

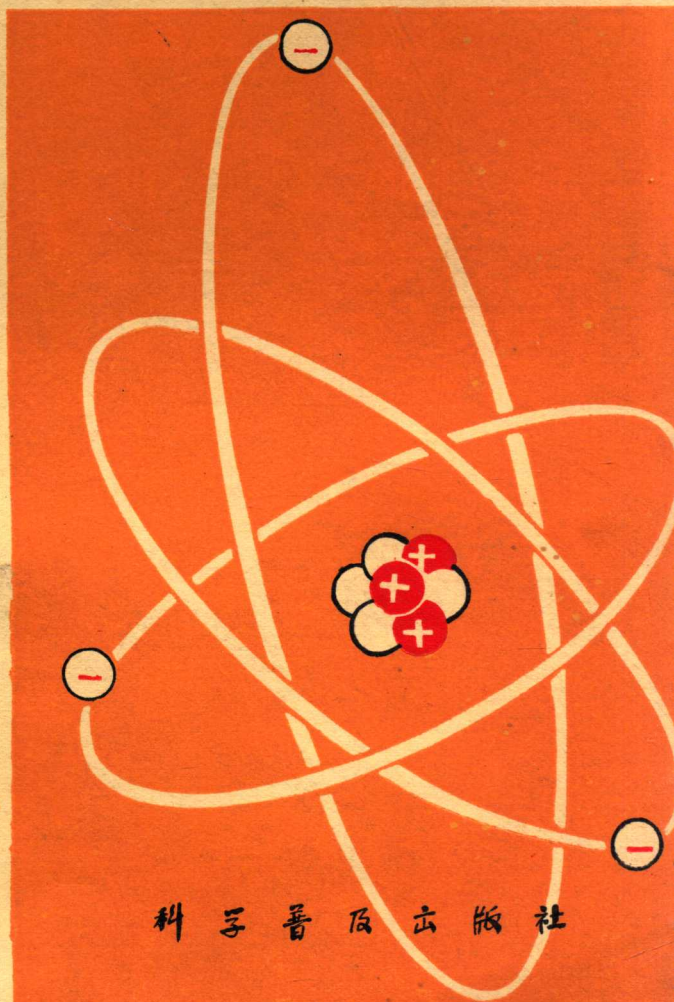
原子能讲座

中央人民广播电台科技组 编
科学普及出版社编辑部



学广播

V 49-



科学普及出版社

科学广播

原子能讲座

中央人民广播电台科技组
科学普及出版社编辑部

科

目 录

引 言.....	1
第一讲 原子和原子核.....施义晋	2
第二讲 原子核里的宝藏——原子能.....施义晋	7
第三讲 原子核反应堆和原子能发电.....黄胜年	12
第四讲 核裂变在军事上的一个应用——原子弹叶春堂	17
第五讲 热核武器——氢弹.....姜承烈	23
第六讲 受控热核反应.....姜承烈 杨春祥	27

引 言

能源是发展农业、工业、国防、科学技术和提高人民生活的重要物质基础。近三十多年来，人类利用能源的历史进入了一个新的阶段——原子能时代。原子能是一种巨大的、很有发展前途的能源，世界各国都花费很多的人力和物力在研究它、利用它。我国也投入了很大的人力和物力；不久的将来原子能也必将在我国得到广泛的发展和应用。在这一讲座里向同志们介绍有关原子能的一些最基本的常识。

第一讲 原子和原子核

物质世界是由什么构成的？这个问题，从古至今，一直是人们所关注的，甚至有不少科学家把毕生精力都倾注在这个问题的研究之中。在古希腊，有人猜想，我们这个世界是由人眼睛看不见的非常细小的颗粒构成的。他们把这些颗粒叫做“原子”。“原子”这个词，在古希腊语中的意思就是不可分割。

十八世纪中期，科学家们以巧妙的实验证实了原子的存在，到了十九世纪末，人们还测出了许多种原子的大小和质量。比如，人们“称出”了铜原子的重量是一百万亿亿分之一克，“数出”了一立方毫米的铜块中有将近一万亿个铜原子（见图1）。知道了这些数据，对原子有了一些具体的印象。在这



图 1

期间，人们发现了六十多种元素，也就是说发现了六十多种原子。当时有人想，为什么会有几十种原子，而不是一种原子？原子是不是构成物质的最小微粒呢？随着对电现象和放电现

象的研究,人们发现了一种带负电的小粒子组成的粒子流,这种带负电的小粒子就是后来所说的“电子”。

1896年,法国物理学家贝克勒耳发现铀有放射性,它能够放出人眼睛看不见的射线。这种射线能够使包在黑纸里面的照相底片感光。经过研究,铀放射出来的射线中,有一种是带正电的粒子流,后来人们把这种粒子叫 α 粒子。这些事实说明,原子并不是当初人们所认为不可分割的最小粒子,而是可以分割的,它是由更细小的微粒组成的。不过“原子”这个名字至今还保留着。原子又是怎样构成的呢?当时有人设想,原子是由带负电的和带正电的两部分组成,带负电的部分就是电子,至于带正电的部分是什么,那个时候还不知道。

经过大量的实验,人们测定了电子的质量。电子很轻,它比最轻的氢原子还要轻得多,只有氢原子的一千八百四十分之一。电子的质量既然这样小,可见整个原子的质量几乎全部集中于带正电的部分,于是人们很自然地猜想带正电部分的体积一定很大,差不多接近原子的大小。可是事实推翻了这样的猜想。

二十世纪初,英国科学家卢瑟福在暗室里,利用铀放射出来的带正电的粒子做炮弹,轰击厚度只有千分之一毫米的金片,在薄金片的后面放着特制的屏幕,从屏幕上可以看到单个的带正电粒子的踪迹。在实验中,卢瑟福发现,大多数的带正电的粒子,象没碰到什么东西似的都顺利地穿过了薄金片,只有少数的粒子好象撞到了什么坚硬的东西,被弹偏了。为什么只有少数带正电的粒子会被弹偏了方向呢?卢瑟福判断,带正电的粒子一定是碰到了体积很小的、致密的原子带正电的部分。根据实验,卢瑟福提出了著名的原子的核模型。他认为原子就象太阳系那样,中心是一个带正电的,体积很小、质量很大的“核”,电子围绕着核旋转,就象太阳周围的一些行星

绕着太阳旋转一样(见图2)。

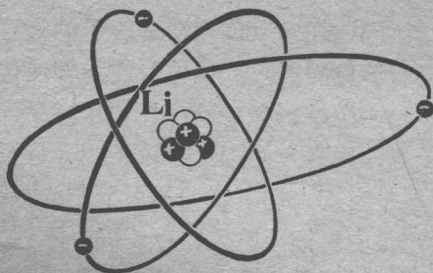


图 2

发现原子核以后，人们测得了原子核的直径只有原子直径的十万分之一到万分之一。这就是说，如果我们能走到原子内部去看一看，就象走到了一个几乎一无所有的空地。打个比喻，如果原子有北京饭店那么大，而原子核只有一颗芝麻粒那么一点儿(见图3)。就是这么小的原子核几乎集中了全部原子的质量。

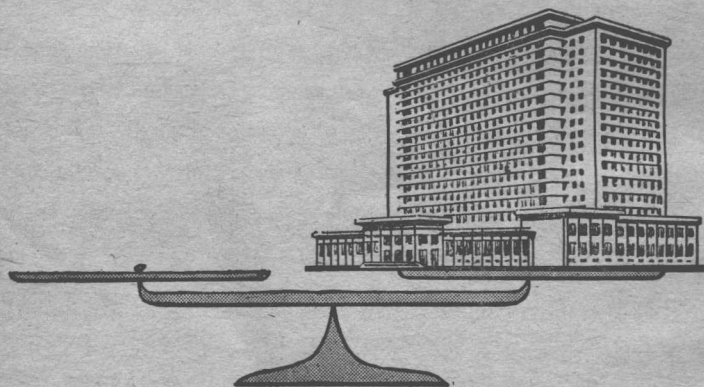


图 3

那么原子核又是由什么构成的呢？

第一个发现原子核的卢瑟福又用带正电的 α 粒子轰击氮原子,得到了质量是1、带1份正电的氢原子核。这种氢原子核又叫质子。此后,科学家们又用带正电的 α 粒子轰击硼、氟、钠、铝、磷等原子,都从它们的核里打出了质子。这样,质子是原子核的组成部分,终于逐渐被人们认识了。

到了1932年,英国的查德维克用带正电的 α 粒子去轰击铍原子,又发现了一种小粒子。这种小粒子不带电,质量和质子差不多,人们把这种质量是1而不带电的小粒子叫做中子。中子和质子,除了一个不带电,一个带电以外,它们两个的许多物理性质都很相似,就象一对双胞胎一样。因此,有时候我们甚至不需要区分是质子还是中子,把它们统称为核子。质子和中子都很小,它们的半径都只有十万亿分之一厘米的1.3倍。对于不同的原子核,它里面的质子和中子的数目也不一样。比如,氢原子核本身就是一个质子,氘原子核由一个质子和一个中子构成;氚原子核由一个质子和两个中子构成。氢原子核、氘原子核和氚原子核里面,都只含有一个质子,只是中子数不同。对于质子数相同、中子数不同的原子,原子核带的正电荷数目相同,围绕原子核旋转的电子数目也相同;同时,电子围绕原子核旋转的情况基本相同,这些原子的化学性质就几乎完全一样。科学家把由质子数相同、中子数不同的原子核所构成的原子,都放在元素周期表的同一位置上,管它们叫“同位素”。氘、氚都是氢的同位素。在自然界中,铀的同位素有铀-234、铀-235和铀-238。铀后面的数字代表它的核子数。

说到这里,细心的读者会想到,原子核里的质子带正电荷,按照同性相斥的道理,它们之间的电斥力一定很大,它们怎么会挤在那么小的原子核里不散开呢?原来,原子核里除了存在着这个我们常叫做“库仑力”的电斥力以外,还存在着一

种非常强大的吸引力,这个吸引力比库仑力大一百三十七倍。不过,它只能在和核子半径差不多的距离内发生作用,稍稍离远一点,它就没有了。这种吸引力我们常常叫做核力。核力有着非常奇妙的特性,直到今天,人们还不能说对核力已经了解得很清楚了。

刚才我们介绍了原子是由原子核和围绕原子核旋转的电子组成的,而原子核又是质子和中子组成的,质子、中子是不是构成物质的最小粒子呢?不是,它们还由更小的粒子构成。要是把对物质结构不断深入的了解比作链条的话,这个链条随着人类知识的增长在一节一节地加长,因此物质世界由什么构成的这个问题,既是一个古老的问题,又是一个最新的问题。

第二讲 原子核里的宝藏

——原子能

第一讲介绍原子和原子核的时候,我们曾经谈到,铀元素有放射性,它能够放射出高速运动的 α 粒子。 α 粒子是由两个质子和两个中子组成的氦原子核。铀原子核放射出 α 粒子以后,就变成了钍原子核。镭原子核也能够放射出 α 粒子,而变成氡原子核。大量的实验表明,不仅铀原子核、镭原子核能够放射出 α 粒子,许多重的原子核都能够自动地放射出 α 粒子,而自己变成另一种原子核。原子核的这种变化叫 α 衰变。还有些原子核,由于里面的中子过多,质子和中子的比例不合适,也不稳定,它里面的中子能够转变成质子,同时放出高速运动的电子和不带电的小粒子。原子核的这种变化叫 β 衰变。比如,氚原子核中包含有一个质子和两个中子,中子多了一点,氚原子核就会通过 β 衰变,使核里面的一个中子变成质子,这时候,氚原子核就变成氦-3原子核。氦-3是不稳定的,在进行 α 衰变的时候,或者是进行 β 衰变的时候,它们能够自动地转变成另外一种原子核,同时还会放出小粒子。这些小粒子运动得很快,也就是它们带有一定的能量。这部分能量是从原子核里放出来的。我们把原子核变化的时候,也就是由一种原子核变成另一种原子核的时候,放出的能量叫“原子核能”,通常把它叫做“原子能”。其实化学反应放出的化学能和发光现象放出的原子激发能,才是真正的原子的能。就拿煤燃烧来说吧,这是碳和氧发生化学反应。在这个化学反应里,

碳原子的四个外层电子跟二个氧原子的四个外层电子配成了对,使碳原子和氧原子紧紧地结合成一个二氧化碳分子。由于外层电子的情况发生了变化,有一部分能量放出来,这就是燃烧产生的热能。这种能量应该叫原子能,但由于习惯,通常把它叫做化学能,而把原子核能叫原子能。因此,当我们按照习惯,把原子核发生变化所发出的能量叫原子能时,大家一定要记住,这指的是原子核能!

别看原子核的“个子”小,它放出的能量却比化学能大得多。比如,一公斤铀-235 完全衰变以后,在整个衰变过程中放出的能量,大约相当于五十多吨优质煤完全燃烧放出的化学能。铀衰变所放出的原子能虽然大得可观,但是没有利用价值。这是因为铀衰变得很慢,一公斤铀要经过四十五亿年才能衰变掉一半。这就是说,就一天来讲,铀衰变放出的原子能是很少很少的一点,即使是一万亿公斤(即10亿吨)铀-238,每天衰变放出的原子能,也只能够发电一度左右。

1919 年,英国物理学家卢瑟福在他的实验室里,用放射性元素放出的 α 粒子作炮弹去轰击氮的原子核,使得氮原子核发生了变化,产生了一个新的原子核——氧-17。这是第一次实现了用人工的办法来改变原子核。这种人工合成新原子核的现象,叫原子核反应。打这以后,人们创造了许多种加速器,来加快质子、 α 粒子等的速度,并用这些被加速的小粒子作炮弹,来轰击原子核,使其发生原子核反应。由于质子、 α 粒子都带正电,原子核也带正电,尤其是那些重原子核带的正电非常多,当质子或者是 α 粒子打到原子核附近的时候,根据同性电荷互相排斥的道理,这个排斥力往往使带正电的粒子还没击中原子核就被排斥过去了(见图 4 左)。再加上原子核本身非常小,所以常常是几十万个质子或者 α 粒子才能击中一个原子核,从而发生原子核反应。这一个原子核放出的原

子能,远远抵偿不了加速几十万个带正电粒子所消耗的能量,更何况加速器本身的工作效率远非100%,所以用这种方法获取原子能是要“赔本”的,没有实用价值。这就需要寻找别的获取原子能的途径。

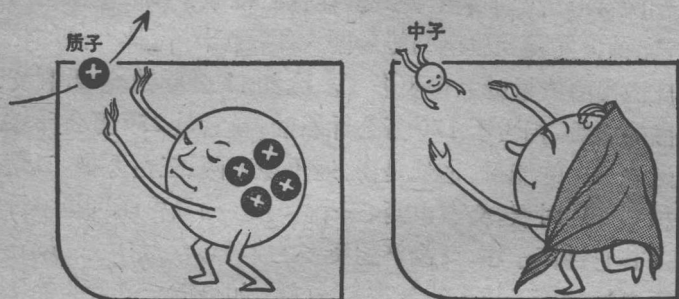


图 4

1932年,人们发现了中子。由于中子不带电,用这种不带电的小粒子轰击原子核,不会受到斥力的作用(见图4右)。因此,一些科学家就用中子来轰击铀-235的原子核。结果,在1938年12月发现了,当铀原子核被中子打中以后,会分裂成

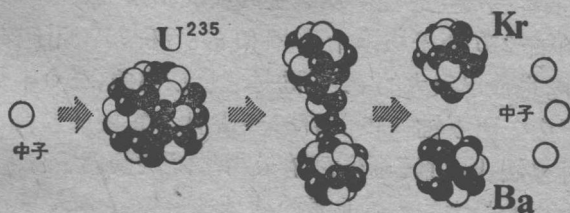


图 5

两个质量相近的原子核,同时放出两、三个中子(见图5)。

1946年,我国著名物理学家钱三强和何泽慧也发现了铀原子核被中子打碎的时候,有一小部分铀原子核会分裂成三个质量差不多的原子核。中子打击较重的原子核以后,较重

原子核分裂成两个或者三个质量相近的原子核,同时放出二、三个中子,这种原子核反应叫原子核的裂变反应。裂变反应有两个特点。一是放出的能量大。一个铀原子核裂变的时候,可以放出二百兆电子伏的能量。一个电子伏等于一个电子在一伏特电场中加速所得到的能量。铀原子核裂变放出的能量,比铀自发衰变放出的能量要大四、五十倍,比一般的化学反应放出的能量就大得更多了。比如,1公斤铀全部裂变所放出的能量,相当于170万公斤石油,或者是270万公斤煤全部燃烧放出的能量,也就是说,差不多高两、三百万倍。二是原子核裂变的时候,会放出两、三个中子。如果再让这些中子去轰击其它铀原子核,又会产生更多的中子,继续下去,就会引起更多的铀原子核发生裂变。这样,如果把一定量的铀堆放在一起,铀原子核的裂变反应就会连续不断地进行下去,而且规模可以越来越大。这就是人们常说的“链式反应”。这就好象一粒火星掉进了爆竹堆,只要一个爆竹爆炸,爆炸的火星又会使别的爆竹爆炸,从而引起一连串的爆炸。

除了铀-235原子核以外,钚-239原子核受到低能中子的作用,也很容易产生裂变。从裂变的情况和效果来看,钚-239原子核和铀-235原子核是十分相似的。钚-239原子核在裂变的时候,也放出很大的能量,同时它也放出两、三个中子,形成链式反应。所以铀-235和钚-239是两种重要核燃料,显然利用这种办法获取原子能就不存在“赔本”的问题了。

以上讲的是大的也就是重的原子核分裂放出大量能量,能不能从小的也就是轻的原子核里得到原子能呢?

科学研究发现两个重量轻的原子核发生核反应以后,会聚合成一个比较重的原子核(见图6),同时放出巨大的能量,原子核的这种变化叫聚变反应。因为这种聚变反应必须要在高温的条件下才能进行,所以又叫“热核反应”。质量轻的原子

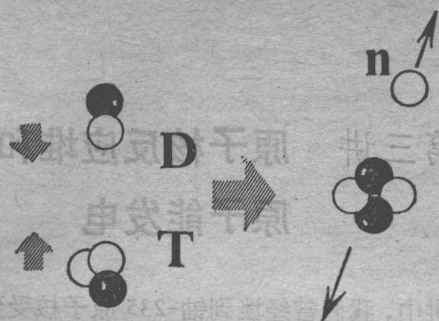


图 6

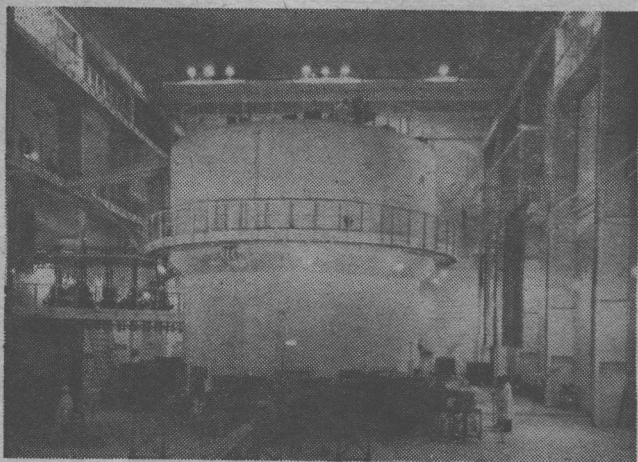
核发生聚变反应的时候放出的能量，比重原子核裂变所放出的能量要大得多。一般说来，1 公斤轻核燃料发生聚变反应要比 1 公斤重核燃料裂变反应所放出的能量大 10 倍左右。太阳放出的能量，就是轻原子核聚变产生的。

从刚才谈的这些可以看出，不论是从重原子核放出的裂变能，还是轻原子核放出的聚变能，都比化学能大得多；同时，裂变和聚变需要的核燃料的蕴藏量又很丰富，因此，可以说，原子能是一种巨大的、很有前途的能源。

第三讲 原子核反应堆和 原子能发电

在第二讲中,我们曾经谈到铀-235 原子核受到中子轰击以后,会发生裂变反应。裂变反应有两个特点:一是能够放出巨大的能量;二是能够放出两、三个中子。如果让裂变反应产生的中子,再去引起更多的铀原子核裂变,那么,裂变反应就会不断地进行,形成链式反应,放出大量的原子能。

1942 年,也就是发现裂变后的第四年,人类第一次实现了这种链式反应。这是在叫做“原子核反应堆”的装置里进行的。原子核反应堆实际上就是原子锅炉。原子核反应堆的种



重水反应堆外景
图 7

类很多,不过,它们的基本结构都差不多(参见图7)。原子核反应堆的核心部分叫活性区。活性区就是进行链式反应的区域。它由燃料棒、慢化剂、冷却剂和控制棒等组成。燃料棒里面装有能够裂变的核燃料,如铀-235、钚-239等。铀在自然界中有三种同位素,就是铀-235、铀-234、铀-238。由于速度慢的中子只能使铀-235裂变,不能使铀-238裂变,而速度快的快中子虽然可以引起铀-235和铀-238裂变,但是,不那么容易。所以,在原子核反应堆中,最好用慢中子和铀-235进行核反应。铀-235是一种很好的核燃料,只是天然铀里面铀-235的含量太少,只占千分之七,绝大多数是铀-238。在原子核反应堆中,要是利用天然铀作燃料棒,效果不很理想。为了使链式反应比较容易实现,要先把天然铀里面的铀-235浓缩,提高它的含量。这种铀-235含量比较高的铀叫加浓铀。钚-239的性质同铀-235有点类似,也是一种好燃料。钚-239可以在原子核反应堆里,让铀-238吸收中子而得到。

活性区里慢化剂的作用是使快中子的速度减慢变成慢中子,使裂变反应容易发生。冷却剂的作用有两个:一是保持反应堆内的温度不要过高,以免烧坏;二是把裂变放出的热量输送出去,以便利用。水、重水、二氧化碳、液态钠等都可作冷却剂。有不少反应堆,把水或者重水既作为慢化剂,又作为冷却剂,这样一身二任,比较方便。控制棒一般是用强烈吸收中子的材料做成的。把它插进活性区里,调节插入的深度,能够控制活性区里中子的数目,这样就可以使链式反应保持在一定的水平上。

反应堆的活性区外面包着一个反射层,它的作用是把从活性区里跑出来的中子反射回去,减少中子的损失,使得中子在原子核反应堆里有效地起作用。很多反应堆的反射层是用石墨制成的。

原子核反应堆在运行的时候，有很多的中子和 γ 射线放射出来。大量的中子和 γ 射线对人有危害，因此，在反应堆的外面装有一个保护层。保护层通常是很厚的水和水泥。另外，在反应堆里还有很多管道，是供制造同位素和做物理、化学、生物实验用的。

现在世界上已经建成了数以百计的原子核反应堆，大部分是用来发电、开动核潜艇，为人造卫星提供能源等，还有一些原子核反应堆用来生产核燃料、淡化海水、检验材料、生产同位素和进行科学研究，等等。

利用原子核反应堆放出的热量进行发电，就是常说的原子能发电。原子能发电要先通过冷却剂，把原子核反应堆里的热量引出来。冷却剂在经过热交换器的时候，热交换器里的水就变成了高温蒸汽，然后用这高温蒸汽推动汽轮机旋转，再由汽轮机带动发电机发电。一般原子能发电站就是利用这个原理而建造的。1954年以来，有二十六个国家和地区建造了原子能发电站，已经发电的有两百多座，总的发电功率达到一亿千瓦。正在建造和计划建造的还有几百座，发电功率将有四亿千瓦。目前，有些国家原子能发电站的发电量已经占国家总发电量的百分之十几。有人预计，到公元2000年，原子能发电站的发电量将占世界电站总发电量的一半以上。

为什么原子能发电发展得这么快呢？因为它有不少优点。比如，原子能发电消耗的燃料很少，在缺乏动力资源或者交通不便的地方，可以大大减少燃料的运输量。更重要的优越性还在于它比较便宜。早期的原子能发电成本太高，到了六十年代，原子能发电的成本已降低到和火力发电相同的水平。七十年代，由于石油价格上升，原子能发电相对变成廉价的了，这样，原子能发电的发展速度就更快了。目前，在国外，一般情况下，原子能发电的成本普遍要比火力发电成本低百