



施义晋

### 楔子

当你站在公路铁路叉道口等着列车通过，吭切！吭切！一声长吼“呜！”，列车从你面前飞驰而过，你一定会感到火车头的巨大威力，你不由得一节、一节地数着在你面前一掠即过的车皮，一节，二节，三节，……十节，……二十节……啊！六十节。在最末一节掠过后，黑白相间的横杆升起了，你推着自行车过铁道时，你仍禁不住转头再望望远去的列车，多大的力量啊！

但是你可曾想到，火车动力的来源与50万年前披兽皮树叶，用石器打猎的人类祖先用来取暖烤火的火并没有质的不同，只不过现在的人类，在火的利用上更巧妙，更有效罢了。火车的动力来源于生物化石燃料与氧气的化学反应，50万年前人类祖先用的是生物燃料与氧气的化学反应，发出的是同样的光和热。当然并不是说：人类50万年来没什么进步，恰恰相反，进步是巨大的，就是在这同样的化学反应基础上，人类建成了当代物质文明的大厦，几乎提供了我们今天文明生活所赖以启动的全部动力——能源。

但是，生物化石燃料所能提供的能源毕竟是有限的，据估计，按现在的石油消耗增长速度，全世界的石油储藏维持不了几十年，有的人甚至肯定地说，只能维持48年（二位有效数字而且精确到个位！）。而煤至多也不过能维持几百年。不管怎么说，现代人类对所赖以生存和发展的化学能源确是存在着一种紧迫的危机感。

人类依靠着碳氢氧化学反应，从50万年前的原始时期开始，又经历了几千年的文化时代造就



图1

了现在的光辉灿烂的物质文明。是时候了，现在该充分利用一切能源，并利用更加强有力的能源来创造更先进的物质文明了。

原子能的开发利用展现着一个美好的前景，虽然今后它不可能成为碳氢氧化学反应能源的唯一替代者，但它确是远比碳氢氧化学反应能源强大几百万倍的一个很有前途的新能源。我们仍然把火车作为话题吧！你知不知道，当25列长长的火车满载着乌黑铮亮的煤炭驶进发电厂，这么多如小山似

的煤所发出来的全部电力，那怕是效率最高的发电厂，不过是一辆3吨载重的卡车所载的铀所能发出的电力，多么大的差距啊！二万五千倍！铀是一种原子能的“燃料”。这里我们仍然使用“燃料”这个词，它已不是“点火可以燃烧”的意义下所使用的词，而是广义地泛指一切能产生光和热的，用作能源的原料。

那么什么是原子能呢？让我们还是从原子核的发现谈起吧！

### 一、原子核的发现——质子和中子

1911年伟大的英国物理学家卢瑟福用 $\alpha$ 粒子轰击一张薄薄的金箔，他观察到了一个奇怪的现象，许多（几乎全部） $\alpha$ 粒子就好像根本没碰到什么东西似的穿过了金箔，而只有极少数的 $\alpha$ 粒子好像撞上了一个很小但又很重的东西上，被弹偏了方向。这是怎么回事？因为按当时人们对金箔结构的了解，人们想像金箔是由一颗颗金原子紧密地整齐地一个挨一个排成的，就像操场上整齐排列着等待检阅的士兵。而金原子本身又是一个实心的球，就像西瓜一样，当时已发现的电子被想像成西瓜子镶嵌在西瓜中一样埋藏在由正电荷构成的金原子物质中。但现在，好像老天爷在开玩笑似的， $\alpha$ 粒子穿过了几乎“一无所有”的金箔，就是说，对 $\alpha$ 粒子来说，金箔几乎是个“一无所有”的物体。卢瑟福从这个 $\alpha$ 粒子对金箔的散射实验中得出，在金原子的中间，存在着一个集中了几乎全部金原子质量与正电荷的核心，他叫它为原子核。而电子则围绕这个核打转，由于电子质量很小，只有金原子质量的几十万分之一，因此可以说整个金原子“浓缩”在一个很小的核上，核外则几乎一无所有，而这个核究竟多大呢？它只占整个金原子体积的几千万亿分之一！这就是说如果一粒芝麻全部由原子核的物质构成，即芝麻物质的密度与原子核相当，那么一粒芝麻将会多重呢？一千万吨！

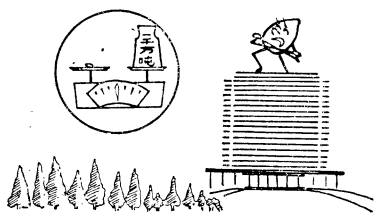


图 2

而在其他部位，除了几个轻得微不足道的电子外，竟“一无所有”！这是一幅多么出人意料的景象啊！

原子核的发现根本地改变了人们的物质观，而且为量子力学的创立提供了依据，这是卢瑟福对人类的一大贡献。但是卢瑟福还有更伟大的贡献，他第一个成功地使一种元素的原子转变为另一种元素的原子，而且发现了质子。在 1919 年报道了他的实验结果，他用  $\alpha$  粒子轰击氮原子，得到氧原子并且得到只带一份正电荷的最轻的原子核——氢原子核，他称它为“质子”。人类千百年来梦想的元素转化，希望将铁之类的“贱”金属变成金子之类的贵金属，可以说由卢瑟福原则上实现了。原子不可改变的禁条撕破了，原子核的大门已经矗立在人们的面前，谁去敲开这扇大门呢？用什么来敲开这扇大门呢？

1932 年另一件划时代的科学事件在卡文迪许卢瑟福实验室发生了，恰托维克发现了中子，这是一种与质子差不多重但不带电的粒子。这样，人们一下子就明白了原来原子核就是由中子、质子构成的，它们的数目确定了元素同位素的质量，就是说同位素是相同数目的质子，但不同数目的中子构成的原子核，由于质子数相同，因此它们有共同的原子序数，但由于中子数不同，因此它们是不同的原子核，它们是处于元素周期表上同一位置的原子核，故称为同位素。化学原子量就是同位素的质量平均值（按天然存在的情况作平均）。

但是新奇的是质子和中子的密度竟会如此之大，而且带正电荷的质子竟然能聚集在只有  $10^{-39}$  立方厘米的小体积内。要知道，即使二个质子在这样小的空间内，它的库伦能也可高达几个千电子伏特。因此人们把质子、中子束缚在一起的力称为核力，显然这是一种新型的力，它的

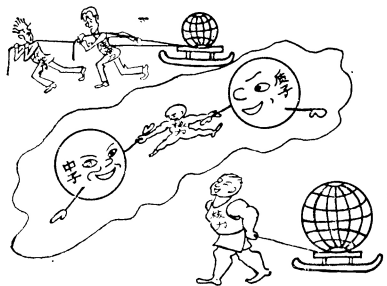


图 3

也就是说在一个如北京饭店那样大小的空间中，只有一个小芝麻粒大的中心部位聚集了原子的几乎全部物质与正电荷，

性质远远不同于库伦力，当然也不同于化学力，它要比它们强大成千上万倍，如果能用这种力为人类服务，这显然就是一种新的能源，而且强大得无可比拟，当时的人们就是这样想的，而且自中子发现之后，人们的热情更是成百倍的受到鼓舞，人们立即理解到：“中子”是撬开原子核大门的最得力的工具，是开发原子能宝库的一把钥匙。

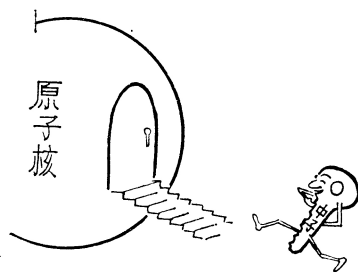


图 4

那么核力是怎么来提供原子能的呢？开发原子能的最方便的道路在哪里呢？

## 二、化学反应与原子核反应

大家知道，石油、煤这些化石燃料燃烧的时候会发出光和热，这是由于这些燃料中的碳或碳氢化合物与空气中的氧气化合成水与二氧化碳时所放出来的化学结合能引起。就是说，当碳原子与氧分子由于化学力把它们变成一个二氧化碳分子时是要放出能量的，而当人们想把二氧化碳分子拆成一个碳原子与一个氧分子时，是要给予能量的，很显然，结合时放出的能量应该等于拆散时给予的能量，这个能量可以用量热学实验测定，通常这份能量就称为化学结合能，或者称化学反应的  $Q$  值。

在原子核反应中情况亦是类似的，但此时起作用的是核力，它远比化学力强大，因此就出现了新情况。首先，我们常把原子核的结合能与“质量亏损”联系起来考虑。什么叫质量亏损呢？这就与近代物理另一个重大分枝联系起来。大家知道，在爱因斯坦的狭义相对论中有一著名的质量-能量公式：

$$mc^2 = E.$$

它告诉人们，物质所包含的全部能量与它的质量之间有着一个简单但又出人意料的关系，它的质量乘上光速的平方就等于它所具有的全部能量。这意味着什么呢？我们还是拿煤来作例子吧！一卡车煤，算它五吨吧，按质能公式，它包含多少能量呢？ $4.5 \times 10^{20}$  焦耳。如果把这 5 吨煤彻底燃烧，我们能得到多少能量呢？ $1.6 \times 10^{11}$  焦耳，就是说燃烧所放出的化学能仅仅是这 5 吨煤所具有的全部能量的 30 亿分之一，换句话说，只有相当于 1.6 毫克（几粒灰尘的质量）的煤的能量在燃烧中放出来，能被人利用，而其余的 4.999999998 吨的煤变成了二氧化碳气体从烟囱里跑掉了（假定煤是纯碳，且又燃烧得完全彻底！）

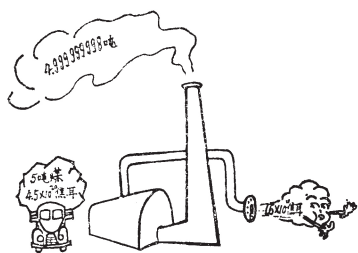
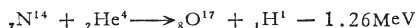


图 5

应式为:



其中,  $\text{N}^{14}$  代表氮的一个同位素, 它有质子 7 个、中子 7 个, 因此它的质量数为 14, 同样,  $\text{He}^4$  是氦的一个同位素, 这里实际上是卢瑟福拿来当炮弹用的  $\alpha$  粒子. 这个反应按化学反应来理解是吸热反应, 就是说当轰击炮弹用的  $\alpha$  粒子至少要有 1.26 MeV 的动能才能引起这个反应.

现在我们用爱因斯坦质能公式的观点再来考察一下这个反应. 我们可以把反应前后的原子核的质量“称”出来(用一种叫质谱仪的工具), 在反应前是,  $\text{N}^{14}$  与  $\text{He}^4$  原子核, 它们的质量分别为  $m_{\text{N}} = 14.007550$  原子质量单位,  $m_{\text{He}} = 4.003873$  原子质量单位. 因此反应前总质量  $m_{\text{前}} = 18.011423$  原子质量单位. 反应后,  $\text{O}^{17}$  的质量为  $m_{\text{O}} = 17.004533$  而质子  $\text{H}^1$  的质量  $m_{\text{H}} = 1.008142$ , 因此, 反应后的总质量  $m_{\text{后}} = 18.012675$ . 反应后的质量比反应前多出 0.001252 原子质量单位, 那么按照质能公式这部分多出来的质量相当于多少能量呢? 相当于 1.166 MeV, 它与反应 Q 值 1.26 MeV 是很接近的, 可以说, 在实验的误差范围内

现在回到原子核上来, 我们来看看在原子核反应中牵涉多少能量. 我们以卢瑟福的有名的 1919 年氮嬗变实验为例, 这个反应写成反

是一致的! 因此这不仅证明了爱因斯坦公式的正确, 而且也表明, 我们可以用质量的增减来表明结合能的大小. 反应前的质量如果大于反应后的质量, 我们就称这个质量差为“质量亏损”, 毫无例外, 所有原子核的质量都比构成它们的全部中子、质子质量要小, 小得越多, 原子核结合得越紧, 人们发现, 重的原子核如铀原子核它的结合能要比钡、镧等中等重量的原子核要小, 另外, 如氢、氘、氚之类的核如果将它们合成较重的原子核如氢、碳、氧核时, 在结合能上也是有利的, 即它们是放热反

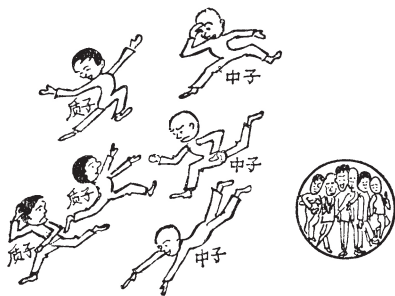


图 6

应. 这两种途径就是后来要讲的重核裂变反应与轻核聚变反应, 人们可以通过这二种反应将物质中含有的另一部分能量释放出来.

当然, 希望通过原子核反应把物质含有的全部能量转变成人类可以利用的能量是不可能的, 原子核反应只能释放出相应于原子能的那部分. 那么这部分有多大呢? 以卢瑟福实验为例, 仅涉及到总能量的二万分之一, 但尽管这个量很小, 但比化学能所占的份额已大上万倍!

(题头、插图: 牛枢学)  
(待续)