

热核能——未来动力的基础

(苏联)库尔恰托夫院士 等著

科学普及出版社

热核能—未来动力的基础

〔苏联〕 库尔恰托夫院士等 著

科学普及出版社

1959年·北京

本書提要

“二十世紀的下半個世紀將是熱核能的世紀”。這是蘇聯領導原子能研究工作的庫爾恰托夫院士的預言。熱核能的和平利用，將使幾乎是無窮無盡的海水，都成為供給熱能的原料，因而給人類帶來取用不竭的能源。而我們知道熱核彈又是一種威力極大的武器，因此好些國家都花很大力量研究熱核反應問題。

聶榮臻付總理在“全黨抓科學技術工作，實現技術革命”的報告中指出：“我們完全應該而且完全可能做到在不太長的時間內掌握原子裂變和熱核反應”。因此知道一些熱核能的知識是很必要的。

本書包括一篇報導和三篇文章，即庫爾恰托夫院士寫的“熱核能——未來動力的基礎”，以及“人造太陽”和“熱核反應”，比較全面地介紹了熱核能利用的重要意義，熱核反應器的基本結構和原理，以及熱核反應理論，本書還雄辯地證明了蘇聯在這個重要尖端技術上，走在全世界的前面。在目前，這是一本較豐富而深入地介紹熱核能知識的小冊子。

總字 1000

熱核能 ~~——~~ 未來動力的基礎

原著者：~~（蘇聯）~~庫爾恰托夫院士等

出版者：科學普及出版社

（北京市西便門外柳樹溝）

北京市書刊出版業營業證許可證出字第091號

發行者：新華書店

印刷者：北京市印刷一廠

（北京市西便門南大街乙1號）

開本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張：3 $\frac{1}{4}$

1959年1月第1版 字數：65,000

1958年1月第1次印刷 印數：5,550

統一書號：15051·146

定價：（9）3角7分

目 次

一、控制热核反应就在眼前	(1)
二、热核能——未来动力的基础	庫尔恰托夫院士 (6)
三、人造太陽	安菲洛夫 (14)
四、热核反应	巴拉巴諾夫 哥尔頓斯基 (27)
关于原子核的一些基本知識	(27)
庫倫勢壘和核反应截面	(38)
中子所引起的核反应	(41)
原子核鏈式反应	(44)
原子彈	(48)
热核反应	(53)
太陽上的热核反应	(63)
人工热核反应	(74)
热核反应的和平利用的远景	(85)

控制热核反应就在眼前

苏联科学家首先在北京向全世界宣布的一件大事

苏联研究和利用热核反应方面又找出了一个新的途径。现在采用的“奥格拉”装置比过去用的强电流脉冲放电方法更优越，更有实现的可能。这就是说，威胁着亿万人民生命安全的氢弹——爆炸式的热核反应，将可以改变为造福人类的工具——可以控制的、平稳地进行热核反应；人类将从这里获得空前巨大的取之不尽的动力源泉。因为用于可控制热核反应的“重氢”，在自然界水中大量存在，这种燃料足够人类用几万万

可控制热核反应研究工作的主持者、苏联科学院原子能研究所所长库尔恰托夫院士为了表示中苏两国人民的深厚友谊，他要首先在中国宣布这项足以震奋全人类的科学新成就。1958年8月20日，伏罗别尧夫同志接受他的老师库尔恰托夫院士的委托，在北京中国科学院原子能研究所特地举行的学术报告会上宣读了库尔恰托夫关于这项研究成果的报告。

这篇报告详细描写了过去从未公布过的，建造在苏联科学院原子能研究所内的“奥格拉”装置。它的原理是利用布德开尔提出的绝热捕集器。把预先加速到二十万电子伏的分子态氢离子注入捕集器后，在捕集器中解离为原子态离子，然后这样高温的离子就在捕集器的两个“磁塞”之间来回振动，直到相互碰撞发生反应为止。由于绝热捕集器的等离子气体中没有大电流

通过，所以它的稳定性较高。因此，按这个方向解决可控制热核反应的问题是有前途的。此外，这个方法还可以解决实现稳定状态的热核反应的问题。“奥格拉”装置是到目前为止文献上已发表的热核反应装置中最大的一个，单是它的磁场线圈就需要四千瓩的电功率，真空室的总长达二十米。这套装置已经安装完毕，现正在开始进行实验工作。

苏联已经建成各种型式的大型热核装置

据塔斯社日内瓦讯：苏联已经建成各种型式的大型热核装置。

这幅蓬勃发展的原子工业建设的宏伟图景是出席第二届和平利用原子能国际会议的苏联代表团团长叶麦利扬诺夫教授9月1日在这个会议上作报告时宣布的。这位苏联利用原子能总局局长首先谈到可控制的热核反应的问题，他说：“我们认为，在广泛利用重核裂变能之后，更广泛地利用轻核聚变能的时期即将到来。”

他说，十分明显，首先建成的将是使用氘和氚的混合物的工业反应堆，而后是使用纯氘的反应堆（氘读作刀，氚读作州，都是氢的同位素，自然界的氚储量极少，在动力工业最发达情况下也够用几亿年）。氘-氚反应堆可能是极其轻便的，适于装置在船上。

最新工程计算表明，从反应堆每一立方公尺的氘和氚的灼热等离子气体中发出几百万瓩的能量是现实的。这比任何其他动力装置（包括原子反应堆、喷气发动机）所发的能量都要多。

热核能可以直接转变为电能

据塔斯社日内瓦讯：热核反应堆中几乎全部有效能量都

可以直接轉变为电能，这种直接轉变的方法，可以大大降低不可回收的热損耗，而且可以降低热核裝置室壁的热負荷，这是一位苏联科学家在日内瓦和平利用原子能国际會議9月2日下午全体會議上宣讀的阿尔齐莫維奇院士的一个报告中說的。

大家知道，目前一般的原子能反应堆中都是利用反应堆中原子反应产生的热能通过放热系統来加热水，造成高温高压蒸汽，再利用这种蒸汽轉动渦輪發电机發电。用这种間接方法大量的能不能轉变为电能而白白消耗掉。同时，热核反应要在目前任何物質都無法經受的高温下才能产生，因此如何保护热核裝置真空室壁一直是科学家們所力求解決的問題。

报告指出，把热核反应堆中的热能直接变为电能之成为可能，是因为，在磁力热絕緣条件下，热核反应堆中等离子气体的热能可以轉变为电磁能。

报告还談到建造可以再生产本身所需的氦的氘——氦热核反应堆的問題。大家知道，氘在自然界是很多的，可是純氘反应堆的效益只是氘——氦反应堆的几百分之一，但是，如果使用后者，氘要由普通原子反应堆制造，成本極昂貴。阿尔齐莫維奇建議用厚層的鈹、鉛、鉍等物質建造热核反应堆。在这种物質中，在一个快中子作用下，可以产生兩個新的快中子。这种中子流的扩大就可以利用来通过輕元素——鋰6的裂变反应再生产氘。这样，反应堆所需的燃料就可以不断增加。

阿尔齐莫維奇还指出，控制聚变反应問題的解决，在于正确地選擇等离子的磁力热絕緣方法。苏联科学家已經發現了好几种磁系統，包括今年夏天建成的“奥格拉”裝置。

控制热核反应有效办法

采用苏联科学家設計的絕热捕集器（其中最大的就是前不

久在中国第一次宣布的“奥格拉”装置)，就可以在原則上把實現穩定的熱核反應的問題提到日程上來。解決控制熱核反應問題的時間已經不這麼遠了。

這是主持可控制熱核反應研究工作的蘇聯科學院原子能研究所所長庫爾恰托夫院士在8月分“原子能”雜誌上發表的文章中說的。“真理報”在今天刊載了這篇文章的摘要。

文章介紹了蘇聯原子能研究所關於可控制的熱核反應的一些工作和絕熱捕集器的原理。

大家知道，把爆炸式的熱核反應（氫彈反應）改變成可以控制的、平穩的熱核反應，是目前人類尚未解決的最重大、最複雜的問題之一。據計算，要能利用熱核反應的非凡巨大的能，必需要在熱核反應堆中把重氫加熱到三一四億度，或者把重氫、超重氫的混合物加熱到四一五千萬度。這是目前人類還沒有製造出的高溫。同時，建造這種反應堆也是困難的。因為就是在三千度的高溫下也沒有一種耐火材料足以耐受大的機械負荷。

後來，蘇聯科學家沙哈羅夫和塔姆院士提出了利用完全被游離的等離子氣體的特性來解決這一困難的途徑。就是利用磁場，使帶電粒子不能自由地橫穿磁力綫而運動，這樣就可以使氫不接近容器壁，在里面進行反應。為了防止粒子沿着磁場跑掉，他們建議在磁力綫成為閉合狀態的環形室內進行熱核反應。

庫爾恰托夫的文章說，最初的一些理論研究就已經表明，為了在這些系統中防止“環形浮動”必須使強大的電流通過等離子氣體，這種強大的電流的磁場同外部的環形磁場相等；它本身也在熱絕緣中起重要作用。這樣，蘇聯科學院原子能研究所就發展了帶有強大的等離子氣體流的脈沖放電的研究。這種研究用環形室和直管都進行過。

文章指出，1953年，蘇聯科學家布德開爾提出帶有所謂磁

塞的系統——絕熱捕集器，並且在1954年完成了這種系統的計算。在這以後，蘇聯科學院原子能研究所就開始發展研究可控的熱核反應的另一個方向。

原子能研究所正在研究在絕熱捕集器中獲得灼熱等離子氣體（熱核反應就是在一種氣體中發生的）的幾個方法，其中有一個方法是：利用磁場的增強和通過所謂“磁活塞”，即運動着的磁塞，對等離子氣體加壓使其溫度升高。

作者認為，造成具有數億度高溫的灼熱的等離子氣體的可靠方法是向捕集器中注入事先加速到具有必需能量的離子。文章中探討了進行這種注入的一個方案。

文章說，蘇聯科學院原子能研究所的絕熱捕集器中最大的一个是“奧格拉”裝置，它是在戈洛文的科學指導下擬定的。它是一個直管子，帶有不隨時間改變的縱向磁場，向這個磁場中注入的是能量為二十萬電子伏特的氫離子。裝置可用來進行廣泛的物理研究。

“奧格拉”的磁場由平均直徑為一點八公尺的綫圈造成，綫圈由大量的分段組成。它們可以造成各種形狀的磁場。磁塞中心之間的距離為十二公尺。

真空室用不銹鋼製成，它的內徑為一點四公尺，其中的空氣是用真空度為十億分之幾大氣壓的水銀虹吸泵抽出。為進一步更干淨地抽出其中的空氣，採用鈦離子吸收泵。向室的內表面噴射鈦也可以達到這個目的。

文章指出，這個裝置是由蘇聯部長會議原子能利用總管理局電氣物理儀器科學研究所設計的。真空系統是由蘇聯部長會議國家無線電電子技術委員會真空科學研究所設計的。主要設備由列寧格勒大型電氣機械廠製造。建築部分和輔助設備由蘇聯科學院國家設計研究所設計。（根據新華社報導彙編）

热核能——未来动力的基础

庫尔恰托夫院士

上半个二十世紀，人类取得了一項巨大的科学成就，就是在技术上解决了利用重原子核（鈾核、鈾核）的巨大能源的任务。可是这种作为原子鍋爐用的燃料，在地壳里并不太多。如果世界上的全部动力工程都改用这种燃料，那么，在現代动力工程增長的速度下，鈾和鈾只够用一、二百年。而煤和石油的資源，在一二百年里也將采完。因此，科学家們設法利用氘来作为产生热核能的原料以解决燃料問題，并且已經获得了初步的成就。

下半个二十世紀將是热核能的世紀。在热核反应中当氘变为氦时能釋放出大量的能。苏联、美国和英国通过氘彈已經实现了快速进行的热核反应。現在，科学和技术面临着一項新的任务，就是不以爆炸形式而以可控制的形式来实现热核反应。解决了這項任务，就可以利用地球上巨大的氘資源——水作为核子燃料。

热核反应器里燃燒着的將不是普通的氘，而是氘。氘（原子量为 2 的氘）和氚（原子量为 3 的氘）的等量混合物，最容易实现可控制热核反应。然而氚在自然界中为数極少。但是我們可以用中子来轟击鋰以制取必要数量的氚，不过这样作費用很大。用純氘的热核反应堆，將來必然占主要地位，那是因为氘的数量在自然界很充足；每 6,000 个普通氘核中就有 1 个氚核。每升水所含的氘能釋放出相当于 400 升石油燃燒时所产生

的能。計算証明，如果用氘作为燃料，那么即使在动力工程最迅速的發展下，也足够供几亿年之用。热核反应器一旦創造成功，人类就永远用不着再耽心燃料了。

在最近 15 年內，苏联每年所开采的煤和石油的总产量将达到 10 亿吨。要是我們每年能生产 400 吨氘就能替代这全部的煤和石油。20 年前，想要制取 400 吨氘，那是很难想象的，也是难以达到的。記得在战前，由于列宁格勒的迴旋加速器工作的需要，我們曾經費了很大的勁，才从第涅泊彼得罗夫斯克弄来几克氘，那时候該市的烏克蘭苏維埃社会主义共和国科学院的物理化学研究所只能用實驗室方法制取重水。現在情况完全不同了。苏联已經建立了氘的工業生产，生产的方法也是多种多样的。其中值得指出的是深冷法：在零下 250°C 制取氘。这种最先进的办法是苏联科学院物理研究所研究出来的。

从水中提取氘的費用不大。作为燃料用的氘的成本，还不到煤的成本的百分之一^①。

热核反应器是什么样的呢？計算表明，反应器必須能把氘加热到 3—4 亿度，或者把氘和氚的混合物加热到 4,000—5,000 万度。只有在这样高的温度下，氘核才会猛烈地熔合，使放出的能大于氘加热时所耗的能（輻射的损失也計算在內）。只有达到了这样的温度，設有“热核燃燒室”的鍋爐才能与燃燒煤或石油的鍋爐相竞争。

現在我們来研究一下把氘加热到几亿度所必需的条件。

在室温和常压下的普通气态氘里，分子以每小时 5,000 公里以上的速度运动着。把气体裝在能够經受巨大温度和压力的容器里，再把它加热到 10 万度。在这样的温度下，气体的压

① 这里的成本是指同样發一千卡热，用氘要比用煤便宜得多。——譯者

力約为 1,500 大气压，氘原子碎裂成电子和帶正电荷的氘核，气体完全电离。物理学家把处于这种状态的物質叫作等离子气体。此时氘核將以略大于每小时 10 万公里的速度运动着，但是氘核的运动能，还不能克服它們相互的排斥力。在 10 万度的温度下，1 升的氘等离子气体中，在 1,000 年間只發生两个核变。

現在把温度增加到 1 亿度。这时氘核的运动速度極大，約为每秒鐘 1,000 公里。在若干分之一秒內，全部氘核都互相起了反应。1 升的等离子气体，能發出 1 亿瓩的功率。我們將达到使氘的热核反应能够自行持續下去的条件，利用普通密度下的氘的热核反应器是無法設想的。因此热核反应器中的气体密度必須極小。單位体积內的粒子数不应超过常温常压下气体粒子数的十万分之几。就連在这些条件下，由于極高的温度，等离子气体的压力將仍有几十大气压。

乍一看来，創造热核反应器的任务似乎是完全無法解决的，因为在 $3,000^{\circ}$ 的温度下，就已經沒有一种耐热材料能够經受巨大的机械負荷了。使問題更复杂的是，熾热的等离子气体絕對不可和器壁接触。器壁的迅速蒸發，馬上会把等离子气体冷却，使反应停止下来。要想把氘加热到几百万度，必須創造可靠的热絕緣，使氘不与器壁接触。

根据等离子气体（完全电离的气体）的特性，在原則上我們是有可能找到解决上述困难任务的方法的。例如利用帶电粒子不能穿过磁力綫自由运动的特点，就可以用磁場来創造这样的热絕緣。

热核反应器的主要部分將是一个密封的反应室，在“燃起”反应之前，必須先將室內的空气完全抽出，容許的殘余空气压力不超过千万分之几大气压。等离子气体必須“悬”在反应器

內，用磁場把它擋住以免和器壁接觸。要想擋住熱的等離子氣體不讓它膨脹，根本不需要任何那一種材料製成的室壁。電流經過反應器的繞組，在反應器內形成磁場並以此擋住等離子氣體，而繞組也通過磁場受到一個相反的應力。

還有另一種熱絕緣方法：使強大的電流通過等離子氣體，那麼這個電流的磁場就可以用作主要的絕熱工具。為此應當用很厚的導電材料來製造反應室的壁。磁場把有電流通過的等離子氣體圍繞起來。如果這裡所用的是脈衝電流，那麼它的磁場就不可能迅速地滲入金屬，因此等離子氣體也就不會接觸器壁。例如，在銅的表面上所造成的磁場，經過 1 秒鐘的時間只能滲入銅的內部 10 厘米。所以說，制作這種厚壁反應室，使通過等離子電流的磁場保證約 1 秒鐘的熱絕緣時間，在技術上是完全可以做到的。這時經過加熱的等離子氣體的壓力不象冷氣體那樣通過分子的撞擊傳到室壁，而是通過等離子氣體內流過的電流的磁場傳到室壁的。

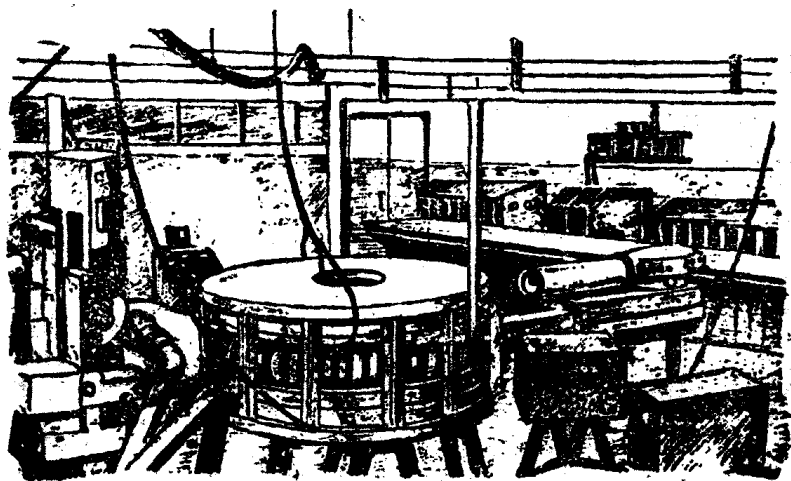
我們知道，經過強烈加熱的物體，會發出很亮的光輝，並輻射出大量的熱。

如果熾熱的氘的發光、放熱，也象固體那樣強烈，那末在 100 萬度的溫度下，它的輻射就會在瞬息間把任何物質都化為氣體，用技術所能達到的任何方法，都不能通過強迫冷卻而使它免于蒸發。可是實際上經過加熱的氘是透明的，它比固體透明若干倍，而它的輻射熱要比固體小若干倍。反應器內尺寸為 1 米的熾熱帶，在 5000 萬度高溫下和氫等離子氣體的密度下，輻射的強度只有尺寸為 1 米的固體在 5000 度的溫度時的輻射強度。儘管如此這仍然是一個巨大的能流，熱核反應器的設計師必須特別重視把這個能流引導出去。不過熾熱帶用眼睛看來只發出微弱的光，因為這種能流主要是由紫外綫和 X 射綫組

成。

使任何热核反应器維持工作状态都要消耗能量。加大反应器的尺寸，可以使放出的能比损失的能增加得快些。因此就得出了一个最小的極限尺寸，而热核反应器必須大于这一尺寸，这样它所产生的能才能大于消耗的能。用氘氚混合物的反应器，活性帶的最小尺寸約为1米。用純氘的反应器尺寸比这一数字要大一些。由此可見，純氘热核反应器只适用于大容量的固定电站。

热核反应器可以用作产生蒸汽的热源，蒸汽將按普通的循环經過汽輪机和發电机产生电能。其次还可以从热核反应器直



苏联科学院原子能研究所的头一批环形室之一

接获得电能，不需要用效率低的中介热循环。1954年苏联科学院原子能研究所的格·依·布德凱尔已經注意到这点，并詳細地制訂了一个方案。他的根据是：在氘等离子气体里，全部的能有三分之二以上是以帶电粒子的动能形式放出的。磁場可以把帶电粒子擋住，由此可見，粒子的动能是可以直接变为电能

的。例如用下列方法就可以获得脉冲电流。我們想象一下，用圍繞热核發生器的繞組中的电流所造成的外磁場，能擋住等离子气体。如果我們把磁場稍稍加强，那时等离子气体由于受到額外的压力，它的温度和密度就会增加。因此热核反应就进行得更快，等离子气体受热越强。于是等离子气体开始膨脹、冷却，而將磁場由反应器内部向外推。接着磁力綫穿过繞組，繞組里就产生电流。在一定的工作状态下，这个电流的能量將比压缩等离子气体所耗的能量要大。

关于建立可控制热核反应堆的工作，大約是同时在苏联、英国和美国开始的。

1950年薩哈罗夫院士和塔姆院士提出了磁力热核反应堆的第一个模型，为苏联对这問題的研究打下了基础。此后这一工作在苏联沿着許多方向进行，現在已有几个科学家和工程师的团体在从事这项工作。1956年苏联科学院原子能研究所發表了沿某一个研究方向所作的工作报告。报告中說，稀薄的氘在所謂快速过程中被我們用强度达200万安培的电流加热到100万度以上。同时观察到了中子輻射。

不久以前，英国哈威尔原子能研究所完成了热核試驗裝置“澤塔”的安裝工作，并开始運轉。

在本年1月，英国“自然”杂志曾經报导了“澤塔”的構造和第一批試驗結果。

建立“澤塔”裝置是为了研究磁場攔阻电离氘的条件，以及获得能激起热核反应的高温。“澤塔”是一个密閉气室，用直徑为1公尺的鋁管，弯成平均直徑为3公尺的环制成。室内充滿氘，压力为百万分之一到千万分之一大气压。在气体内創造强度达20万安培的电流。电流把气体加热，电流的磁場把气体擋住，不使它膨脹和接触金屬室壁。

“澤塔”是由英國著名物理學家約翰·柯克羅夫特所領導的哈威爾原子能研究所創造的。英國物理學家斷定，他們已經能夠把氘加熱到 500 萬度，持續時間為千分之幾秒，同時也觀察到了中子的輻射。“澤塔”是個構造良好的實驗裝置。英國物理學家用它進行了一系列的實驗，但是所得的結果還不足以對室內發生的現象獲得顯明的景象。在英國奧耳德美斯頓地方在阿里本博士的領導下的物理學家們也建成了類似的裝置，據報導，這個裝置所獲得的溫度約 400 萬度。

各國物理學家和工程師還要作許多工作，才能完全探明工業利用熱核能的道路。

“澤塔”里電流通過的放電柱是由繞在室上的繞組的微弱外磁場保持穩定狀態的。關於放電柱（類似“澤塔”內實現的）穩定性的全部理論是在 1953 年由蘇聯青年理論物理學家符·達·沙夫拉諾夫發展的。

英國科學家創造“澤塔”的目的不是要從中獲得熱核反應放出的能。實驗時這裝置中放出的能，只及維持工作狀態所耗的能的 1 萬億分之一。

蘇聯也進行了在環狀室內放電的研究，不過用的是與英國人略為不同的方案。我們打算在本年日內瓦第二屆國際和平利用原子能會議上報告這項工作。

在同一期的“自然”雜誌上所登載的美國論文中，沒有提到什麼新的內容。美國的物理學家在強大的脈沖放電中觀察到中子輻射，不過他們在這些論文里所提到的輻射強度，比蘇聯科學院原子能研究所所觀察到的強度要小得多。

這些文章所報導的情況和美國在這方面的工作規模是不相稱的。美國現在至少有 5 個大科學中心在進行可控制熱核反應的研究，有 500 名以上的科學家參加工作，其中有美國氫彈創

造者泰勒。各国对可控制热核反应的研究工作，至今在很大程度上仍旧是保密的。热核反应器不仅可以利用于和平目的，而且可以用于军事目的，可以用来制取原子彈用的可裂变的鈾和鈾。在原子武器和氫武器尚未禁用以前，难望从事可控制热核反应研究的各国科学家間完全公开。

（何霄譯自苏联“真理报”）