



(二) 马维兴  
丁亦兵  
陈崇光

## 二、揭开原子核的奥秘

在上次谈话没过几天，我们有机会又找到了M教授。他兴致勃勃地接待了我们，接着上次的话题，继续了关于对原子的认识的谈话……

电子和质子难道就是人们寻觅千年的真正的“原子”吗？物质结构的研究是否就此大功告成了呢？当然不是。认为物质只由两种粒子组成，一类带正电，另一类带负电，这种想法的确很简单，但却带来许多困难。

这样两种粒子怎样才能构成一个稳定的、中性的原子吧。人们依据电磁学理论，建立了

一种模型，其中汤姆逊提出的所谓“多层馅饼”模型颇受赏识。他认为原子是一个均匀分布的正电荷球，里面嵌着一粒粒小葡萄干。这种结构虽能使周期表得到解释，但对于原子光谱现象中的规律却束手无策。

我想你们还记得1896年法国物理学家贝克勒尔发现放射性的故事吧！这种放射性使杰出的居里夫人为之奋斗了一生。对放射现象的研究作出了卓越贡献的英国物理学家卢瑟福，正是巧妙地利用了居里夫妇发现的镭所放射的 $\alpha$ 粒子作为炮弹，向原子发起了进攻。那个时候，才刚刚识别出这些 $\alpha$ 粒子只不过是丢失了两个电子之后得到的带正电的氦离子，用它们来探测原子中的正电荷分布，无疑是最为理想的。

当把 $\alpha$ 粒子流射向金箔时，卢瑟福惊奇地发现，有些 $\alpha$ 粒子几乎是被对头碰回的。如果正电荷是在原子中均匀分布的，这一现象无论如何也不会发生。于是卢瑟福实验否定了汤姆逊的猜测。据此，卢瑟福认为原子的正电荷集中在原子的中心，半径约为一千万亿分之一米( $10^{-15}$ 米)，它带有几乎全部原子的质量，卢瑟福称之为原子核。电子围绕原子核旋转，轨道半径

约为一百亿分之一米( $10^{-10}$ 米)，比原子核的半径要大十万倍。

卢瑟福的原子模型是在实验基础上建立起来的，因此无疑是可以信赖的。但当人们仔细去考查时，立即发现了严重的困难。按照经典的电磁学，绕着圆周轨道运动的电子一定会连续地发射电磁波而损失能量，速度会越来越慢，半径会越来越小，最终会沿着一条螺旋形轨道落到原子核内。很容易估算，由于原子半径很小，这个过程只需一万亿分之一秒( $10^{-12}$ 秒)。于是，稳定的原子成为不可能的。

这种尖锐的矛盾出现的时候，我们这个世纪刚刚过了十年。在本世纪初的十年里，物理学经历了激烈的动荡。1900年德国物理学家普朗克，为了解释物体受热发光的实验规律，提出了一个他自己也不能立即接受的大胆的假设。认为物体吸收或放射能量必须是以特定的基本数量一份一份断断续续地进行的。他把这样的一份叫做能量的量子。这种思想和当时普遍接受的物理思想完全不同。它给物理学带来了一场革命。勇于放弃旧观念的科学家爱因斯坦不仅完全接受了这一思想，而且把它进一步向前发展。他认为能量量子不仅带有一份基本的能量，而且也有一份动量，它以微粒的形式在空间传播，与物质发生作用。这就是著名的光子学说，它非常成功地解释了光电现象。

正当这种量子理论使许多物理学家困惑不解的时候，卢瑟福的一个年轻的学生，丹麦物理学家玻尔提出了又一个新奇的理论。他把量子理论移植来解释原子的结构，而且做了许多大胆的假设。他认为电子只能沿某些特定的轨道绕原子核旋转。当电子沿一条轨道运动时不发射电磁波，不会损失能量。只有当从一个轨道突然跳到另一条轨道时才会发光，发出的光的频率与两个轨道能量差成正比。比例常数刚好是普朗克能量量子假设中提出的常数。所有这些假设都违反当时人们对物质世界的认识。玻尔自己也说不清为什么能做出这些奇怪的假定。但，这样一种理论居然对当时令人迷惑不解的氢原子光谱的精密实验结果给出相当满意的定量解释，自然受到了普遍的重视。

可惜的是，好景不长。人们很快发现这个理论先天不足。为了解释一些复杂一点的原子和不断更精密的光谱现象，不得不对它修修补补，维持了十二年。在薛定格、海森堡和狄拉克的努力下，把普朗克、爱因斯坦、玻尔的崭新的物理思想进一步丰富和发展，终于建立了一门对近代物理学极为重要的新学科——量子力学。它从根本上改变了人们对于微观世界的认识。这是本世纪科学史最伟大的革命性事件之一。

现在继续来谈原子，除了原子的稳定性以外，还有一些困难问题是与原子核有关的。让我们再回到卢瑟福实验。前面已经提到，他所用的炮弹 $\alpha$ 粒子实际上就是氦原子核。非常奇怪的是它有两个正电荷，质量

却是质子的四倍。氦原子有两个电子，它们的负电荷刚好等于氦核的正电荷。但多出的二份质子质量是怎么回事呢？有人说可能核内还有两个电子。但为什么同是电子，两个在核外，两个在核内呢？其实，这个现象绝不只是氦所特有的，除了氢原子核的电荷数与质量数均为 1 以外，其它原子核大体上都是电荷数为质量数的一半或者还要少一些。

卢瑟福根据这些事实，猜测原子核内可能还存在一种质量和质子相等，但不带电荷的中性粒子。氢核应该由两个这样的粒子和两个质子组成。

当时人们还注意到，自然界有三种天然放射元素系列，起头的元素分别是铀、钍和钷。经过复杂的衰变最后都变成铅。但得到的三种铅原子原子量分别为 206, 207 和 208。他们有相同数目的电子，化学性质相同，于是在周期表里占据相同的位置，人们称它们为“同位素”。后来发现所有的元素都有同位素，锡的稳定同位素多达十种。如果承认卢瑟福的猜测，同位素的存在就不难解释了。它们的原子核不过是由相同个数的质子与不同的个数中性粒子组成的。

这种中性粒子的发现是十年后由卢瑟福的学生查德威克完成的。1930 年两个德国物理学家玻特和贝克发现，用  $\alpha$  粒子轰击铍可以得到一种穿透性很强的射线，他们以为这是一种硬 X 射线。法国的居里和约里奥于 1932 年证明这些射线有着与 X 射线不同的行为。它们可以几乎不受影响地穿透金属薄板。当它们穿过石蜡时，还能够得到一种很强的带电粒子流。查德威克在英国重复了这些实验，很快就证明了，这种未知的辐射从石蜡里打出的带电粒子是质子，而其本身是质量与质子相同但不带任何电荷的粒子流。正因为不带电，穿透金属时不会把电子从原子中拉出来而损失能量，因此比 X 射线穿透能力强。它正是卢瑟福早先猜测的那种粒子，查德威克称它们为中子。这一重大发现在 1932 年发表，1935 年就获得了诺贝尔奖金。

中子发现后，海森堡和伊凡宁科建立起了最早的原子核结构模型。但难题马上又出现了。在原子核中，质子和中子是紧紧地束缚在一起的，分裂它们常常需要很大的能量。中子既然不带电，质子与中子之间当然不会有电力作用。引力是极弱的力，不可能把它们束缚得这么紧，那么究竟是什么力在起作用呢？这个力一定非常强，它一定与粒子是否带电没有关系。而且这种力作用的范围又极小。而当时人们知道的电磁力和万有引力作用的范围都是无限的。

差不多又过了四年，日本物理学家汤川秀树终于找到了突破口。他类比电磁理论建立了一种新的理论来解释这种强相互作用力。量子力学告诉人们，电磁力通过交换光子来传递。其作用范围所以是无限大，原因在于光子没有静止的质量。汤川假定，这种新的力是被一种质量不为零的粒子传递的。而且他根据原

子核的大小估算出，这种新粒子质量是电子的三百倍左右。由于这个质量介于电子与质子之间，它又是传递力的媒介，故人们称之为“介子”。汤川还预言这种粒子很不稳定，当它脱离开质子、中子而独立存在时，只能生存一亿分之一秒。

怎样才能找到它呢？汤川想到了宇宙射线。这是一种来自外层空间的奇妙的、能量极高、穿透能力极强的粒子流。为了介绍这种射线的发现历史，首先让我们来谈一谈如何探测微小的粒子。

我们知道放大倍数最高的普通显微镜可以看清楚的最小物体的尺寸约为一百万分之一米。电子显微镜的发明，使这个尺寸缩小到了接近一个原子的大小，约一亿分之一米（ $10^{-10}$  米）。但质子、中子大约只有一千万亿分之一米（ $10^{-15}$  米），电子就更小，用任何显微镜都是无法看到它们的。幸好它们多数是带电的。当它们穿过气体时，可以使气体原子电离。这时，只要安放两个电极，就可以通过电流的测量而记录下粒子的踪迹。电离室就是根据这一原理设计的。

很早就有人发现，不管在哪个实验室，总有些莫明其妙的粒子穿过电离室。最初人们以为可能是因为尘埃中含有微量的铀或钍造成的。后来，有的人把电离室带到海上去，带到巴黎爱菲尔铁塔上去，甚至带到气球上去，都得到了类似的结果，那里没有什么尘埃，辐射却依然存在。1912 年，澳大利亚人赫斯乘汽球飞行了八次。他发现在 4000 米的高空，辐射的强度达到地面的六倍。再往上，强度急骤地增加。由此赫斯得到一个结论：我们的地球是被这种穿透性极强的辐射包围着。他称之为宇宙射线。

就在同一年，威尔逊发明了云室，它可以使微小的液滴凝聚在带电粒子穿过后的离子径迹上，明显地显示出了粒子走过的路径。而且可以用高速摄影机自动地把这些径迹拍摄下来。云室中放置铅板，观察粒子穿过铅板后能量损失的情况，可以判别粒子运动的方向。整个云室还可置于磁场中，观察径迹偏转情况，以确定粒子的电荷和质量。云室的使用使宇宙线的秘密一个接一个地被揭开了。到 1930 年，人们终于弄清宇宙线中大部分粒子是质子。它们的能量很高。它们与高层大气中的粒子碰撞，产生出许多种粒子，这些粒子再产生出更多的粒子，最后才到达地面。

正是用了云室，1932 年美国的一位年轻的物理学家安德逊在宇宙线中发现了狄拉克预言的正电子。它带正电，电量以及质量都与电子相同，是人类发现的第一个反粒子。电子和正电子一旦相遇，就会变成一个光子，而它们自己却无影无踪了。正电子还有一个特性，就是它绝不会单独产生。一个足够高的能量的光子在靠近一个原子核时，可以产生出一对正、负电子。我们这个宇宙对正电子是十分危险的地方，因为电子实在太多了。

1935年汤川预言了介子之后，翌年，安德逊和尼德迈尔就在宇宙线中发现了一些证据。到1938年，他们在海拔4300米的高空用云室拍下了一种粒子的踪迹。从照片上估计，这种粒子的质量约为电子的240倍，带有正电荷。在它的径迹末端，发现由它衰变产生的正电子。所有这些都似乎证实了汤川的理论。

但是，当人们进一步详细研究，发现这种粒子的性质与汤川预言的介子还是有差别的。普通人看来，有些差别几乎是吹毛求疵。这种粒子的质量后来证明接近电子的200倍，而不是汤川估计的300倍。它的寿命是二百万分之一秒，而不是汤川估计的一亿分之一秒。尽管照我们日常的标准，这两个时间都极短，但毕竟相差二百倍。最大的困难还不在于此。汤川的介子是把质子和中子束缚在一起的粒子，因此必然与质子、中子有很强作用。而这种宇宙线粒子表现出一种惊人的穿透能力。这就是说，除了可能的电离过程之外，这种粒子并不与物质发生其它的作用。它能毫不减弱地穿过10厘米厚的铅。伦敦的一位物理学家曾在地下铁道里发现了这种粒子。还有人曾在煤矿里做过实验，发现这种粒子竟然也能穿透岩石，只是强度减弱了些。这一切都非常费解。恰在这非常吸引人的关键时刻，第二次大战爆发了。宇宙线的工作几乎完全停顿下来了。

战后，为了解决这个问题，重新集中了很多的人力，作出了很大的努力，还建立了一些相当大的实验室。但是，正如经常碰到的那样，真正把问题解决的却是一个非主流的小实验。

大家知道，贝克勒尔在1896年是用照相乳胶做为探测器发现了放射性的。但从那时起直到1945年，照相乳胶几乎再没有人用过。一方面，乳胶的颗粒是溴化银，直径约为0.1到1微米(百万分之一米)，感光灵敏度很低，很难显示单个带电粒子的径迹。而且即使有了径迹，也很难用显微镜观察。

战争期间，乳胶的灵敏度大大得到了改进，到1945年提高到了原来的八倍。1947年鲍威尔把堆状乳胶带到5500米高的地方，他们发现有一类粒子的踪迹在乳胶中停下来之后，随之产生了第二条径迹也在乳胶中停止了。他们得到了十一个完全类似的事例，每一个事例中第二条径迹的质量和动量完全相同。经过鉴别，这第二条径迹就是安德逊在宇宙线中发现的那种粒子，而第一种径迹相应的粒子应该比这种粒子更重。他们估计，这第一种粒子大约重150MeV(约为电子质量的300倍)，寿命也与汤川的估计一致。后来人们把安德逊发现的粒子称为 $\mu$ 介子，汤川预言的粒子称为 $\pi$ 介子。 $\pi$ 介子衰变产物中只有两种粒子，一种是 $\mu$ 介子，另一种是中性粒子。进一步研究表明， $\pi$ 介子实际上存在着带正电、负电和不带电的三

种，它们确实象汤川所预言的，与原子核有着强烈的作用。

到1947年中，原子的假设看来很完美了。我们已经知道了物质是由分子组成的，分子是由原子组成的，原子又是由电子和原子核组成的，原子核又是由质子和中子通过 $\pi$ 介子束缚在一起所组成的。看来，这是挺漂亮的理论了。但仔细一想，还有很多怪事没有弄懂。比如，为什么还有一个 $\mu$ 介子？它似乎是多余的粒子。为什么 $\pi$ 介子不是衰变成电子加上一个中性粒子？既然有正电子，为什么没有负的质子？等等。人们似乎心满意足地过了一段时间，没有理睬这些怪事。但是平静没有维持多久，曼彻斯特大学的两个年轻的物理学家罗彻斯特和巴特拉的新发现又一次把物理学研究推向了新的阶段。

(待续)