

两个里程碑的回眸与启迪——纪念道尔顿创立原子论二百周年 与卢瑟福提出元素蜕变理论一百周年

李华隆 马爱珠

(绵阳师范学院 四川绵阳 621000)

A Backward Glance over the Two Milestones ——Commemorating the Second Centennial Anniversary of Dalton's Atomism and the Centennial Anniversary of Rutherford's Radioactive Decay Theory

Li Hualong, Ma Aizhu

(Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan 621000)

200 年前——1803 年, 英国化学家道尔顿(J. Dalton, 1766~1844)在曼彻斯特“文哲会”上, 第一次系统地阐述了他的关于原子论及原子量计算的见解。在道尔顿的眼里, 原子是一个一个不生、不灭的和不可分割的实体, 与古希腊人虚拟的原子有着根本的差别, 这差别就在于原子已是一种有质量、可量度的构成物质的基本单元。从而把人们对物质结构的认识建立在近代科学的原子之基础上, 从此化学发展开始了一个新时代。道尔顿提出的原子论, 在化学发展史上树起了一座丰碑。

当历史的指针走过 100 年进入 1903 年时, 英国理学家卢瑟福(E. Rutherford, 1871~1937)在一篇题为“放射性变化”的论文中正式提出了放射性元素蜕变理论。该理论明确指出, 元素是可以变的, 原子是可以分的, 从而把人们对物质结构的认识引入一个更深层次, 此后科学家的共同努力建立了原子结构理论, 可以说这在化学发展史上树起了又一座里程碑。

前后 100 年间, 原子的这一“立”——“破”, 不是时间的巧合或历史的嘲弄, 而是自然科学发展的必然。当我们今天纪念道尔顿创立原子论 200 周年和卢瑟福提出蜕变理论 100 周年时, 回眸这一段历史, 探讨道尔顿和卢瑟福等科学家们在自然科学急剧变革时期促成重大发现和理论上重大突破的科学思想和研究方法, 可以从中获得宝贵的精神财富并得到有益的启迪。

1 近代化学的奠基石——道尔顿的原子论

18 世纪末, 各主要资本主义国家进入产业革命时期, 在生产迅速发展的推动之下, 不仅为自然科学的发展提供了极为广泛的研究领域和新的实验手段, 而且促使自然科学由运用观察、实验解剖等经验方法收集积累材料的阶段进入到对所获得的经验材料进行综合整理、使之上升为理论的阶段。就化学而言, 从拉瓦锡建立了燃烧氧化论以后, 不仅排除了燃素说的障碍, 使过去燃素说中倒立着的化学正立过来, 走上正确的研究方向, 而且对物质和物质的变化从定性

李华隆 男, 57 岁, 副教授, 主要从事结构化学与化学史的研究。

2002-11-15 收稿, 2003-05-09 修回

的认识转入了定量的研究,在大量的实验基础上总结出了物质的组成和化学反应的一些经验定律,如质量守恒定律、当量定律、定组成定律等。虽然这些定律仅是一些观察材料和实验记录的经验总结,但是它们对于理论概括是不可缺少的基础材料,这为道尔顿的原子论的建立创造了必要的条件。

为什么物质在变化中质量守恒?为什么化合物组成是一定的?为什么各元素相互化合存在着当量关系?化学家们力图了解这些经验定律的内在根据。道尔顿抓住了化学这一学科的核心和本质的问题,主张用原子的化合与化分来阐明各种现象和各个化学定律的内在联系,同时,他首先把原子量的概念引入化学,成为他原子理论突出的创新点从而成为近代科学原子论的奠基人。

道尔顿从 1787 年起就开始每天从事气象观测,继而对大气物理性质感兴趣,他研究了空气的组成、混合气体的状态和气体的扩散及气体在水中的溶解,从中发现气体的热膨胀定律和混合气体的分压定律,并且推论出空气是由不同的终极质点(微粒)混合组成,确认了“原子”的客观存在。再由此出发,通过化学实验测定原子的相对质量,从定性观察发展到定量测定,并经逻辑推理,逐步建立起了近代科学的原子论体系。

1803 年 10 月 18 日,道尔顿在曼彻斯特的“文哲会”上第一次宣读了他的有关原子论及原子量计算的论文。1808 年他在《化学哲学新体系》一书中进一步系统地阐述了他的原子论,其基本要点是:(1)元素的最终组成称为简单原子。原子是不可见的,既不能创造,也不能毁灭和不可再分割的。它们在一切化学变化中保持其本性不变;(2)同一元素的原子其形状、质量及其性质相同,不同元素的原子在形状、质量及其性质上则各不相同。每一种元素以其原子的质量为最基本的特征;(3)不同元素的原子以简单数目的比例相结合,就形成化学中的化合现象。化合物的原子称为复杂原子。复杂原子的质量为所含各种元素原子质量之总合。同一化合物的复杂原子,其组成、形状、质量和性质也必须相同。

道尔顿的原子论,在今天看来似乎是不足为奇,而且还有许多错误,但在化学发展历史上则具有划时代的意义。道尔顿的原子论不仅使炼金术的踪迹荡然无存,而且使当时的一些化学基本定律得到深刻而简明的统一解释,因此得到化学界普遍承认。由于道尔顿首次提出原子量是原子的最基本特征,同时把测定相对原子量作为化学的基础建设,才使化学真正走上定量科学的发展阶段。道尔顿提出的原子概念,已不是德谟克利特(Democritus, 公元前 460~约 370, 古希腊)或笛卡尔(R. Descartes, 1596~1650, 法国)那种形而上学的概念而是实证的概念。由此原子取得了一个能用数量来表达和能在宏观物体上表现并可用实验方法来检验的特性。同时,在道尔顿的原子论中,第一次阐明了元素与原子的关系,把原子论与元素学说统一起来,从而使化学成为一门真正独立的科学。道尔顿的原子论不仅促进了 19 世纪化学大发展,而且成为了建造 19 世纪化学理论体系的奠基石。

正如化学史学家莱斯特评述的那样:“虽然道尔顿的理论在许多方面是错误的,主要原因是其中有不少死板和武断的假设,但它毕竟为化学家们提供了许多重要的新思想和新概念。它使过去含糊不清的原子有了精确的定量依据;使元素概念有了前所未有的明确性;在表述定比定律和倍比定律时对化合物中各种元素的不连续性作出了解释,并且提出了用图形来表示化合物

中原子排列的办法,借以显示出化合物的实际结构。19 世纪的化学能有长足的进步,都是这些思想不断发展的结果”^[1]。道尔顿的原子论开创了化学科学全面、系统发展的新时期,因此恩格斯(F. Engels,1820~1895,德国)说:“化学中的新时代是从原子论开始的(近代化学的始祖不是拉瓦锡,而是道尔顿)”^[2]。

2 打开原子大门的钥匙——卢瑟福的放射性元素蜕变理论

自 19 世纪道尔顿提出原子论后的 100 年间,化学跨入了近代化学的蓬勃发展阶段。原子分子论的确立,使化学有了最基本的理论;有机结构理论的建立把庞杂的有机物纳入条理分明的科学体系;物理化学的兴起,不仅给化学注入了新的活力而且沟通了化学和物理的联系;特别是元素周期律的发现和完善使混乱无序的元素知识系统化,概括到一个新的理论高度,从而使化学形成了一门系统科学。这样,一方面 19 世纪化学理论体系的建立推动了整个近代化学的迅速向前发展,取得了足以使化学家们感到自豪的巨大成就;但另一方面,这个理论上的基础——原子不能再分,化学元素不能变的机械唯物论和形而上学的自然观逐渐在大多数化学家思想中生根,并形成了一种信条,成为化学进一步发展的障碍。

到 19 世纪末,面对着化学自身发展所提出来的,诸如原子价概念的本质是什么?怎样解释原子光谱?如何理解离子概念和电离学说?元素周期律的实质是什么等一系列问题,化学家们都束手无策。事实上,要解决这些问题的关键就是必须揭开原子内部结构的秘密。鉴于认识方法和实验手段,揭开原子内部结构这一重大课题再单纯地依赖化学家来完成显然是很困难的,打开原子大门的钥匙很自然地掌握在对电磁学研究颇有深厚基础和实验仪器比较先进的物理学家手中。这时,具有开创精神的卢瑟福成为了开启原子大门的重要人物,他手中的钥匙不是别的,就是放射性元素蜕变理论。

1899 年 1 月,卢瑟福发表了一篇题为“铀辐射及其产生的电传导”的重要论文。在论文中他写道“这些实验表明铀射线是复杂的,其中至少包含两种不同的射线,一种非常容易被空气吸收,为了方便起见称为 α 射线;另一种具有较强的穿透力,可称为 β 射线。”1903 年,卢瑟福采用极强的磁场作用于镭射线,发现射线被分为三股,除已知的 α 、 β 射线外,第三股射线不受磁场作用,穿透力却是最强,卢瑟福将它取名为 γ 射线。 α 、 β 、 γ 射线的发现,引导人们认识到原子内部结构的复杂性。

也就是在 1899 年,欧文(R. B. Owene,1870~1940)从钍的放射性变化无常中发现了“钍射线”。居里夫妇在研究镭的放射性时曾发现镭周围的空气也会变成具有放射性的。1900 年德国道恩(F. E. Dorn, 1848~1916)研究了这个奇异现象,发现镭在连续不断地放出一种具有放射性的气体,称它为“镭射气”。

这些异常现象使卢瑟福意识到,要了解放射性的本质还必须了解放射性元素本身的变化。1904 年冬,卢瑟福与化学家索迪(F. Soddy, 1877~1956)合作,对镭射气进行研究。他们发现这种气体的放射性强度随时间不断减弱,这说明具有放射性镭射气在逐渐消失。他们又与研究惰性气体的专家拉姆塞(W. Ramsay, 1852~1916,英国)合作,将溴化镭溶于水,把放出的镭射气连同空气充入气体射电管进行光谱分析,发现了新谱线,新谱线的强度随时间不断减弱正与镭射气的放射性强度减弱的现象一致。同时却又发现随着镭射气谱线减弱,相应地出现了一种逐渐

增强的谱线，这正是拉姆塞所熟悉的氦的谱线。当拉姆塞进一步研究钍射气时，发现它与镭射气是同一种放射性新元素，并将它命名为氦。上述实验无疑证明了氦在自发地转变为氦。这一重要发现为元素蜕变理论的建立提供了最早的实验依据。

同一时期，1900 年克鲁克斯(W. Crookes, 1832~1919, 英国)用氨水处理一种铀盐溶液时，他惊奇地发现，将铀分离出后的残渣具有强烈的放射性，而再溶解的铀的放射性反而减弱。他认为，这是从铀盐溶液中分离出来了一种“新元素”，暂时取名为铀 X(后来称为铀 X_1 ，实际上是 ^{234}Th)。贝克勒尔(A. H. Becquerel, 1852~1908, 法国)做了类似的实验也得到相似的结果，并且他还发现，具有强烈放射性的残渣放置一年后丧失了放射性，而失掉放射性的铀反而恢复了放射性。

1902 年，卢瑟福和索迪用氨水处理硝酸钍溶液时发现，分离出氢氧化钍其放射性显著降低，而将不含钍的滤液蒸干所得的残渣却比原来的母体的放射性更强。他们把这种与钍的化学性质不同的残渣命名为钍 X(实质上是 ^{224}Ra)。接着卢瑟福和索迪发现这种钍 X 的放射性随时间的推移逐渐减弱，一个月后放射性消失。而放置一段时间的母体却又恢复了原有的放射性。

为了寻找问题的答案，卢瑟福和索迪仔细地研究了铀和钍的放射性随时间的变化关系，由实验数据制作出铀 X_1 和钍 X 的放射性与其母质的放射性再生的变化曲线。衰减曲线的形状表明了放射性强度是按指数关系变化的。由于放射性强度和放射性元素的存在量成正比，进而可以推导出放射性原子的数目是随时间按指数关系蜕变的。为了方便起见，卢瑟福用半衰期来描述一种放射性元素的放射强度。

随着越来越多的天然放射性元素不断被人们分离出来和被认识，它们之间的某些嫡变关系就愈来愈清楚了。卢瑟福和索迪分析和归纳了这些实验结果，掌握了放射性元素的原子在放射性过程中一定要蜕变的确凿证据，于 1903 年正式提出了放射性元素蜕变理论。这个理论阐明，放射性是由于放射性原子本身蜕变成另一种原子而引起的。这与一般的化学反应截然不同，它不是原子间和分子间的变化，而是原子本身的自发变化，在变化过程中放射出 α 粒子(该过程称为 α 蜕变)、 β 粒子(称为 β 蜕变)和 γ 射线。放射性母原子经过一系列的蜕变而形成一些新元素的原子，并且每一种元素具有特征的半衰期。元素蜕变理论成功地解释了上述的放射性元素的放射现象。1904 年，卢瑟福的名著《放射性》(第一版)出版，进一步系统地阐述了物质的放射性与元素的蜕变理论，奠定了早期核化学的基础。

1908 年，当卢瑟福完全辨明： α 射线是带两个正电荷的氦原子核，速度大约为两万千米每秒的粒子流； β 射线是电子流，大约十万千米每秒； γ 射线是比 X 射线波长更短的电磁波时，对放射性原子蜕变这一事实不可能再怀疑了，蜕变理论此时更显现出它的巨大意义。1908 年，诺贝尔奖金委员会对卢瑟福关于放射性物质蜕变的领域中所作的开拓性研究的报道就是极好的说明。报道指出：“核裂变理论和基于这一理论的一些实验结果，已导致了化学的一些基本概念的新颖的和更加广泛的解释。在 19 世纪，原子和元素是代表化学分解过程中的最终单位，因而这也是实验研究的限度。至于超越这一限度所存在的一些问题，都是模糊的和得不到结果的。这一长而无法越过的边界障碍，现在已经被拆除，至少在理论上已经不存在了。元素永远不变的定律，难于再保持下去了……。迄今所获得的这些结果，不仅本身有很大的重要性，而且也许

对将来的研究开辟许多种可能途径更加重要”^[3]。后来的自然科学发展的历史进程完全证实了这一论断。

3 原子—“立”、—“破”的启迪

3.1 物质结构探索中认识的历史局限性与认识的不可穷尽性

自然科学发展的因素是复杂的，其发展的曲折性，有时是来自传统观念的束缚，有时又是来自习惯势力的责难和阻挠，更多的是来自历史局限的认识因素。这就是说，一个理论或学说，往往此时看作是正确的，而彼时又认为是错误的了，直至几经曲折反复之后，才能获得科学的结论，达到一个新的认识的高峰，而且仍不是认识的终结。原子的一立、一破就充分说明了这一认识过程。

由于历史的局限性，无论是以德谟克利特为代表的古代朴素原子学说或是以牛顿(I. Newton, 1642~1727, 英国)为代表的机械原子论均认为原子是一些大小、形状不同但本质相同的微粒。当时，他们的假定缺乏实验根据，也没有定量的意识，故纯属臆测。道尔顿的原子论中，其创新点不仅是阐明了不同元素的原子在性质和质量上都是不同的，即对原子进行了科学的描述，还在于引入相对原子量的概念，即原子量是元素的基本特征，还提出了原子量计算方法，列出了第一张原子相对质量表，第一次把纯属臆测的原子概念变成一种具有一定质量的、可以由实验来测定的物质实体，他的这一意义深远的开创性工作使模糊的原子假说变为近代科学的原子理论。有了创新的“立”，才使原子论有了本质的发展。后经瑞典化学家贝采利乌斯(J. J. Berzelius, 1779~1848)经过 20 年来对几十种元素的原子量进行准确的测定，特别是 1860 年卡尔斯鲁厄国际化学家大会后，原子论获得多数科学家的认同。

19 世纪末化学发展所提出的一系列问题的症结，就在于必须揭开原子内部结构的秘密，元素不能变、原子不能再分割的信条已成为化学前进的障碍。就在这时，X 射线、放射性、电子的发现已使原子内部有复杂结构初见端倪，20 世纪初卢瑟福与索迪提出的元素蜕变理论则彻底地打破了元素不变性与原子不可分割的传统观念。像其它新生的革命理论一样，放射性元素蜕变理论一问世，就立即遭到当时物理界和化学界元老们的强烈反对。例如，晚年的门捷列夫(D. I. Mendeleyev, 1834~1907)公开反对元素蜕变思想，因为他认为元素的原子不能变，这是元素周期律得以成立的前提。英国科学界泰斗开尔文(L. Kelvin, 1824~1907)更是竭力反对，一再提出镭产生氦和铅，并不能证明原子蜕变，很可能镭本身就是由 4 个氢原子和一个铅原子构成的化合物。门捷列夫和开尔文这种看法代表的不仅是他们个人，而是当时许多化学家认同的观念。卢瑟福挑战这种观念是需要勇气的，好在当时尊重科学实验的事实所形成的科学精神已深入人心，为卢瑟福的创新理论减少了阻力，当不断涌现出的大量实验事实进一步证明元素蜕变理论的科学性，促使大多数物理学家和化学家们的思想获得解放，向原子进攻和“分裂原子”成为 20 世纪初最振奋人心的口号。

元素蜕变理论的提出是继电子的确认、放射性的发现之后，迈出了揭开原子内幕极为重要的第一步。尔后，在卢瑟福与他的助手、学生们坚忍不拔地用 α 粒子对原子发起一次次猛攻之下，1911 年发现原子是由原子核和电子组成，建立起了原子的“行星式模型”；1917 年，打碎了氮原子核，击出了质子，由此提出了原子核的“质子-电子模型”；1932 年发现了中子，从而

建立起原子核的“质子-中子模型”。这一历程表明：科学家们在原子结构的探索中，从有严重缺陷的(行星式模型)甚至是错误的(质子-电子模型)认识，一步步进入到相对正确的(质子-中子模型)认识轨道上来。由此可见，人们在探索物质结构的征途中每出现一次曲折反复，也都是朝着揭示自然界客观真理的方向上前进了一大步，而且这种探索是永远不会停止的，因此对物质结构的认识也是不可穷尽的。

3.2 科学研究方法与追求真理的精神

道尔顿不仅以他的原子论在化学史上竖起了一座丰碑，而且还给人们留下了宝贵的精神财富，那就是他的科学研究方法和追求真理的精神。

道尔顿从观察气象开始到确立原子论的全部过程中，充分表现出他在科学研究的方法上重视实验观察、擅长逻辑推理，具有把观察与思考、实验材料的积累和新颖的理论构思结合起来的特点。道尔顿还具有丰富的想象力，他把原子符号化、图式化，非常直观、明晰地展示出气体原子。在他的想象中，原子是以数学的准确性有条不紊地排列着，而它们的不同组合和变动能解释各种可能发生的现象。例如，道尔顿把形象思维和逻辑思维巧妙地结合起来，在他的构思中，气体原子有一个处于中心的硬核，周围被一层热质所笼罩。由于热质的存在，因而气体原子间产生排斥力。当温度越高时，此种热质就越多，则彼此间的排斥力就越大，这就形象而生动地解释了在体积不变的条件下，温度越高压强就越大的现象。尽管道尔顿的实验仪器和实验技术并不是一流的，所得的实验数据也并不很精确，然而由于他具有通过勤奋自学、独立思考而获得的科学研究方法，使得道尔顿能够抓住由实验提供的数据与线索中本质的东西，运用逻辑思维去把握原子的存在与运动，从而成为近代科学原子论的缔造者。

道尔顿一生清贫、俭朴，过着一种“午夜方眠，黎明即起”的勤奋自学生活。除锲而不舍地追求真理之外别无所求，他把一生都奉献给了科学事业。他对科学的卓越贡献和对真理的执著的追求精神备受人们敬仰，1816 年被选为法国科学院通讯院士，1926 年获得英国皇家学会金质奖章。当有人问道尔顿成功的秘密是什么时，他回答说：“有的人能够远远超越其他人，其主要原因与其说是天才，不如说他能专心致志地学习和不达目的决不罢休的顽强精神。”

3.3 成功来自于正确认识与开创精神

发端于 19 与 20 世纪之交的物理学革命，荡涤着旧的机械论物质观、运动观及时空观。在这一大变革中，一方面代表先进科学思想的辩证唯物主义逐步兴起；而另一方面，一些科学家对旧理论失去信心后，除了经验之外什么都不相信了，于是具有浓厚主观唯心主义色彩的实证主义和唯能论的思潮也在滋长。居里夫妇在 1898 年发现镭时，就已经发现镭使它周围的空气也具有放射性。但由于受当时法国实证主义哲学和唯能论的影响，居里夫妇把放射性仅仅看作是一种能，忽视了对放射性及其有关物质的研究，从而失去了发现元素蜕变的良机。这一机遇却被具有朴素辩证唯物主义思想和开创精神的青年卢瑟福紧紧抓住。

1895~1898 年间卢瑟福作为汤姆逊(J. J. Thomson, 1856~1940)的研究生时已显露出他的卓越才干，因此汤姆逊在推荐卢瑟福到麦克吉尔大学任教时的推荐书中写到：“在独创性的科学研究中，我从未见过比卢瑟福先生更加热情和干练有为的学生……我认为，不论那个大学，若能请卢瑟福先生担任物理学教授，将是十分幸运的”^[4]。

1898 年,在居里夫妇发现放射元素钋和镭后,卢瑟福加入了这一激动人心的研究领域,并很快成为这个新领域的带头人。正如前述,他从铀、镭的放射性本质入手进行实验,当实验证明幅射是由 α 、 β 、 γ 三股射线组成时,就敏锐地洞察到放射性元素的原子内部具有复杂的结构,进而认识到还必须了解放射性元素自身的变化。于是他又对放射性元素的放射现象及其蜕变后的生成物进行了一系列的研究。在大量的实验事实的面前,卢瑟福不惧科学界权威们的强烈反对,敢于向传统的理论和观念宣战,大胆地提出了放射性元素的蜕变理论,引起了化学领域的一场深刻革命,使化学的研究走向深入到原子内部结构的新阶段。这也许是卢瑟福 1908 年获得诺贝尔化学奖而不是物理学奖的主要原因。可以说卢瑟福是获得诺贝尔化学奖的第一位物理学家。

4 结束语

200 年前道尔顿顺应 18 与 19 世纪之交自然科学发展的需要,创立了原子论,使化学实现历史性的跨越,进入到近代化学的大发展时期。100 年后,在 19 与 20 世纪之交,同样也是顺应自然科学发展的需要,卢瑟福提出放射性元素蜕变理论及其后遂被揭示的原子结构,拉开了现代化学的序幕。这表明,自然科学发展到什么程度,科学方法和认识水平就发展到什么程度。因此,不要苛求在道尔顿的历史时期就认识到元素的可变性和原子的可再分割性。尔后的现代原子结构理论,也不是对道尔顿原子论的全盘否定而是修正其中的错误;明确其合理的使用界限;揭示原子更深层次的结构和阐明组成原子的基本粒子之间的运动规律,使人们对物质结构的认识达到一个新的理论高度,更加驶近自然科学真理的彼岸。

人类对物质结构探索经历了漫长的道路,曾经扮演过基本粒子角色的原子先后被电子、质子、中子以及中微子、 π 介子、 μ 介子等所取代,后来又由称为“夸克”或“层子”的上台扮演这个角色。新的结构单元,新的粒子还将不断地涌现,探索还在继续,人类对物质结构的认识是不可穷尽的。

参考文献

- [1] [美]亨利·M·莱斯特 著. 吴忠 译. 化学的历史背景. 北京:商务印书馆, 1982: 172.
- [2] [德]恩格斯 著. 曹葆华, 于光远, 谢宁 译. 自然辩证法. 北京:人民出版社, 1967: 248.
- [3] [瑞典]A. 韦斯特格伦 著. 严舫, 贺溥, 郭传杰 译, 胡来东 校. 诺贝尔化学奖. 科学与哲学, 1985(4-5): 132~133.
- [4] [新西兰]约翰·罗兰 著. 姜炳忻 译. 欧内斯特·卢瑟福. 北京:原子能出版社, 1978: 31.
- [5] 周嘉华, 张黎, 苏永解 著. 世界化学史. 长春:吉林教育出版社, 1998: 180~187, 355~394.
- [6] 赵匡华 编著. 化学通史. 北京:高等教育出版社, 1990: 92~104, 278~287.
- [7] 袁翰青, 应礼文 编. 化学重要史实. 北京:人民教育出版社, 1989: 73~81, 403~412.
- [8] 廖正衡 主编. 中外著名化学家传略. 长春:吉林教育出版社, 1994: 394~407, 126~13.
- [9] 凌永乐, 李华隆 编著. 物质结构的探索. 北京:北京出版社, 1998: 31~63.