

从原子物理的发展看物理模型的作用

黄厚昌

宏观和微观,简单来说就是大和小。大的方面,从肉眼看得到的一直到无边无际的宇宙,称为宏观世界;小的方面,从分子、原子、原子核和“基本”粒子到……称为微观世界。微观世界的物质和所发生的现象,肉眼观察不到它,需要借助各种仪器,通过大量的科学实验,透过许多种现象,由表及里,由浅入深,由片面到全面,逐步抓住微观现象的本质,找出它们的运动规律。在这样一个认识过程中,人们经常采用模型方法,它是从感性认识阶段上升到理性认识阶段的重要环节。

一、从日常接触到的模型谈起

提起模型,大家都不陌生。青少年们喜欢制造各种有趣的航空模型、舰船模型等。在各种展览会上,也常看到各种模型,例如:大型机器模型、人造卫星模型、大庆油田模型等等。这些模型都有一个共同的特点,就是抓住真实东西的本质,在另一个场合再现。也还有一些模型是模拟未知的东西,例如,为了制造一个大型机器,先做一个小模型,使它尽量与大型机器结构相同,从中取得经验。就这个意义上说,模型是实物缩小了的或者放大的复制品。

在微观世界里,原子、原子核、“基本”粒子都是看不见、摸不着的,人们无法按照实物复制模型。然而,为了认识微观客体的结构以及它们的规律性,在大量科学实验的基础上,认真分析,也提出各种各样的模型来逼近真实的微观客体。这些模型是否真实地反映微观客体呢?必须在实践中加以检验,去伪存真,去粗取精。例如人们为了认识原子,先后提出过汤姆森模型、卢瑟福模型、玻尔模型等;又如人们为了认识原子核,先后提出过壳层模型、液滴模型、光学模型、集体模型等;再如人们为了认识“基本”粒子,先后提出过费米-杨模型、坂田模型、夸克模型、层子模型、部分子模型、电磁-弱相互作用统一模型、色动力学模型等等。这些模型都在一定程度上反映着微观客体的内部结构和运动转化的规律性,在历史上都曾起了或正在起着一定的作用,人们正是通过这些模型逐步地由浅入深,由表及里,由片面到更多方面地认识微观客体——原子、原子核以及“基本”粒子。

二、早期的原子模型是怎样提出的?

大约在公元前450年左右,留基伯和他的学生德

漠克利特就提出一种看法,认为物质是由一些不可再分的质点组成的,并把它们定名为“原子”。到了近代,化学家们发现了愈来愈多种类的元素,道尔顿提出,每一种元素都有一种特定的原子;不管这一种元素的数量有多大,它总是由完全相同的原子所组成的。一种元素之所以会不同于另一种元素,是因为它们的原子的性质不相同。一种原子与另一种原子之间的最基本的物理差别,则在于它们的重量(后来测了原子的相对重量,称之为原子量)不同。

十九世纪,门捷列夫把愈来愈多的元素排成了一个周期表。然而,当时人们并不知道为什么这些元素可以排成一个周期表!十九世纪末,两个伟大的发现才使人们打开了认识原子内部世界的大门:一个是发现了放射性。法国物理学家贝克勒尔在一次偶然的会里,发现了一种奇异的辐射,它具有比X射线更大的穿透力。这种辐射是在铀元素中放出的。居里夫人就用“放射性”来描述这种辐射作用。另一个重大发现是电子。法拉第的电解定律的实验就表明了电荷是不连续的。1897年,汤姆森又发现了携带这种不连续电荷的最小单元是电子。放射性和电子的发现使人们认识到原子不是不可分割的永远不变的粒子。放射性的发现说明它会变,电子的发现说明它含有电子。

汤姆森设想原子内部有两部分,一部分是带负电的电子,另一部分是带正电的主体,而电子就象葡萄干一样嵌在原子的带正电的主体上。或者说,原子的带正电荷的主体就象枣糕,电子就像红枣嵌在糕上。这就是描述原子内部结构的第一个模型——汤姆森模型。

人们在深入研究放射性时,发现某些辐射是电子组成的,就称为 β 射线。还有一种穿透本领不如电子束强的射线,卢瑟福把这种射线称为 α 射线。 α 射线也是由粒子组成的,这种粒子在磁场中的偏转比 β 粒子小,而且 α 和 β 是向相反的方向偏转。由此人们确认: α 粒子带正电荷,质量要比电子大得多。后来知道, α 粒子就是氦原子核。1906年到1908年,卢瑟福用三年时间反复进行实验,发现原子内部有

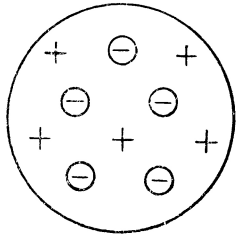


图1 汤姆森模型

一个很小的核心。他的实验是用 α 粒子作为炮弹，轰击金属薄箔（如金或铂）。大多数入射的 α 粒子都顺利通过，偏转角很小，平均为 2° 到 3° 。但也发现有些 α 粒子（约为1:8000）散射角很大，有时超过 90° ，甚至于接近 180° （即碰撞后弹回）。这样大的散射角度，而且几率为1/8000，这决不可能是由于偶然性的小角度偏转累积而造成的现象。卢瑟福由此否定了原子的汤姆森模型，认为原子内部有一个很小的、密度很大的核心，而原子体积的大部分是为电子所占有的。因为电子比 α 粒子轻得多，当 α 粒子穿过时，只要不碰到原子的核心，就好像穿过门帘一样，直穿过去，并在电荷的排斥作用下，发生小角度偏转。但如果有一

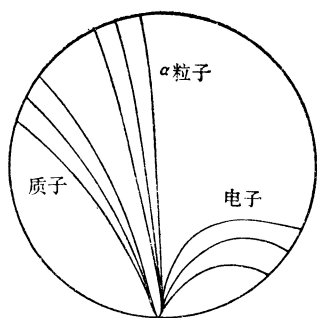


图2 粒子受磁场的作用而偏转

个 α 粒子击中了原子的核心，那就好像一个玻璃球碰到一个小石块一样，会发生大的偏转，以至于弹回。由于发生大偏转的几率极小，表明原子的核心极小。这些极小的核心是由质子组成的，电子不停地绕核心转动着。换句话说，卢瑟福模型就是行星式模型，太阳好比核心，地球不停地绕着太阳运转。

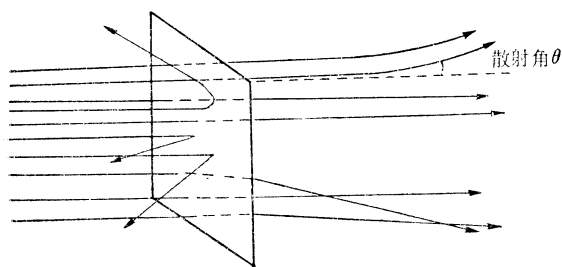


图3 α 粒子散射示意图

原子是电中性的。按照卢瑟福模型，核中的质子数应与电子相等，而质子的质量是电子的一千八百多倍，所以原子核的正电荷数应标记着原子核的质量，也就是原子的质量。可是除了氢原子以外，所有原子的

原子核的正电荷数都比根据原子核的质量算出的质子数少。例如铀原子核的质量相当于238个质子，但正电荷数却只有92个。1930年，玻特发现用 α 粒子打铍，可产生一种前所未有的辐射。1932年，查德威克经分析后指出，这种辐射是由一种质量与质子大致相同，但不带电荷的粒子组成的，并取名为中子。随即海森堡提出了新的模型，认为原子核是由质子和中子组成的。这样，就解决了上述的质子数与原子质量不符的矛盾，同时也解释了各种同位素的实质：同一元素的不同同位素，是由质子数相等，中子数不同的原子所组成的，例如：氢的三种同位素氢、氘、氚它们的质子数都是1，而中子数分别是0、1、2。

氢的三种同位素氢、氘、氚。图中显示三个原子模型：氢（1个质子，0个中子）、氘（1个质子，1个中子）、氚（1个质子，2个中子）。电子（-）围绕原子核（+）转动。

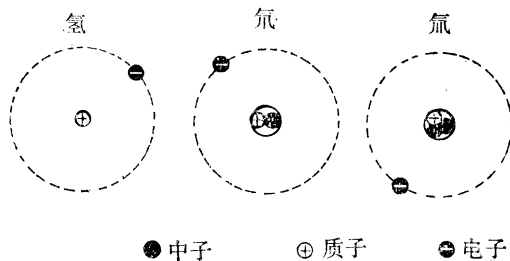


图5 氢的三种同位素

三、从玻尔模型到量子力学规律

卢瑟福把原子描述为行星运动的图象，有根本性的困难。因为电子绕原子核转动就具有加速度，按照经典的电动力学，这样的电子应该以电磁波形式辐射能量，轨道愈来愈小，最终地落在原子核上，因而原子是完全不稳定的。就好像人造卫星在大气层中受空气阻力影响，轨道愈来愈小，最终落在地球上一样。同

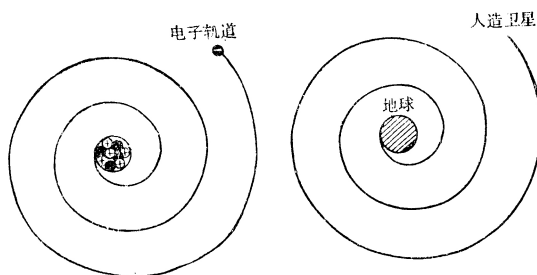


图6 电子遵从经典电动力学规律

时，由于辐射，电子转动的频率不断地改变，因而原子光谱应是连续光谱。事实上，实验结果表明原子辐射的光谱是一条一条很细的光谱线，即只有一定的不连续的频率的光被发射出来，而且原子是稳定的，这与经典电动力学相违背。

1913年，玻尔根据一系列的实验事实，提出了原子的玻尔模型，认为经典物理学不能应用在原子内部运动上，提出了两条假定：

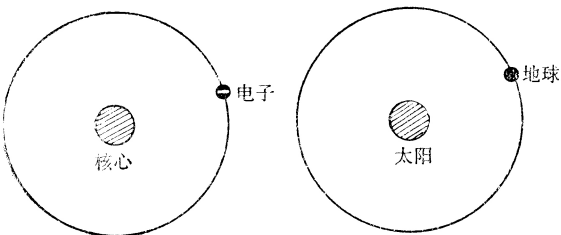


图4 卢瑟福模型

(1) 原子的电子只能在确定的一些轨道上运动,称为定态。在这样的轨道上运动时,电子既不发射也不吸收能量。具体来说,原子内部有一系列的电子轨道,在每条轨道上,电子都有一定的能量,这些能量只能取分立的数值:

$E_1, E_2, \dots, E_n$, 每条轨道对应于一个 E 的数值。当电子在这些轨道上运动时,原子的状态是稳定的,电子必须吸收或发射电磁辐射,或者由于外来

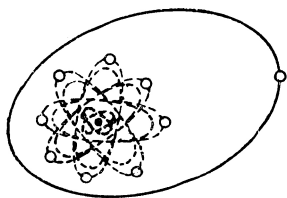


图7 玻尔模型 Na_{11} 钠

粒子的碰撞,才能从一个轨道(状态)跳跃到另一个轨道(状态)。

(2) 当电子从外层轨道跳到内层轨道时,原子发射电磁辐射,失去能量,相反过程时则吸收能量。吸收或发射的电磁辐射的频率 ν 由关系式

$$h\nu = E_m - E_n$$

确定, E_m 是外层轨道能量, E_n 是内层轨道能量。这就是玻尔频率条件。

玻尔的原子模型提出以后,初步解决了卢瑟福模型所遇到的困难,并极为成功地解释了各种元素光谱的许多事实。

玻尔模型还不是对原子认识的理性阶段,因为它只是假想电子固定在一定轨道上运动,不再遵从经典电动力学规律,可是它没有解释为什么电子固定在一定的轨道上?按照什么规律在固定的轨道上运动?

但玻尔模型放弃了经典电动力学,抓住了原子的本质方面,已经从感性认识到理性认识的飞跃创造了条件,直接导致了描述原子内部力学规律——量子力学规律——的诞生,这是有深远意义的。

早在十七世纪,对于光就存在两种学说,一种是光的微粒说,一种是光的波动说。在十九世纪末,一系列的实验事实特别是光电效应揭示出光具有粒子性,爱因斯坦大胆地提出光量子的假设,认为频率为 ν 的光实际上是单个光子的能量为 $h\nu$ 的光子流。这样,光就具有奇特的二象性——粒子性和波动性。1923年德布洛意面对电子运动中所遇到的根本困难,大胆地设想:既然光辐射具有粒子性,那么物质粒子譬如电子是否也具有波动性呢?他说:整个世纪来,在光学上,相对于波动的研究方法,是过于忽略了粒子的研究方法;在物质理论上,是否发生了相反的错误呢?是不是我们对“粒子”的图象想得太多,而过分地忽略了波的图象?这种与物质粒子相联系的波就叫做德布洛意波,其波长与粒子的动量成反比。1927年戴维逊和格默的实验给出了电子波的干涉图样,而且其波长与德布洛意计算的结果完全一致。就在德布洛意提出粒子具有波动性以后不久,1926年,薛定格认为电子

既然具有波动性,它就不能象行星环绕太阳那样绕原子核沿一定的轨道运动,而应该更象一个包在原子核周围的波动着的東西,就好比波浪形的云一样(电子云)占据着原子核周围的空间。既然电子具有波动性,它也不再遵从经典的电动力学规律,于是薛定格大胆地提出了描述原子内部电子运动的力学规律——波动力学,后来进一步发展,人们就把这新的力学称为量子力学。

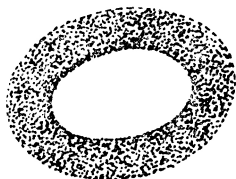


图8 电子云图象

四、从原子模型的发展过程看模型的作用

如上所述,人们为了认识原子内部的结构和运动转化的规律性,在一系列的科学实验的基础上,先后曾提出过好几种模型,然而正确的原子理论并不是在汤姆森模型提出后就产生,而是在三十年后才建立起量子力学规律。这一过程说明,并不是提出一个模型之后,就立刻能导致正确理论的诞生,只有真正抓住客体本质的那些模型,才能作为飞跃到理性认识的跳板。但是这里也有一个认识的阶段性问题,没有电子的发现就不可能产生汤姆森模型,尽管汤姆森模型是错误的,然而它打破了统治两千多年的原子不可分的错误观念,使人们有可能认识到原子内部是由电子和带正电荷的物质组成的。同样,没有 α 粒子的散射实验使人们认识到原子内部有一个核心,也提不出卢瑟福模型。尽管放射性在十九世纪末就已经被发现了,可是那时只能将原子描述为汤姆森模型的图象,因为实验条件还不成熟。大量的原子光谱实验揭示出电子绕原子核运转的定态性质,这时玻尔模型也就应运而生了。从原子模型的发展非常清楚地表明了,人们的认识通过实践——认识——再实践——再认识的多次反复而不断深化有明显的阶段性,这种阶段性从根本上来讲是由科学实验的发展所决定的:从汤姆森模型发展到卢瑟福模型,又从卢瑟福模型发展到玻尔模型,人们的认识随着科学实验的发展而发展。同时还可以看到人的认识的能动性一面,玻尔模型只是为飞跃到理性认识准备好了跳板,然而要完成这一飞跃,建立新的运动规律——量子力学规律——这需要人的认识的能动性,抓住事物的本质,向前跳一大步。

总之,从原子模型的发展可以得出三点重要结论:第一,模型是从感性认识阶段上升到理性认识阶段的一个重要环节;第二,模型来源于实践;第三,认识有阶段性,正确的模型不是一次就完成的,而是在实践中不断发展,一旦抓住了事物的本质,就为新理论的建立创造了有利条件。