论用简单、准确的语言清晰地表达,才能让课堂气氛生动活泼,才能起到“一览众山小”的作用。

该内容学生在中学阶段已经学习过,并有一定的基础,但大学化学在知识的容量、深度和广度上比中学化学都有较大的提升,而且本章注重从微观揭示事物本质,具有“突跃性”难度。学生学习时除勤奋学习、刻苦钻研外,也需要一定的高等数学及大学物理的基础知识,还要具备一定的微观思维能力及空间思维能力,因此,从师生知识结构方面认清本章教学难度大的缘由,有助于师生勠力同心,共同攻破教学难关。

表1 与本章部分知识点相关数学物理知识*

章节	知识点	相关数学物理知识
1.4 原子结构的玻尔行星模型	氢原子光谱	电磁学、光学、原子物理学
	玻尔理论	力学、电磁学、光学、原子物理学、量子力学
1.5 氢原子结构(核外电子运动)的量子力学模型	光和微粒的波粒二象性	光学、量子力学
	薛定谔方程的求解	数学分析、解析几何、微分方程、量子力学
	波函数与原子轨道	概率统计、量子力学
	概率密度与电子云	概率统计、量子力学
	核外电子的运动状态(四个量子数)	概率统计、量子力学
	原子轨道角度分布图、电子云角度分布图、电子云径向分布函数图	解析几何、概率统计、量子力学

*本文的章节名称、顺序参照文献^[1]

2 课堂教学设计思路

化学专业的人才培养目标是坚持学校“师范性、教学型,地方性、应用型”的办学定位,培养德、智、体、美、劳全面发展,掌握化学基本理论、基础知识和基本技能,负责任、强能力、善创新的优质应用型人才^[2]。根据无机化学课程标准,编制原子结构的教学要求:(1)本章第1,2,3节与中学内容重叠,让学生自学。(2)第4节原子结构的玻尔行星模型:了解氢原子光谱、玻尔理论、波粒二象性,建立定态、激发态、量子数和电子跃迁4个概念。(3)第5节氢原子结构(核外电子运动)的量子力学模型:初步理解量子力学对核外电子运动状态的描述方法(即电子云),理解s、p、d原子轨道与电子云的形状和空间的伸展方向;初步理解核外电子的运动状态,掌握四个量子数的物理意

义及四个量子数对核外电子运动状态的描述，掌握核外电子可能状态数的推算；了解原子轨道角度分布图和径向分布函数图的意义。教师需根据课程教学要求和该章内容，潜心备课，用心钻研教材，分析教材，梳理该章知识点(见图1)，合理设计课堂教学内容和教学进度，改进教学方法，突出重点、突破难点，这样才能更有效地达成教学目标。

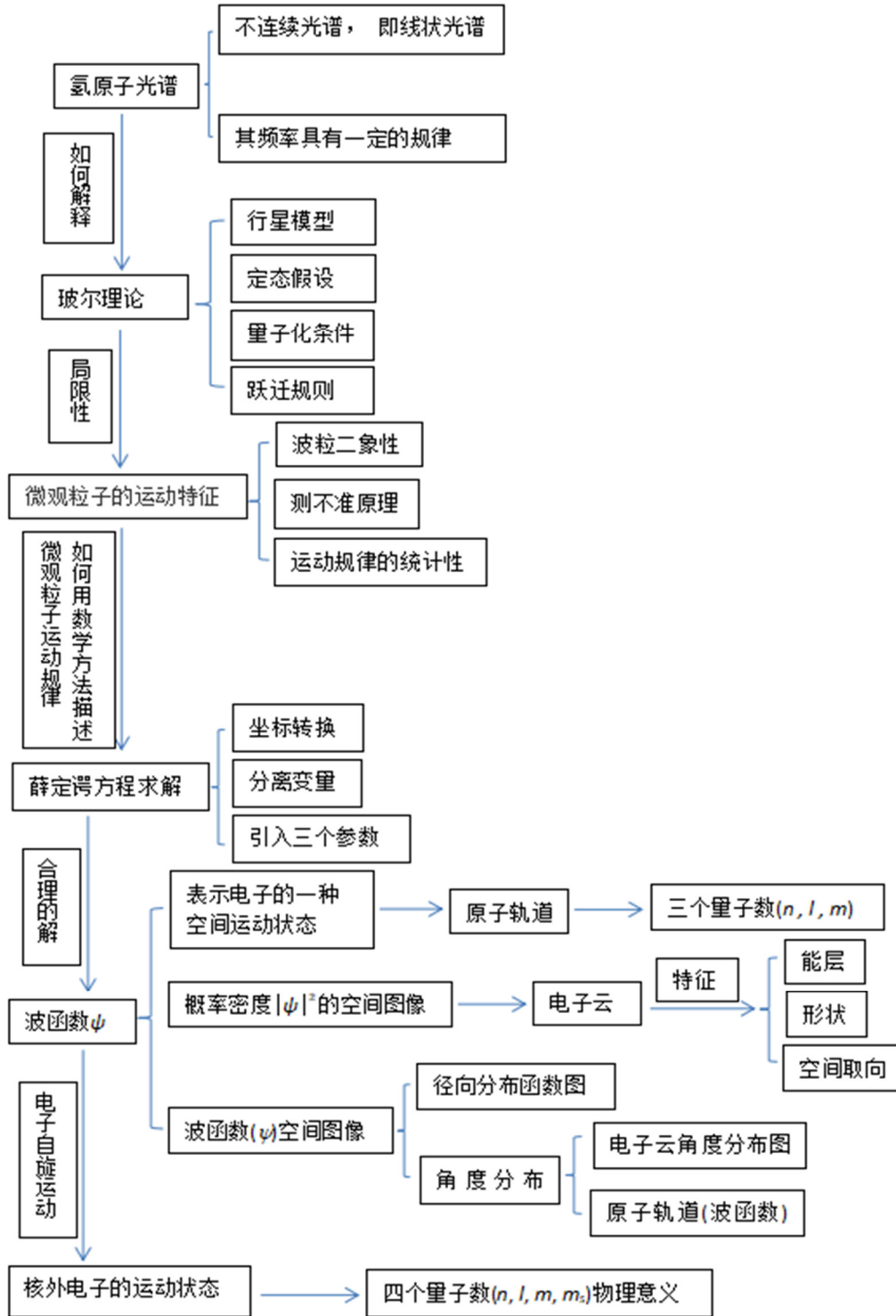


图1 本章知识点

3 课堂教学内容的组织与实践

3.1 以量子力学为主线，贯穿于原子结构教学中

量子力学是研究微观粒子运动规律的学科，主要研究原子、分子、凝聚态物质，以及原子核和基本粒子的结构、性质的基础理论，在物质结构知识体系中起着基础性、先导性的作用。因此，在原子结构教学中抓住量子力学这一主线，从实验现象(氢原子光谱)出发，提出假设(玻尔理论)，解释实验现象(氢原子稳定和光谱现象)，假设局限性(因电子具有波粒二象性)，通过实践修正旧假设或提出新的假设(氢原子的量子力学模型)，再继续验证，最后得出科学理论，然后应用新理论(见图2)。这样，通过应用量子力学的基本观点和结论，层层剖析，深入浅出地讲解，使学生能正确描述核外电子的运动状态，正确认识氢原子结构的量子力学模型。

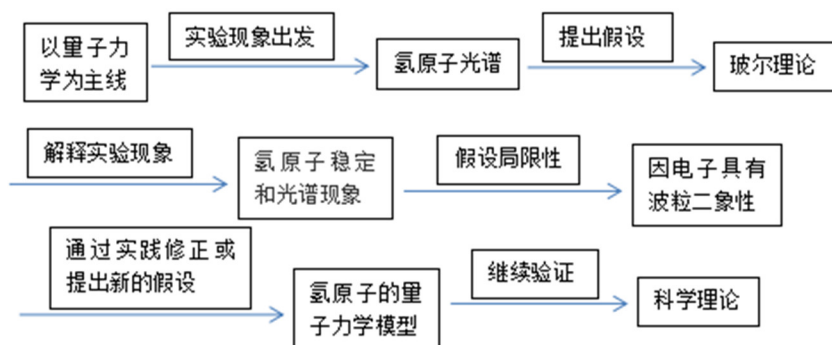


图2 课堂教学思路

授课时，由于学生首次接触“量子”概念，对“量子”这两字感到茫然，因此有必要先讲解什么是“连续”（物理量的变化没有最小单位），什么是“不连续”（物理量变化有最小单位），什么是“量子”及“量子化”？（一个物理量如果存在最小的不可分割的基本单位，则这个物理量是量子化的，并把最小单位称为量子）。什么是“量子力学”（如前所述）。并指出“量子力学”基本内容包括波粒二象性、光电效应、海森堡不确定原理、薛定谔方程、原子轨道，电子云、四个量子数等，这样，学生对“量子力学”有初步了解，也容易接受“量子力学”的基础理论，为学习后面的知识打下良好的基础。

经过一段时间学习，学生对量子力学有进一步认识，在学习四个量子数时，学生就容易理解。课堂上，教师首先要解释四个量子数的由来：在解薛定谔方程时，为了得到合理的解(波函数 ψ)，引入三个量子数，分别称主量子数 n 、角量子数 l 和磁量子数 m 。为描述电子自身旋转运动，引入自旋量子数 m_s 。其次着重讲解四个量子数的取值范围、物理意义等知识点(见表2)。再次难点在磁量子数 m ，强调每一个取值代表一种取向(伸展方向)，每一种取向代表一个原子轨道，这一点学生较难理解。把四个量子数知识点归纳成表3，进行对比讲解，让学生更能深入理解四个量子数的物理意义、量子化条件及相互之间的关系，为学生学习后续知识，如：每个电子层最多容纳的电子数为 $2n^2$ 个(n 代表电子层)等，打下良好基础。这时教师与学生共同归纳总结：由主量子数 n (能层)、角量子数 l (电子云形状)、磁量子数 m (电子云的取向)可以描述核外电子的空间运动状态(轨道运动)；用以上三个量子数及自旋量子数 m_s (电子自旋)这四个量子数描述核外电子的运动状态。四个量子数确定，电子在核外空间的运动状态就确定。这样，使学生对氢原子的量子力学模型有进一步理解。

事实上，本章知识点环环相扣，紧密相连，具有严密的逻辑性又有较强的理论性，若老师能理清教学思路，抓住教材本质，将量子力学贯穿到本章具体教学内容中，简明扼要、化难为易、条理清晰地讲授，学生听课更能专心致志，更容易领会知识，学习更富有乐趣，教与学才会轻松，课堂教学效率将会大大提高。

表2 四个量子数的取值范围及物理意义^[3]

量子数名称及符号	取值	主要意义
主量子数 n	1, 2, 3... n , 正整数	表示核外电子出现概率最大区域离核的远近, 决定电子能量高低的重要因素
角量子数 l	0, 1, 2... $n-1$, 有 n 个值	表示原子轨道或电子云的形状, 与多电子原子中的电子的能量有关
磁量子数 m	0, ± 1 , ± 2 ... $\pm l$, 不能大于 l , 也不能小于 $-l$, 有 $2l+1$ 个取值	决定原子轨道或电子云在空间的伸展方向
自旋量子数 m_s	$+1/2$, $-1/2$	决定电子的自旋状态

表3 四个量子数和电子运动状态

主量子数 n		角量子数 l			磁量子数 m			自旋量子数 m_s		可能运动状态数		最多可							
能层	光谱符号	取值	电子云形状	能级符号	取值	原子轨道		取值	表示方式	可能空间运动状态数	可能运动状态数	容纳的电子数							
						符号	总数												
1	K	0	球形	$1s$	0	$1s$	1	$\pm 1/2$	$\uparrow\downarrow$	1	2	2							
2	L	0	球形	$2s$	0	$2s$	4	$\pm 1/2$	$\uparrow\downarrow$	4	8	8							
													1	哑铃形	$2p$	-1	$2p_x$	$\pm 1/2$	$\uparrow\downarrow$
																	0		
+1	$2p_z$	$\pm 1/2$	$\uparrow\downarrow$																

3.2 做好预习, 提高课堂效率

古人云: “凡事预则立, 不预则废”。原子结构内容常常呈现“反常规”理论, 趣味性不足, 学生对这部分内容普遍感觉抽象难以理解。为了让学生能更容易和更好地学习和理解教学内容, 做好预习是首要一环, 为此, 课前教师把预设的教学思考题布置给学生, 要求学生提前学习, 积极思考, 这样, 上课时学生方可做到有的放矢听课, 听课效率会大大提高。

例如, 在讲授1.4原子结构的玻尔行星模型前, 教师布置如下预习思考题: (1) 氢原子光谱特征? (2) 原子为什么能稳定存在? (3) 玻尔理论的主要内容是什么? (4) 玻尔理论的成功与局限性? (5) 微观(实物)粒子波粒二象性? (6) 海森堡不确定原理? 等等。要求学生带着问题去阅读和理解教材内容, 有条件的学生还可以通过资源共享网络平台拓展学习来加深理解, 自主预习完成后, 要求学生将不明白的、有疑问内容标注出来, 课堂上“带着自己的问题”重点听讲。开始讲课时, 学生会提出问题: 研究核外电子运动为什么从氢原子光谱开始? 老师解释: 因为氢原子光谱是所有元素的光谱中最简单的光谱。接着讲解氢原子光谱特征: 线状光谱并且其频率具有一定的规律。随后老师引导学生思考: 电子绕核做变速运动, 要不断地向周围发射电磁波, 电子的能量就要不断减少, 最后电子要落到原子核上, 这与原子通常是稳定的事实相矛盾? 学生思考片刻后, 老师引出玻尔理论, 并讲解玻尔理论的主要要点: 行星模型、定态假设、量子化条件和跃迁规则, 其中用定态假设可解释原子能够稳定存在。学生还会提出疑问: 玻尔理论还能解释其他原子光谱吗? 这时老师指出: 玻尔理论不但回答了氢原子稳定存在的原因, 而且还成功地解释了氢原子和类氢原子的光谱现象。但是, 玻尔的原子模型却无法说明多电子原子的光谱, 甚至不能说明氢原子光谱的精细结构。老师进一步解释: 玻尔理论虽然引用了普朗克的量子化概念, 却没有跳出经典力学的范围。而电子的运动并不遵循经典物理学的力学定律, 而是具有微观粒子所特有的规律性。这时学生很自然会问: 核外电子的运动有什么特征? 老师讲解: 电子质量很小, 运动速度快(接近光速), 运动空间范围很小, 所以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(粒子性和

波动性),无法同时测定它的空间位置和动量。这样学生就自然明白微观电子运动和宏观物体运动的区别,也不难理解“海森堡不确定原理”。学生还会提出疑问:波粒二象性中粒子性和波动性有什么联系?教师引出德布罗意关系: $\lambda = h/P = h/mv$,指出通过普朗克常数把两者联系起来。教师继续引导学生思考:既然无法确定核外电子的运动轨迹,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,从而引出“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。这些问题由浅入深,层层递进,将该章的多个知识点贯穿成一条线,可以帮助学生化繁为简,扬长避短,正确认识微观世界,理解和掌握微观知识。

因此,引导学生做好课前预习,可帮助学生养成良好的学习习惯,培养学生自学能力和独立思考能力。课堂上教师以问题为导向,启发学生积极思考问题、分析问题,有效地激发学生的求知欲,培养学生的创新思维。

3.3 巧用多媒体,突破教学重难点

随着科学技术不断进步和发展,多媒体技术已成为教学中常用的一种手段。它集文字、声音、图像、动画等多种形式于一体,创造出一个图文并茂、绘声绘色、生动逼真的教学环境,给学生耳目一新、身临其境的感觉,这能吸引学生注意力,调动其主动学习的积极性^[4]。正如托尔斯泰说:“成功的教学所需的不是强制,而是激发学习兴趣”。

电子云是教学重点难点之一,教学中,除用传统的静态图像、球棍模型来辅助讲解外,还可以利用三维动画来展现核外电子运动状态,这时可以观察到整个空间“繁星点点”,小黑点一瞬间出现在这里,一瞬间出现在那里,其中在原子核周围出现机会较多。学生觉得很好奇,会发问:每一个小黑点代表一个电子吗?教师让学生思考一会,回答:每一个小黑点不代表一个电子。每一个小黑点表示电子在核外空间每一瞬间出现的位置,也表示电子在核外空间出现的一次机会——引出概率概念,电子在某单位体积内出现的概率则称为概率密度,所以概率等于概率密度与该区域总体积的乘积。学生会提出疑问:平时从课本或教科书看到的电子云图像是怎样描绘成的?老师解释:假想将核外一个电子每个瞬间的运动状态进行拍摄,并将这样数万张照片重叠,得到统计效果图(见图3),看上去好像一片带负电的云状物笼罩在原子核周围,形象地称为电子云图。教师继续讲解:电子云是电子在原子核外空间概率密度分布的形象描述,如图3氢原子的1s电子云示意图,用小黑点的疏密程度来表示电子在原子核外出现概率密度的大小。小黑点密处(疏处)表示电子出现的概率密度大(小)。接着教师提问:s电子云是球形的,是不是说明电子在做圆周运动?学生有些茫然,教师让学生思考后解释:电子不是在做圆周运动,凡处于s状态的电子,它在核外空间中半径相同的各个方向上出现的概率相同,所以s电子云是球形对称的,不存在取向问题。这样,通过静态、动态教学,学生较容易理解电子云概念。接着教师向学生展示p电子云教具、图片和动画等,并提出问题:电子是沿着“8字形”的轨迹运动吗?这时学生似乎明白,异口同声地说:不是。教师解释:回答正确。p电子云沿着某一个坐标轴的方向上电子出现的概率密度最大,在另两个坐标轴上电子出现的概率密度几乎为零,在核附近也几乎为零,所以p电子云的形状呈哑铃形。p电子云有三种不同的取向(伸展方向),分别为 p_x 、 p_y ,和 p_z ,见图4。这样,学生对电子云形状和取向有进一步理解。

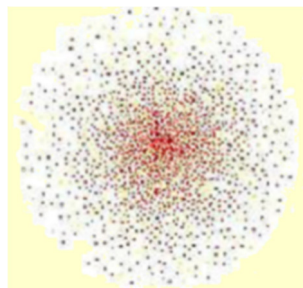


图3 氢原子的1s电子云示意图

学生在理解和掌握 s 、 p 电子云概念后,对 d 电子云呈十字花瓣形及在空间五种取向(伸展方向), f 电子云形状(复杂不具体介绍)及在空间七种取向(见图4),原子轨道,原子轨道(波函数)角度分布图,电子云角度分布图,电子云径向分布函数图等知识就会触类旁通、迎刃而解。另,对这些重点难点问题的解释,录制成微视频让学生课后学习,以加深学生对重点难点知识的理解和掌握。

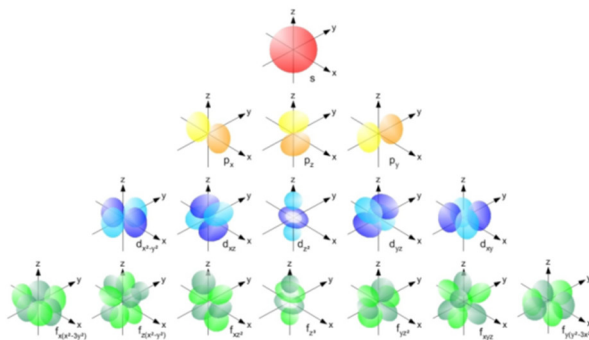


图4 电子云的轮廓图

多媒体教学,凭借其形象性、趣味性、新颖性,弥补了传统教学中的不足,用生动、形象的动画影视图像,尤其在随后晶体结构学习中,可使微观结构可视化、复杂图形直观化,实现了重点难点的突破,有效培养了学生的空间思维、微观思维、动态(概率)思维,能使学生较为轻松地理解宏观物体的运动和微观粒子的运动的区别,理解晶体宏观结构与微观结构的联系,领会微观粒子的运动规律,激发学生学习热情,提高学生学习效率。

3.4 结合发展史,培养学生的科学精神

科学的发展和完善是一个漫长的过程,每个理论、定理、定律都饱含着科学家的辛勤和艰辛,都浸润着科学家的坚持和奋斗。在课堂中讲述某一理论或定理的萌芽、发展和完善过程,让学生深切体会这个过程的艰难曲折,以此激励学生热爱科学、刻苦努力,锲而不舍,掌握本领,将来为国家和社会的发展贡献自己的力量^[5]。

例如讲述原子结构时,向学生说明正确的原子结构模型是在众多科学家做出了巨大贡献基础上建立的^[6]。先介绍英国化学家道尔顿原子理论,他于1803年提出物质世界的最小单位是原子,这些原子是微小的不可分割的实心球体,即原子结构的“实心球”模型。当英国化学家汤姆逊在发现电子后,于1904年提出原子结构的“葡萄干面包”模型。汤姆逊模型认为正电荷均匀分布在原子球体内,而带负电的电子则散布在原子中对称的位置上,整个原子呈电中性。而英国物理学家卢瑟福在进行 α 粒子散射实验时发现绝大多数 α 粒子穿过金箔后几乎沿原方向前进,少数 α 粒子穿过金箔后发生了较大偏转,极少数几乎沿原方向返回;该实验结论是否定了长期以来的“葡萄干面包”原子结构模型,1911年建立了原子的“核式结构”模型。从道尔顿到卢瑟福,前后经历了一百多年,科学家们终于解释了传统的原子结构,即:原子中心有个很小带正电的原子核,带负电的电子绕核做高速的圆周运动。丹麦物理学家玻尔在接受卢瑟福的“核式结构”模型后遇到了无法回避的矛盾(原子的稳定性问题和线状光谱问题),他把普朗克1900年提出的量子假说、爱因斯坦1905年提出的光子假说与卢瑟福的“核式结构”模型结合起来,于1913年提出原子结构的“玻尔行星”模型(主要内容见3.2节),成功地解释了原子的稳定性和氢原子的线状光谱。20世纪20年代以来,直到量子力学建立后,科学家们提出氢原子结构的“电子云”模型,人们才对原子结构及原子核外电子的运动有了基本正确的认识。通过对原子结构模型演变过程的讲授,增加了课堂的趣味性,让学生对每个模型有较深刻的理解,提高学生学习原子结构知识的兴趣,同时也让学生明白科学每前进一步,都充满着科学家的智慧,都凝聚着科学家的心血和汗水。

课后要求学生通过查阅资料,了解晶体学发展简史,指导学生学习科学家的探索求真,追求真理,敢为人先,勇攀高峰,甚至为科学和真理而献身的科学精神,引导学生树立正确的人生观和价值观。

4 结语

本章内容深奥,概念抽象,理论逻辑性强,成为教师难“教”与学生难“学”的“老大难”问题。如何突破教学“难点”,一直是教师不断探索和追求的目标。本文从师生的知识结构分析了教学难度大的缘由,精心设计课堂教学思路,以量子力学为主线,并贯穿于整个教学内容中,要求学生做好预习,以培养学生自主学习能力,采用问题导向式教学,借助多媒体手段,把枯燥单调的知识变得生动有趣,激发学生的学习热情,渗入发展史,培养学生的科学精神与创新能力,从而提高课堂教学质量和学生学习效率。教学是一项漫长而又艰苦的工作,任重而道远,需要教师不断努力与付出,不断提高自身的业务水平,不断更新教育教学理念,坚持与时俱进,这样,才能为社会培养出更多高素质专业人才。

参 考 文 献

- [1] 北京师范大学, 华中师范大学, 南京师范大学. 无机化学(上册). 第5版. 北京: 高等教育出版社, 2020: 14-68.
- [2] 朱国贤, 潘荣楷. 大学化学, **2022**, *37* (6), 2107126.
- [3] 武汉大学, 吉林大学, 南开大学. 无机化学(上册). 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2019: 57-83.
- [4] 周彩华, 邓玲娟, 陈佑宁, 张君才. 大学化学, **2022**, *37* (4), 2110097.
- [5] 朱国贤, 谢木标, 陈静, 湛志华, 潘荣楷. 大学化学, **2021**, *36* (3), 2007048.
- [6] 杨贺晴, 臧宏瑛. 大学化学, **2023**, *38* (8), 55.