

原子物理二、三事

江向东

科学史中有着不少动人的传说和故事，诸如：阿基米德（Archimedes）受到自身在浴盆中浮升的启示，发现了浮体的平衡原理；伽利略（Galileo）通过观察比萨教堂中挂灯的摆动，从而认识了动力学的基本规律；伽瓦尼（Galvani）解剖青蛙时的偶然机遇，导致了电流的发现和电池的产，等等。它们显示出人类的创造性是那样的杰出，而叙述的事物却是那样的平凡。可是，随着经典物理学时代的结束，新的物理学领域与我们所在的日常世界，观念上相距愈来愈远。

科学家们正在向微观世界越来越深的层次进军，研究物质结构的层次越深入，相应的实验装置就越庞大。正如杨振宁先生在《基本粒子发展简史》中精辟阐述的：“向庞大的体积发展的这种必然的趋向是不幸的，因为它阻碍了自由的和个人的创造，并使研究工作变得比较不够亲切、不够生动和不易于掌握。但是，它必须作为生活中的现实来加以接受”。我们在接受这种现实之时，为了从历史上那些生动的研究工作的故事中求得一些经验和启发，不妨回顾一下有关原子理论的一些人和事。

一、道尔顿和原子论

关于物质原子结构的哲学性臆说，源远流长，花样繁多。但这些没有实验证据的定性的猜想，不能作为科学真理。1803年，英国科学家道尔顿（J. Dalton）提出的原子论，不仅开创了化学研究的新纪元，也为近代物理学奠定了基础。

道尔顿早年是一个乡村中学教师，在他人的影响下，对气象学有了持久的兴趣。从1787年他二十一岁时起，到他逝世为止，五十七年中共作了气象纪录约两万条。他从气象学的研究，进而开始了大气成分和性质的研究，而其关于混合气体扩散和分压的研究，最后几乎直接导致了物质结构的原子学说。

早道尔顿一百多年，牛顿（I. Newton）在《光学》一书中，提出过物质构造的微粒说。为解释粒子间的相互作用，牛顿提出了一种独立于重力和电磁力之外的短程力——化学亲合力的概念，并把很多化学的和物理的现象，例如化合、分解、溶解和蒸发等等，都归结于这种短程力的作用。人们在继承科学大师的学说时，往往对其中的谬误也深信不疑。因此，在道尔顿时代，化学亲合力几乎无所不在。1793年，道尔顿在《气象观察和随笔》一书中，指出“水雾的蒸发和凝聚不是化学亲合力的效应”，“水的蒸汽压强在恒温下是一常数”，并且第一次提出了关于分压定律的主张：“混合在一起的不同气体相互间没有影响”。这些主张，显然是轻视了传统的观念，可是，它们没有立即引起反应。

1801年，道尔顿在尼柯尔森（W. Nicholson）新创办的月刊上发表了“混合气体，尤其是大气的结构的新理论”。他在此文中再次强调了分压定律：“当两种弹性流体A与B混合在一起时，A微粒之间相互排斥，但不排斥B微粒。因此，加在一个微粒上的压力，完全来自与它相同的微粒”。这一次的反应迅速而又广泛。贝托雷（C. L. Berthollet）当时正在研究牛顿的亲合力，他藐视混合气体的新理论，认为它是“上不得画面的臆想”；戴维（H. Davy）认为它“新得离奇”；汤姆逊（T. Thomson）在《化学系统》第一版中对这一理论的批评更苛刻；以致连曼彻斯特文哲社也不知对这位秘书（当时道尔顿任该社秘书）如何是好。

细心的观察，大胆的推理和近乎固执的信念，乃是道尔顿研究工作的特色。为了给他的受着种种攻击的混合气体理论提供实验证据，他开始全力钻研各种气体在大气中的比例关系。在此研究过程中，他触及并澄清了气体在水中的溶解度问题。他在1802年的一篇文章认为：“二氧化碳并非因化学亲合力而溶于水，仅仅是由于气体…在表面的压强，是力使它进入水中的空隙。”道尔顿的密友，化学家亨利（W. Henry），当时正为论证气体对水的亲合力而做着一系列实验，结果却得到了与道尔顿的理论相吻合的“亨利定律”。后来，亨利公开承认：“道尔顿先生显示给我的，并与我的实验相吻合的这个理论就是：气体被水吸收纯粹是力学效应。”

溶解度问题归结为力学效应后，道尔顿进而要解决的难题是：为什么不同气体溶于水中的体积不一样？这自然导致这样的解释：组成不同气体的基本微粒的重量不同。他紧紧抓住溶解度的问题，于1803年10月将“气体被水和其它液体吸收”这篇论文提交给曼彻斯特文哲社。这篇文章不仅阐明了上述猜想，还提到没有写入这篇文章的一个原理，即原子论。他写道：“……尽我所知，考察物体的最终粒子的相对重量是一个全新的课题；近来我对这个考察进行得很有成效。这篇论文不能述其原理，但可照我的实验所测定的，附录其结果。”文末附有世界上第一张原子量表。在他9月6日的笔记中，人们可以看到当时他对原子的定义：“物体的最终原子乃是在气体状态时被热围绕着的质点或核心。”另外，还记叙了有关原子的大小、种类以及原子量的测定方法等。同年12月，道尔顿到伦敦皇家讲学院（Royal Institute）讲演，他用原子假说，简单明确地给出了各种氧化氮的公式和原子量。听众之一的戴维，仍深信牛顿的观点，将道尔顿的思想却看作“精巧而无要目”的思维游戏。这种评价出自一

位高水平的、严谨的 chemist，对道尔顿无疑是个打击。然而，各种批评反而提高了道尔顿的研究效率。1804年，他从实验总结出倍比定律，这可作为原子假说的一个简单推论（定比定律和当量比例定律也是这样）。此后，除了他本人得到了不少实验证据外，各国科学家的研究成果，也为原子假说提供了一系列“旁证”。1808年，道尔顿的《化学和哲学新系统》的第一部终于问世，这正式宣告了化学原子论的诞生。事实正如道尔顿1807年在爱丁堡演讲时所表示的信念：“我不怀疑，它迟早将在化学系统产生最重要的影响，并且，整个科学将简化得非常简单且意义非常明了”。

二、一场历时半个世纪的争论

在道尔顿的理论中，除了对一些化合法则的假定带有任意性外（例如将水元素定为HO），一个主要的欠缺是没有想到分子的概念。这一欠缺使学术思想混乱了五十余年。

就在原子论正式发表的那年，法国化学家盖-吕萨（J. L. Gay-Lussac），综合大量实验结果，得出了气体反应时的体积定律：“各种气体在彼此起化学作用时常以简单的体积比相结合。”根据这个实验定律，他得到一些合乎逻辑的推论，另外还提出一个假说：“在同温同压下，相同体积的不同气体中含有相同数目的原子。”盖-吕萨自认这一定律是对道尔顿学说的一个有力的支持，不料却遭到道尔顿本人的拒绝和反对。道尔顿认为，不同物质的原子大小一定不同，故而在相同容积内不可能含相同数目的原子。再者，按盖-吕萨的假说，势必导致气体反应中原子可分割的结论，这与道尔顿的“原子不可分”的观点尖锐对立。这一矛盾导致了分子假说的建立。

1811年，意大利物理学家阿佛加德罗（A. Avogadro）发表了一篇论文，他以盖-吕萨的实验为基础，经过推理，提出了分子的概念。他认为：原子是参加化学反应时的最小质点，而分子是由原子组成的一种能具有物质特性的较复杂的粒子，化学变化只不过是不同物质分子间各原子的重新组合。他根据盖-吕萨的实验定律而提出：“一切气体在相同体积中含有相等数目的分子。”按照分子假说，上述矛盾便迎刃而解。遗憾的是，这一正确思想，却长期未被采用。原因是在当时的实验条件下，没有充分的证据来证实它；而同时原子论的创立者道尔顿固执地认为同类原子因互相排斥而不能结合成分子；另外瑞典化学家贝采里乌斯（J. J. Berzelius）关于分子构成的电化二元论一度统治着化学界，而他的电化二元论与阿氏的分子学说有不相容之处。

1860年9月，各国化学家在德国的卡尔斯鲁厄召开国际会议。会上化学家们各持己见，争论不休，最后只得“科学问题，不能勉强一致，只好各行其事”作

罢。但在散会时，一个叫康尼查罗（S. Cannizzaro）的意大利人散发他的关于论证分子学说的小册子。康尼查罗在这本小书里据理分析、论据充分、方法严谨，对道尔顿、盖-吕萨和阿佛加德罗等人的疏忽之处一一加以澄清，并为确定原子量提出了一个非常合理的令人信服的方法，很快得到了化学界的承认。康尼查罗对原子-分子论虽无创见，但为其确立和发展扫除了障碍，并将这一学说整理成为一个协调的系统。

可见，原子-分子论的创立，虽然不能忽视上述道尔顿等人的个人作用，但它也与其它科学的成就一样，凝聚着众多科学家的心血，且蕴藏着时代的智慧和创造力，是自然科学发展的必然结果。

三、十九世纪末的三大发现

十九世纪末有三个连续的年份与近代物理学史上的三个重要发现相联，那便是：1895年-X射线；1896年-放射性；1897年-电子，三年三大发现！这些发现，打破了道尔顿的“最终”原子，还打破了后来才知晓的原子核，把科学研究引上了一条出人意料的路径。

早在1675年，有人就发现了“托里西里发光”现象。到了1709年，经实验证明，这种光是玻璃管中的水银与管壁摩擦生电后，管中稀薄气体发出的辉光；是电致发光。当时，谁也不曾料到这一现象深远的科学意义。随着电力工业的发展，促使人们对气体中的放电现象进行深入的研究。1858年，德国的玻璃吹制工人盖斯勒（H. Geissler），利用托里西里真空原理制造了水银真空泵，并制出了低压气体放电管。他发现，当管内气压降到5毫米汞高时，加上高电压，管中稀薄气体便发出辉光，其颜色随不同气体而异。这就是绚丽多彩的霓虹灯的前身。到了1865年，德国人斯普伦格（H. J. P. Sprengel）制成了水银流注高真空泵，使这方面的技术有了提高。几年以后，英国科学家克鲁克斯（W. Crookes）将这项研究发展到一个新阶段。他从1870年起，就考察气体放电现象。到了1879年，他发现了异常现象：当真空管中的气压降至0.5毫米汞高时，在阴极附近便出现一段不发光的暗区，且暗区随气压的降低而扩大。降至0.01毫米汞高以下时，则全管变暗，不再发辉光，而正对阴极的玻璃壁却发出荧光。后经许多人研究证明，这种荧光是因阴极发出的一束射线激发玻璃管壁而引起的。这束射线是一种带电的粒子流，因它来自阴极，故称之为“阴极射线”，而产生它的这种高真空放电管便被称为“阴极射线管”。

阴极射线的发现，激起了各国科学家深入研究的兴趣，于是导致了接二连三的重大发现。

1895年1月5日，德国物理学家伦琴（W. K. Röntgen），在研究阴极射线引起的荧光时，突然发现一种意外的现象：离高真空放电管两米远的涂有铂氰化钡的纸屏，居然也发出荧光。他用黑纸将放电管包裹起

来,纸屏仍发荧光。只是当放电管停止放电时,荧光才消失。显然,这种荧光是由放电管发射出来的一种未知射线引起的。他将这种未知射线称作“X射线”。对X射线的进一步研究得知,这种射线穿透力很强,能使密封的照相底片感光,因它并不为磁场所偏转,故不是穿透玻璃壁的阴极射线。后来他断定,X射线是玻璃壁受到阴极射线的轰击而产生的,并且,任何物质受到阴极射线的轰击都会产生X射线。于是,他在放电管正中对着阴极的地方放置了一个靶子(或称“对阴极”),制定了X射线管。同年12月28日,伦琴发表了自己的研究成果。这使得一些人恍然大悟,原来,研究高真空放电管的人,必然会遇到X射线。早在1876年,克鲁克斯研究放电管时,多次发现放在实验台附近的照相底片“自动”曝光,但他误以为产品质量差,到工厂退了货。美国物理学家古德斯培德在1890年2月22日也曾偶然得到一张X射线的照片,造成这张怪照的原因五年后才真相大白。

高真空放电管的玻璃管壁发出荧光的同时,还发出X射线,这两种光线会不会有联系呢?荧光物质在发出荧光时是否都伴随着X射线呢?法国物理学家贝克勒尔(A. H. Becquerel)为了解答这些疑问而着手实验,得到更意外的发现。

由于荧光物质在受到带有紫外光的日光照射后就会发光,所以,贝克勒尔将铀盐放在阳光下曝晒几小时后,再放到密封的照相底片上,果然底片感光了。他又发现这种射线不仅能穿透黑纸,而且能穿透铜或铝的薄片使底片感光。于是他提出报告,认为这种射线“与伦琴研究的射线极其相似,它不是别的,而是荧光现象中产生的不可见射线”。然而,贝克勒尔的进一步实验不久就推翻了这个设想。他将荧光物质在黑暗中放置了三天,这时荧光早已消失,但它使底片感光的能力却毫不减弱。这说明荧光现象与X射线之间没有联系。有一段时间,他还以这种光线的寿命比荧光的长的理由来解释他的设想,但经过反复实验,他终于放弃了原来的设想。1896年5月18日,贝克勒尔在新的报告中说:“我研究过的铀盐,不论是发荧光的还是不发荧光的,结晶的、熔融的或是在溶液中的,都具有相同的性质,这使我得到以下结论:在这些盐中铀的存在是比其它成分更重要的因素……用纯铀粉进行的实验证明了这一假设。”

到此为止,铀的放射性终于被发现了。难以理解的是,象贝克勒尔这类最早研究放射性的科学名流,为

何把研究范围只局限在含铀物质而未顾及其它物质?结果,探索众多放射性新元素的重担,却落在一个思考博士学位还不曾找到论文题目的玛丽(Marie Sklodowska Curie)女士肩上。真乃时势造英雄,几年之间,钍、钋和镭相继被居里(P. Curie)夫妇发现,居里夫人被誉为镭的母亲,两次荣获诺贝尔奖。

十九世纪末第三大发现乃是电子的发现。这一发现,不但使道尔顿的原子变为实在的物理原子,而且打开了基本粒子物理学的大门。

当原子学说和法拉第(M. Faraday)电解定律(1834年)确立后,人们便设想,象物质由原子组成一样,电也是由最小的电微粒组成的,每个微粒带有一个元电荷。关于这种设想,1874年英国人斯托内(G. J. Stoney)提出了电原子说。他用电化当量值除以阿佛加德罗常数,而估计出元电荷的值,并将这种元电荷命名为“电子”。克鲁克斯发现阴极射线之后,对这种射线的本质,有着各种猜想,认为它是“物质的第四态”或“超气态物质”。而英国物理学家J. J. 汤姆逊(J. J. Thomson)在1881年则提出:“在真空管中的阴极射线是带负电的微粒,玻璃发光的原因是由于这种微粒以极大的动能冲击管壁而引起的。”汤姆逊等人推测阴极射线是带负电的,便利用电、磁场能使带电粒子偏转的道理,去研究其本质。1897年,他利用电场和磁场联合偏转作用的方法,证实了阴极射线果然带负电,并测定了它的飞行速度与荷质比(e/m)。他和学生在其它实验中测定了离子所带电荷的数值,还有人用密立根油滴实验测定了阴极射线的电荷值。由 e 和 e/m 的值,便可推得电子质量 m 的值。汤姆逊始称这种粒子为“微粒”,并按斯托内的建议称它所带的电荷为“电子”。后来,人们习惯于把粒子本身叫作电子。

用现在的眼光去看汤姆逊这一有名的实验,自然有简易之感,而在当时,由于受高真空技术的限制,很难得到准确的结果。例如在汤姆逊以前,电磁波的发现者赫兹(H. Hertz)就曾做过相同的实验,但他由于上述缘故而导致“阴极射线不带电”的错误结论。

三大发现引起了自然科学新的变革。虽然很少有人再怀疑物质结构的原子学说,也很少有人再坚持原子不可分的观点,但是,有关建立原子的现实模型,解释一系列的光谱现象以及放射性的来源等等新问题,经典物理学的经验都不适用。于是,在二十世纪初夕,科学家们面临了一个完全陌生而又非常奇特的世界——微观粒子世界。