



(一)

揭开微观世界的秘密

敬 业

在很久很久以前，人们就已开始探索物质是由什么构成的。日、月、星辰、大地、海洋、花、树、禽兽……真是宇宙万物，变化无穷。难道它们天生的就是各不相干的东西吗？难道它们就没有共同的本质吗？或者说，它们是不是共同由某些更基本的东西所组成的呢？

比方说，把海水放在阳光下晒，水晒干了，盐结晶了出来；把海水放在火上煮，水煮干了，盐也结晶了出来。由此人们很自然地会把太阳和火看做是同一种东西组成的，而海水是由水和盐组成的。那么，水又是由什么做成的，盐又是由什么做成的呢？……现在科学发达了，中、小学生都能回答这些问题。人们已经不再去注意，人类为了得到关于物质结构的科学知识，为了了解自然，克服自然和改造自然，从自

然里得到自由，竟花了二千几百年的时间，走过了漫长而曲折的道路。

现在，作为高能物理实验发展史话的开端，我们就从这段历史说起吧。

原子论是怎么产生的

早在西周初期，我国就流传了“五行说”，即世界万物皆由“金、木、水、火、土”五样东西组成。大约在二千三百年前，希腊学者德膜克里特根据水的蒸发，远处闻到花香等现象，认为物体是由许多小得看不到的微粒组成的，他把这种微粒叫做“原子”。原子(Atom)在希腊语中意即不能再分之物。但是在当时生产水平等条件的限制下，人们还不能对“原子”作科学的研究，只能停留在哲学的讨论。

渡过了漫长的中世纪，到了十七世纪，欧洲进入了文艺复兴时代。由于生产的需要，发展了机械学，于是原子论也带上了强烈的机械学的色彩。最典型的是把原子间的结

合，也想象为与日常的机械一样，是由钩子、突起等实现的。后来，牛顿把万有引力的概念引进来，人们才放弃了带有钩子、突起的原子图象，开始认为原子是很小的球状粒子，而且在相互并不直接接触的原子之间作用着类似于万有引力的力。

原子论成为科学的理论，应该说是从化学的研究开始，当时有三

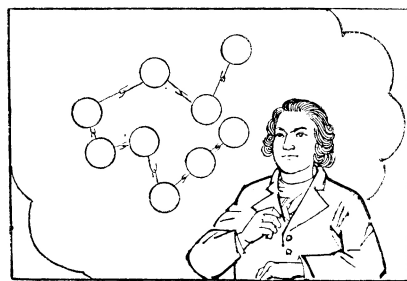


图2 带有钩子的原子



图3 质量守恒
2克氢 + 16克氧 → 18克水

个很突出的实验事实：

(1) 十七世纪七十年代，化学家精密测量了化学反应前后的物质质量，发现在化学反应前后，物质质量的总和不变。这个事实启发人们去设想在化学反应中原子的总数不变。

(2) 发现每一种化合物里面的所有的各种元素有一定比例——定比定律。它启示人们化合物是由化学性质相同的微粒所组成，这种微粒被叫做“分子”。“分子”又是由原

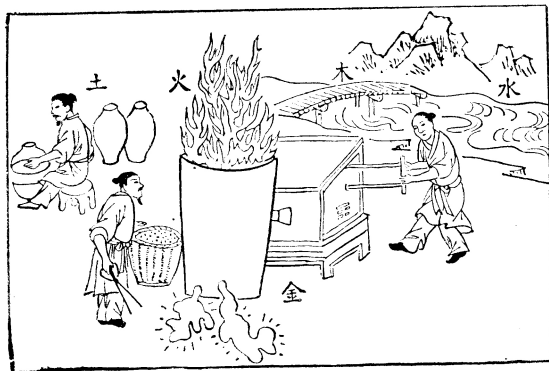


图1

子所组成，组成每个分子的各种原子都有一定的个数。

(3) 发现两种元素如果有两种以上的化合物，那末，这个化合物的元素之间的比例与那个化合物的元素之间的比例之间，又有简单的整数比例关系——倍比定律。它启示人们分子必定是由整数个原子组成的，在一个分子里，不会出现半个原子，或三分之一个原子，……等等。

这样，在原子论成为科学的理论的过程中，出现了原子分子论：(i) 分子是物质保持其化学特性的最小单位，(ii) 化合物的分子是由几种原子(整数个原子)构成的，元素的分子则是由同种原子构成的，(iii) 原子不能创造，也不能破坏。

进入十九世纪，已研究了各种物质的分子和原子的种类。化学家所知道的元素越来越多，性质各异，简直是一团乱麻。在这一团乱麻的背后，有没有规律性呢？在前人研究的基础上，门捷列夫于一八六九年作了一种尝试，他把各种元素按原子重量的次序进行排列，最轻的氢元素排在第一，一直排到最重的铀元素。一行行一列列地排到最后，终于发现了规律性，原来元素的性质与其在元素周期表中的位置大有关系：例如元素周期表中的第一列是碱金属元素——锂、钠、钾、铷、铯；第七列是卤族元素——氟、氯、

溴、碘；另外，铜和白银、黄金并列在一起；……等等。门捷列夫还发现在他的表中有空格，并对应该列入空格的尚未发现的元素作了预言，后来这些元素也都陆续找到了。

门捷列夫的发现，是科学史上的一件大事，是人类探索物质结构征途上的一大进步，因为人类从此对千变万化的物质结构有了统一的科学的认识。

那么，“原子”是不是不可再分割的组成各种物质的最基本单位呢？

原子世界

十九世纪末，人们开始研究阴极射线。在封入稀薄气体的玻璃管的

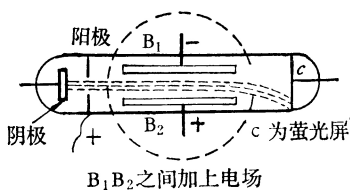


图5 汤姆逊确定电子荷质比的实验概况

据它在磁场和电场中运动时弯转的现象，可判明这种射线是由带负电的粒子所组成的，而且发现它能穿过金属薄膜。汤姆逊利用阴极射线在电场和磁场同时作用下发生的弯曲，测定了阴极射线粒子的速度以及它的质量 m 和它的电荷 e 的比值 m/e 。原来这种粒子的质量约为最轻的氢原子的 $1/2000$ ，这就是电子的发现，它又是一次重大的发现，说明原子不

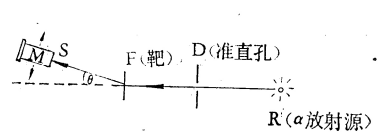


图6a 卢瑟福的 α 粒子散射实验装置示意图

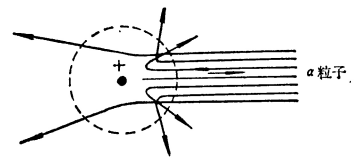


图6b α 粒子在原子核上散射示意图

是物质的不可分的最小单位，它是由带负电的电子与带正电的东西组成的。

但是，汤姆逊的原子结构模型是不正确的。汤姆逊认为原子是带正电的圆球，中间镶嵌着带负电的电子。这种假设很快就被卢瑟福和他的合作者在一九一一年设计的实验所推翻。实验的结果是一九一三年在盖革和马斯登的论文中发表的。实验装置如图6a，图中R为一个镭放射源(RaC)，它发出 α 粒子(即氦原子核)。 α 粒子经准直孔D后，成为一束狭窄的均匀的 α 射线束，射入金属薄叶F。由于各 α 粒子所受原子的影响不同，所以飞行偏转角度各不相同。偏转的 α 粒子打到萤光屏上，可使萤光屏发光，用放大镜M观察萤光屏的闪光，就可知道有多少 α 粒子的飞行方向偏转了 θ 角度。S和M是可以转动的， θ 是可变的，所以可以有系统地观测各种偏转角度的 α 粒子的分布情况。实验发现大多数 α 粒子的偏转并不大，但也有少数 α 粒子偏转角度很大。例如，约有八分之一的 α 粒子偏转角度超过 90° 以上，有的几乎达到 180° (倒弹回来)。这怎么解释呢？很显然，汤姆逊的模型是无法解释的，因为第一， α 粒子比电子重七千多倍，高速的重粒子不可能被很轻的东西所弹回；第二，正电荷在原子里面均匀分布， α 粒子进入原子后，前后左右的正电荷的排斥力必定是来自各个方向，从而

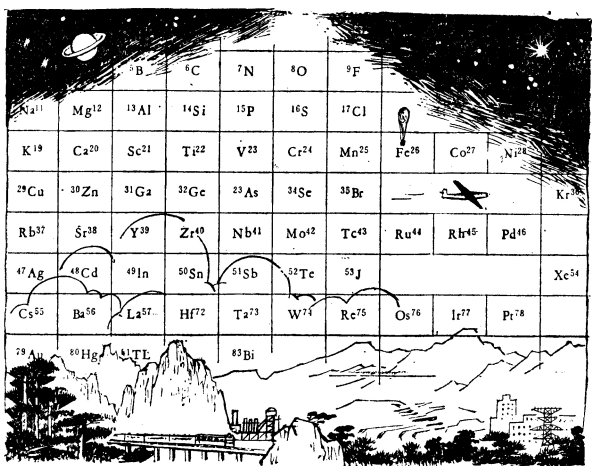
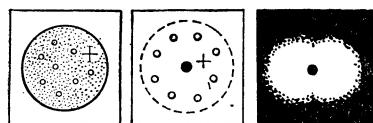


图4 我们周围的一切物质都是由化学元素组成的



1902年 汤姆逊模型 1913年 卢瑟福模型 现代电子云概念

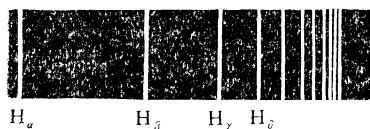
图7 近几十年来人们对原子的认识逐渐改变

必定互相抵消，也不可能把 α 粒子倒弹回去。

于是，卢瑟福提出了有核的原子模型。按照这个模型，在原子中心是一个带正电的几乎集中原子全部重量的原子核，原子核的体积极小，只占原子整个空间的极小部分。假如把原子放大到地球那么大，那么原子核才是直径几十公尺的园球。原子核的周围有带负电的电子在运转。

那么，这些电子是怎样绕原子核运转的呢？这还得从原子光谱说起。

人们从十九世纪中叶起，开始系统地研究各种光源的光谱，发现炽热的气体发出的光线，通过三稜镜就会给出线状光谱。最有趣的是，每种化学元素的炽热气体都各有自己特有的线状光谱。例如：钾的蒸气具有红色线和紫色线组成的光



H_α H_β H_γ H_δ

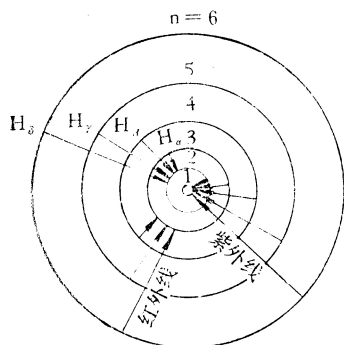


图8 氢原子明线光谱

谱；氢有红色线、兰色线和青色线组成的光谱。由于光是由物质内部发出的，它必定与组成物质的原子的结构紧密相关。针对这个问题，玻尔在一九一三年提出了玻尔模型。他假定原子中的电子轨道不是任意的，它们必须符合一定的条件。按照这种条件，氢原子周围的电子的最小可能轨道

距原子核 0.53×10^{-8} 厘米，其它可能的轨道跟原子核的距离依次是这个数的 $2^2, 3^2, 4^2 \dots$ 等倍。在每一种轨道上运动的电子都有一定的能量，轨道离原子核越近，电子的能量也越低。电子还可以从一个轨道跃迁到另一个轨道。从能量较低的轨道跃迁到能量较高的轨道，需要吸收能量；从能量较高的轨道跃迁到能量较低的轨道，则要放出能量，一般都是放出光子，光子的频率决定于两个轨道的能量的差。例如：在氢的线状光谱中， $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma$ 和 H_δ 的频率分别是 $4.57 \times 10^{14}, 6.17 \times 10^{14}, 6.91 \times 10^{14}, 7.31 \times 10^{14}$ (赫兹)，由此可算出 H_α 线的光子能量为 1.89 电子伏(光子能量 = $h \times$ 频率， h 是普朗克常数)。同时，根据玻尔模型，可算出电子在第三条轨道上运转时的能量，比在第二条轨道上运转时的能量也是高出 1.89 电子伏。所以可以判断 H_α 的光子是电子由第三条轨道跃迁到第二条轨道时所放出的。同样道理可以知道， $H_\beta, H_\gamma, H_\delta$ 的光子分别是电子从第四、第五、第六条轨道跃入第二条轨道时所放出的。这样就建立起了原子的行星模型。对于其它元素的原子也有类似情况。事实上不同的化学元素的原子中，电子数目是不相同的。元素的化学性质完全由原子中的电子的数目及其运转状态来决定，而电子与原子核所以能结合在一起，则是由于电子带负电，原子核带正电，正负电相吸所致。

玻尔模型是不是完全正确呢？也不是。后来，又发展了量子力学。原来在原子核周围，电

子并不是在一条一条的轨道上运转，而是有一定的分布，称为电子云分布。对这个问题，我们在这里就不多讲了。现在我们关心的是：原子已经证明可分成原子核和电子，那么，很重很重的原子核能不能再分呢？

原子核的构造

早在二十世纪初，人们就已先后发现了铀、镭、钋、氡等元素的天然放射性。天然放射性元素放出的放射线有三种： α 射线是高速的氦原子核， β 射线是高速的电子流， γ 射线是较高能量的光子流。经过多次的试验和计算，证实了这三种射线都不可能是原子外层的电子放出的，它们必定是从原子核内部放射出来的。

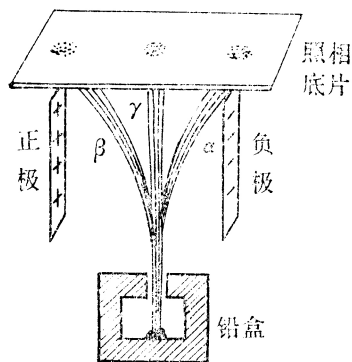


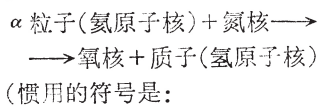
图9 放射性射线在电场中的偏转

于是，人们相信，不但原子可分，原子核也是可分的，不然，它们怎么会放出 α, β, γ 射线来呢？特别是 α 射线中的 α 粒子，它简直就是原子核的碎片呀！更令人兴奋的是，原子核经过放射之后，就会变成另一种原子核，因此，放射性元素经过一定时间以后，就会变成另一种元素，这不正是中世纪的点金术士们梦寐以求的奇迹吗？原来原子并不是永远不可变的，它是可变的！

可是，当人们认真的要去变革原子核的时候，却遇到了困难，原来原子核一点也不听话，任何化学变化对原子核都不起作用，即使强烈地压缩、加热或用各种试剂处理化

合物,都不足以使原子核发生变化。换句话说,天然放射性元素还是我行我素地照样放射,非放射性元素还是依然故我地不予理睬。人们去分析原子核内部所放出的射线的能量,发现比上述(电子与原子核之间)电磁相互作用的原子现象的能量要大成千上万倍,这才恍然大悟,原来原子核内部的作用力比电磁作用力强得多!要想变革原子核,就非用能量很大的粒子去和它碰撞不可。后来查明,把一个质子或中子从原子核中打出来,大约需要八百万电子伏的能量,比从一个原子外层打出一个电子所需的能量(平均10电子伏)高出八十万倍。

那时候还没有加速器,人们利用来碰撞原子核的粒子,是放射性原子核所放出的 α 粒子(速度大致是每秒一万四千至一万七千公里)。一九一九年,卢瑟福做了用 α 粒子去轰击氮原子核的实验,果然一试就灵,氮原子核吸收了 α 粒子,放出一个质子:



右上角的数字代表原子核相对于质子的质量,左下角的数字代表原子核带正电荷数。例如 ${}_8\text{O}^{17}$ 的O代表氧原子核,17代表这个原子核的质量是质子的17倍,8代表这个原子核的电荷是质子的8倍。)

因此,有人曾认为原子核是由质子构成的。但不久就知道了这种想法不对。譬如说氮原子核的电荷是质子的两倍,而质量却是质子的四倍,为什么质量不是两倍呢?多出来的两倍质量怎么解释呢?其它的原子核也都有类似的问题。卢瑟福根据这些事实,猜想原子核内可能还有一种电中性的粒子,它的质量和质子差不多。这就是说,在氮原子核中多出来的两倍质子质量,可能就是由于氮原子核中还有两个中子。

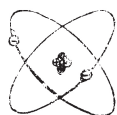
这个猜想得到了证实:先是一

九三〇年,玻特和贝克用钋放射的 α 粒子轰击铍原子核,产生了一种穿透力很强的中性射线,当时以为它是 γ 射线。一九三一年,约里奥——居里夫妇发现用这种射线轰击含氢化合物(如石蜡)时,可打出高速的质子。一九三二年,查德威克又用这种射线去轰击氮原子,观测打出的氮原子核所获得的速度,并与上述石蜡中打出的质子(氢原子核)的速度相比,经过分析,证实这种射线不可能是 γ 射线,而是一种质量与质子大致相等的中性粒子。查德威克把这种中性粒子叫做中子。这样,就使卢瑟福的猜想成为公认的事实——原子核是由质子和中子组成。

氢的三种同位素的原子结构



氮的原子结构



⊕ 质子

● 中子

⊖ 电子

图 10 原子核结构模型

说到中子,顺便提一下同位素。前面说过,元素的化学性质,决定于它的原子中所含的电子的数目。原子是电中性的,带负电的电子的数目必须等于原子核中的正电荷的数目,即质子的数目。有些原子核所含的质子数目相同,但中子数目不同,例如:氢(一个质子)、氘(又名重氢,含一个质子,一个中子)、氚(又名超重氢,含一个质子,两个中子),它们在元素周期表上占同一个位置,所以称它们为“同位素”。

在精密测量原子核质量时,人们还发现原子核的质量稍稍小于组成它的质子和中子的静止质量之和。根据狭义相对论,这个质量差反映了原子核中的核子(质子与中子的统称)之间的结合情况。质量差越大(即原子核质量越小于组成它的质子、中子总静止质量),结合也越紧。这种结合力称为核力。实验发现,核力是短程力,主要在十万亿分之一厘米的范围内起作用。距离大了,这种作用力就不复存在。在对核力的深入研究中,类比于电磁场的传递电磁力,提出了存在介子场的假设,而这就拉开了物理学发展的新的一幕——高能物理学。下一次就专门谈介子的假设和高能物理学的诞生情况。(蒋德舜画图)