

原子反应堆和加速器



科学技术出版社

原子反应堆和加速器

金星南等

科学技术出版社

1956年

本書提要

我国第一个原子反应堆和第一个迴旋加速器的运转，是我国开始进入原子能时代的标志，因此懂得一些反应堆和加速器的知識，了解原子动力的發展，是相当重要的一件事。本書就为了这个目的編集的。它給中学程度的讀者提供了丰富的原子能知識。

总号: 3245

原子反应堆和加速器

著者: 金星南等

出版者: 科学技术出版社

(北京市西便門外大街)

北京市書刊出版業營業許可証出字第091号

發行者: 新华書店

印刷者: 北京市印刷厂

(北京市西便門外大街乙1号)

开本: 787×1092 1/32 印张: 4.5

1959年2月第1版 字数: 85,000

1959年2月第1次印刷 印数: 10,050

統一書号: 15051·219

定 价: (8) 4 角 8 分

目 次

大家来办原子能科学	人民日报社論 (1)
我国的加速器和原子反应堆	金星南 (4)
我国自建的第一座实验性重水反应堆	李 民 (13)
原子反应堆	斯大林獎金获得者 E. M. 巴拉巴諾夫 (19)
鏈式反应	(19)
鏈式反应的控制	(26)
非均匀反应堆	(29)
均匀反应堆	(32)
人工核燃料	(34)
核燃料的再生	(36)
核子反应堆的工作	(41)
苏联的原子反应堆	(47)
苏联科学院的原子能发电站	(55)
核子反应及其实现的方法	数学物理科学博士 B. И. 戈里丹斯基 (60)
怎样观测核反应的产物	(61)
有关核反应最初的、最重要的工作	(69)
庫倫势能障壁、核反应的截面	(75)
加速器——高速核粒子的源	(78)
中子引起的核反应	(89)
研究核反应的一般意义	(93)
原子能电站的发展远景	M. A. 斯特利科維奇通訊院士 (98)
苏联的原子动力	Е. П. 阿納尼耶夫 (117)
丰富多采的苏联原子反应堆	(131)
“南开一号”小型原子反应堆	魏安賜 (133)
用土办法制造的电子加速	陈家洱 (138)

大家来办原子能科学

人民日报社論

我国第一座实验性原子堆和回旋加速器的提前移交生产，标志着我们的党在领导科学事业中取得了又一次胜利。谁都知道，原子能是当代的一门尖端科学，需要有高度的科学技术水平才能掌握它和实际利用它。现在我们的原子堆和加速器移交生产了，这表示我们已打开了这门尖端科学的大门，而且已经跨出了第一步，进入了广阔的原子能科学的领域，这虽然只是一个开端，但开端是很重要的，有了良好的开端，就有了远大的发展前途。

原子能科学的研究和发展同当前物质生产基础关系很大。因为任何一种科学研究，它的终极目的都是为了实际利用，都是为了更多更快更好更省地从事于物质生产，从而造福于人类。任何一门尖端的科学技术，要想掌握它利用它，必须要有相适应的物质基础，不可能设想在一个工农业生产科学技术水平极度低下的国家里，能够大规模研究和利用原子能。可以这样说，没有基础，也就没有尖端。我国工农业生产飞跃发展和科学技术水平的迅速提高，给我国原子能科学开辟了远大前程。这是我国的原子能科学会很快地有很大发展的基础。

对研究和利用原子能来说，当前形势和条件都是很好的。然而好的形势和好的条件并不会自动地产生好的效果。原子能科学能不能比较迅速地发展，还要看我们采取什么样的方针。

一种方针是：因为原子能是一门尖端科学，所以只能由

中央的科学研究部門来办，因为是尖端，当然只能聘請少数权威参加研究，無名之士一概不得入原子之門。因为是尖端，当然一切方法都必须采取洋办法。如果采取这个方針，可以肯定，局面一定是冷冷清清的，若干年內原子能科学縱有發展，其速度也必然很慢。

还有另外一种方針，这就是大家来办原子能科学。采取这个方針，原子能科学事業就能很快發展。也許有人會搖搖頭說，这是办不到的，原子能科学技术極其复杂，怎么能大家来办呢？其实一切科学，都是人对自然認識的結果。在人沒有認識它以前，那是玄妙無比的，一旦被人認識以后，奧妙就被揭穿了。在电能利用以前，人們用油灯和蜡燭来照明，誰做夢也沒有想到一按开关就会送来光明。那时人們对空中的閃电存在着一种懼怕心理，而現在电已成为一种普通的常識了。在今年的大躍进中，短短的几个月，在我国农村就办起了几万座小型水电站。在人和自然的斗争中起决定性作用的是人而不是自然。大躍进以来許多事实証明：科学技术的高峰并不是高不可攀的，只要我們下定决心，專家、青年科学技术人員、技术工人和广大羣众一齐發动，大家来办原子能科学，原子能科学就会蓬蓬勃勃地發展起来。

关键的問題仍然在于走羣众路綫。羣众路綫是党領導各項工作的根本路綫，原子能这一尖端科学也不能例外，原子能科学的研究和利用工作也必须貫徹党的社会主义建設总路綫，实行中央和地方并举，大、中、小相結合、洋土結合的方針。当前的实际已經証明这是可以办到的，現在已不只是中央的科学部門在研究原子能，各省市的党政领导机关对發展原子能科学技术也都很热心，若干城市、学校、科学研究机关已經依靠自己的力量进行原子能的科学研究，并且获得了成

果。事實證明：原子能科學絕不是只能由中央科學部門的少數人來辦，也絕不是需要很長的時間才可以辦起來，完全可以在比較廣大的範圍內，發動更多的人來辦，和在比較短的時間內辦起來。我們的目的是和平利用原子能，為人民謀福利，因此人民羣眾一定會積極參加辦原子能科學的工作。只要大家動手來辦，事情就會辦得又快又好。

偉大的蘇聯，對於我國的第一座實驗性原子反應堆和迴旋加速器的建設，給予了很大的幫助。在我國這門新興的尖端科學部門中，也閃爍着中蘇人民偉大友誼的光輝。蘇聯是原子能科學高度發達的國家，我們今後還必須繼續向蘇聯學習。

在原子能的世界中，現在我們只是占有了一個極小的角落，要使原子能在我國的建設事業中得到普遍利用，還需要付出極其巨大的努力。然而，我們既然決心要攀上世界科學技術的高峰，就沒有什麼困難可以阻擋我們前進。只要我們繼續破除迷信、解放思想，只要我們艱苦、踏實、努力工作，原子能科學就一定会在一個不長的時間內高速度地發展起來。

我国的加速器和原子反应堆

金星南

我国为了發展原子能事業，在解放之后，在党和政府的领导下，开始建設原子能事業所需要的靜电加速器，在 1955 年初，在苏联的無私帮助下，开始建立一架能把 α 粒子的能量增加到二千五百万电子伏特的迴旋加速器，和一座功率为七千瓩到一万瓩的實驗性重水原子反应堆。

在目前社会主义建設事業全面大躍进的时期中，这迴旋加速器和原子反应堆已經建成。这两項設備的建成，在我国原子能事業上打下了初步的基础。

在这文章中我们将簡要地敘述一下靜电加速器，迴旋加速器，和原子反应堆的結構，以及它們在原子能事業中的作用。

原子核和原子能

科学在今天已經發展到这样的地步，構成我們一切物質的最微小的粒子——原子——的結構已能用灵敏的實驗仪器观察出来。原子不是簡單的粒子，它的內部結構是相当复杂的。它是由很多帶电粒子組成的，它的中心是一个帶正电的原子核，四周是帶負电的电子在运动着。

人們的智慧的發展是無穷尽的。現在人們已經能观察比原子小上百万倍的原子核的內部構造和性質了。原子核是由二种不同的粒子紧密地結合在一起的，一种是帶电的質子，另一种是不帶电的中子。

現在人們所發現的原子核有一千多種，其中具有同樣數目的質子的原子核稱為同位素原子核。

有些原子核會放出一個具有能量的粒子（如 α 粒子、電子等），而它本身變成另一種原子核；有時會放出穿透本領很強的 γ 射線，而它變到另一種狀態。這些現象稱為核衰變現象。這種原子核是不穩定的。穩定原子核本身是不改變的。原子核在衰變的時候，不但放出粒子和射線，同時也有能量放射出來。

原子核被其他原子核碰撞後會產生新的原子核，這種現象叫做核反應。在核反應產生的過程中，也常常有能量放出。有時也有吸收能量的情況。

有很多重原子核，如鈾、鈷等可以分成二個較輕的原子核。這種現象稱為核裂變。在原子核裂變的時候，往往有大量能量放出來。

不論在原子核衰變時所放的能量，或是在原子核起反應時所放的能量，或是在原子核裂變時所放的能量，都叫做原子能。

原子核在衰變時所放出的 α 粒子，電子、 γ 射線，重原子核裂變時所放出的能量等等，在國民經濟上是起很大的作用的。例如鈾原子核裂變時所放出的大量能量，可以在動力上代替煤的燃燒。一種鈷的同位素（鈷60）所放出的 γ 射線，可以用來探測機器部件是否有傷迹，也可以探測煉鋼的高爐爐壁是否燒壞，對農作物照射後，可以殺害蟲，使農產品在倉庫中長期保存。此外，在農業的增產、醫學上的治療等方面都可利用各種同位素所放出的具有能量的射線或粒子。

有關原子核的這些現象的本質，以及原子能的如何利用，是原子能科學研究中的很主要的課題。由於原子能科學

事業對於國民經濟有着這樣密切的關係，所以近二十年來，世界上很多國家投入了大量的的人力和物力來進行原子能科學的研究。

原子核的現象是怎樣產生的

原子核的衰變現象，以及鈾、鈷等重原子核的裂變現象，在自然界中是存在着的。但是當人們不能掌握這些現象的產生，和控制這些現象的時候，要使它們為人們廣泛利用，造福於人類，那是沒有可能的。

我們知道原子核是極微小的、帶正電的、結合得很緊密的粒子。如果有一個穩定的原子核，要使它起衰變現象，或要使原子核產生核反應，或要人工地使鈾、鈷等重原子核裂變，我們常常利用別的粒子來和原子核碰撞，闖入原子核內，使原子核的狀態改變，這樣就能產生核反應，有時能產生重原子核的裂變。一般地，我們是用質子、重氫核、 α 粒子、電子、中子等來產生這些現象的。

質子、重氫核、 α 粒子都是帶正電的粒子，它們和被碰撞的原子核之間的電荷相同，因而有靜電排斥力，當它們愈近，排斥力就愈大。為了克服它們之間的排斥力，使得彼此之間發生碰撞，必須增加質子、重氫核、 α 粒子的能量。電子與原子核雖然帶的電荷不同，但在距離很近時，和原子核間有很大的斥力，因此要電子與原子核碰撞，也必須增加電子的能量。各種類型的加速器，如靜電加速器、迴旋加速器、電子直線加速器都是用來增加帶電粒子的能量的設備。

中子是一種不帶電的粒子，它和原子核之間不存在象帶電粒子和原子核之間的靜電排斥力；相反地，和原子核還互相吸引。因此，中子和原子核相碰的可能性比較大，並且要中

子和原子核發生作用，無須把中子的能量增加。

但是，自然界中沒有大量的自由地存在着的 neutron。要獲得大量的 neutron，必須從 neutron 源里產生。利用靜電加速器或迴旋加速器所放出的重氫核，與鈹、碳、鋁等原子核起核反應後，可以產生大量 neutron。

鈾原子核的裂變就是在中子打擊鈾原子核時所發生的現象。在鈾原子核裂變的時候，除了放出大量能量外，還放出中子來，如果能用這些中子使其他鈾原子核再裂變，則這種裂變現象可以連續不斷地進行下去，而形成鏈式反應。原子反應堆就是使鈾原子核分裂產生鏈式反應的一種裝置。

原子反應堆內有很多鈾原子核不斷地在裂變，在其中產生大量中子，所以它是一個良好的 neutron 源。

我們要进行原子能事業的研究，就要能人工地製造具有放射性的原子核，人工地產生核反應、重原子核裂變等現象。這樣就需要建立粒子加速器和原子反應堆。現在我國已有自制的靜電加速器，和在蘇聯幫助下建成的迴旋加速器和原子反應堆。這些設備的建成，對於我國的原子能事業打下了初步的基礎。在這裡，我們將敘述一下靜電加速器、迴旋加速器和原子反應堆。

靜電加速器

靜電加速器是利用高電壓來增加帶電粒子的能量的一種設備。

我們知道，如果我們把電荷送到一個空心導體裡面，不管導體的表面帶了多少電荷，電荷還是要跑到導體的表面上去。當把電荷源源輸到導體的時候，它的電壓就愈來愈高。最後，導體達到很高的電壓。

在靜电加速器上就有这样的一個絕緣的空心金屬导体，作为高压电極。它的表面上电荷是由絲制的或橡膠制的絕緣帶輸上去的。絕緣帶上的电荷是由噴电設備噴上去的。具有电荷的絕緣帶进入金屬电極后，由金屬梳把电荷从絕緣帶上吸取下来，送到金屬导体的表面上。

由于导体上的电荷会向空气中漏电，其結果导体上所增加的电荷与漏掉的电荷就会相等，因此金屬导体表面上的电荷会达到一定的限度。如果把靜电加速器放在高压下的某种合适的气体（如氮与二氧化碳的混合气体）内，可以使金屬导体的电压提得更高。

要增加能量的帶正电的粒子，是从一个产生离子的裝置中放出的，这个裝置称为离子源。离子源是放在空心金屬导体的内部的。从离子源所放出的帶电粒子，受到了高压电極上的电压的作用，通过加速管而增加了能量。

加速管是由互相絕緣的許多加速电極組成的。这些电極之間由瓷筒或玻璃筒絕緣，密封成不漏的管子。各对电極間的电压的比例可以調节，以致电極之間有适当的电場分布，这样能使能量被增加的帶电粒子聚成一束，而不分散在管中。

通过加速管后的能量被增加的帶电粒子，打击在各种原子核上，可以引起核反应。根据所测量的結果，可以研究原子核的特性。用这种能量被增加的帶电粒子打击在原子核上，可以产生新的具有放射性的原子核，人們可以研究这种放射性原子核的性質。靜电加速器也可以产生中子。

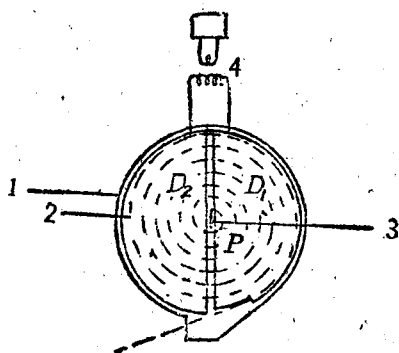
迴旋加速器

迴旋加速器的主要部分是在强磁場中的二个扁平中空的半圓形电極，由于它們的形狀象字母D字，所以也称为D形

盒。这两个D形盒是放在一个扁平中空的圆形真空盒内。在这两个D形盒上加以频率为每秒几百万周的交流电压。在这两个D形盒之间有一条很狭的隙缝，能量增加的带电粒子就从放在这隙缝间的离子源内发射出来。

从离子源内发射出来的带正电的粒子，如果刚在发射出来的时候，D形盒 D_1 是负电极， D_2 是正电极，则受到 D_1 的吸引，同时又受到 D_2 的排斥。这样，带电粒子就进入 D_1 内。由于外界磁场的影响，带电粒子在 D_1 内回旋。两D形盒上的交流电压的频率是这样调制着的，当带电粒子到达隙缝的时候，如到达P点时，原来吸引它的 D_1 变为排斥它，原来排斥它的 D_2 变为吸引它。在这个时候，带电粒子就受到一个拉向 D_2 的力。这样，它的速度增加了，因此，它的能量也增加了。带电粒子就是这样在两个D形盒内，经过好多次回旋后，增加到所需要的能量，于是我们设法把这些粒子输出加速器外。

我们利用回旋加速器所放出的带电粒子，可以使原子核产生核反应，由此可以研究它们的特性。回旋加速器也可以用来产生具有放射性的原子核，我们可以研究它们的特性，这些具有放射性的原子核也可以用在国民经济上。此外回旋加速器



回旋加速器示意图：

1—真空盒；2—D形盒；3—离子源；
4—高频电压机。虚线表示带电粒子运动的路径

中所产生的重氘核与铍、碳、铝等原子核作用后，可以产生中子。

迴旋加速器不象静电加速器的高压电极那样受到向空气中放电的限制，所以迴旋加速器可使带电粒子的能量比静电加速器增加得更高。

原子反应堆

原子反应堆的中心部分叫做活性区。我们这原子反应堆的活性区是由放在重水中的很多铀棒组成的。在这反应堆中，使铀原子核裂变的是能量很小的中子——热中子。所以这是一个热中子反应堆。重水是这反应堆中的减速剂，它的作用是使铀原子核裂变时所放出的能量大的中子变为热中子。热中子又使其它铀原子核裂变，这样就形成链式反应。

这个由铀棒和重水所组成的系统放在一铝制壳内，铝壳的外面有一个石墨层包围着。它的作用是将部分飞出活性区的中子反射回去，减少从活性区飞出中子，也就是说可以减少活性区中中子的损失。这石墨层称为反射层。

原子反应堆在运转的时候，常常有大量中子和大量 γ 射线放出反应堆外。中子和 γ 射线四散在空气中，对于工作人员和附近居民会带来很大的危害性。为了防止中子和 γ 射线放出，在这反应堆的石墨反射层外包了一层钢壳，钢壳外面是一个水层，最外面是一层很厚的混凝土层。

这反应堆的功率的控制是用很多根插在活性区内的镉棒来完成的。镉是一种可以大量吸收中子的金属。如果在反应堆中中子太多，功率过高，我们可以把镉棒多插入一些，中子就被多吸收了一些，反应堆的功率即可降低。反之，如果中子太少，功率不够，我们就要把镉棒多拔出一些。

反应堆在运转的过程中，有大量热量放出。这些热量是由一个重水循环系统中的重水带出去的。重水在我们这反应堆内不仅是减速剂，并且同时也是冷却反应堆的冷却剂。重水所带出的热量，在经过热交换器时，传给另一个循环系统中的普通水，而被冷却了的重水又重新回到反应堆内。

在这反应堆中，除了这个冷却系统外，还有一个氦气的循环系统。这循环系统的目的是把反应堆内由于重水受到中子和 γ 射线的作用而分解成重氢和氧的混合气体排出反应堆，因为这种混合气体是有爆炸性的，所以必需把它排出。把所排出的重氢与氧合成重水，再送入反应堆内。

我们这反应堆是一个实验性的反应堆，利用这反应堆，我国就可以研究原子核的各种性质，可以研究大量中子与 γ 射线照射在金属上所起的影响，研究大量中子与 γ 射线照射在生物上所起的影响等等。它还可以用来制造各种具有放射性的同位素，这种同位素在工业、农业、医学等国民经济上是起很大的作用的。

* * *

这些设备的建成，标志着原子能事业在我国的土地上已生长起来了，证明了我国在共产党的领导下，现代化的科学技术能很快地建立起来，对资产阶级右派分子所说的共产党不能领导科学的谬论，予以强有力的回击。打破了人们对于科学技术的高不可攀的迷信，和对于科学技术不可骤进的错误认识。

这些设备的建成，在我国的科学研究上，在我国的国民经济上是会起一定的作用的。但是对于我国全国范围内的需要来说是远远不够的。

从加速器来讲，上述二种类型的加速器，都是属于低能

加速器的范畴的。除了这两种加速器外，还有很多种加速器，如同步回旋加速器，直线加速器等。从能量方面来讲，还有中能加速器和高能加速器。原子反应堆的类型也是很多的，并且有各种用途的原子反应堆。其中有供给科学实验用的，有供给产生动力用的。

在我国社会主义建设时期，各种类型的加速器和反应堆都是必要制造的。这样才能满足我国全国各方面的建设事业的需要。

我国在共产党的领导下，在全国整风的基础上，工农业已经掀起了生产大跃进的局面，各项科学事业的大跃进形势也已形成。我国的原子能事业一定会和其它建设事业一样，在完成党所规定的十二年科学远景规划的时候，很快地赶上世界的先进水平。

我国自建的第一座实验性 重水反应堆

李 民

在党的领导下，在苏联无私的帮助下，我国第一座原子反应堆已于六月十三日建成，并开始了链式反应。

这个反应堆是实验性重水反应堆。规定功率为7,000瓩，最大功率可达10,000瓩。所以称之为实验性重水反应堆，是因为这个反应堆供科学研究而不是用来作为动力源（例如发电），而中子的减速及热量的导出是用重水来进行的。反应堆建成以后，我国科学工作者就有了优越的条件来进行一系列原子核物理方面的研究工作，同时能生产大量放射性同位素以供工业、农业、医学、科学研究等各方面所需。这对提高生产、推动技术革命，加速我国社会主义建设将起重要作用。

实验性重水反应堆作用原理

实验性重水反应堆所用的铀棒是浓缩铀。在自然铀中，铀235 (U^{235}) 仅占0.714%，而铀238 (U^{238}) 占99.28%，铀234 (U^{234}) 占0.006%。必须把自然铀经加工后，使铀235成分提高。中子最容易使铀235裂变，而热中子（中子速度相当于室温下热分子速度）使铀235裂变的可能性更大。对铀238来说，中子能量在1百万电子伏特以上才能引起裂变。换句话说，铀238裂变的可能性很小。因此我们要将快

① 1电子伏特是一个电子经过1伏特电势差时所得的动能。其值等于 1.6×10^{-12} 尔格。