

# 一种新型的干净的核能源

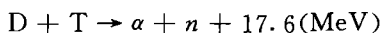
何祚庥 庆承瑞

(中国科学院理论物理研究所)

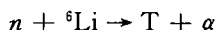
**[摘要]** 本文表明惯性约束热核聚变反应较之磁约束热核聚变反应在技术上更容易实现。尤其是近年来人们更关注于一种新型干净的能源,  $p + {}^{11}\text{B} \rightarrow 3\alpha + 8.7\text{MeV}$ , 这一新的可能性使得两者平衡的天平更移向于惯性约束装置的研制。

能源问题最终要靠核能和太阳能来解决, 因为这是取之不竭的能源。至于地球上化学物质的燃烧, 却总有取尽的一天!

太阳能的缺点是它的功率密度太低, 以致成本昂贵, 而核能又由于有巨大的放射性污染, 因而成为环境污染工作者所高度警惕的对象。在核能中最受人们青睐的是受控热核反应, 因为其伴随产生的放射性物质远较裂变反应为小。在受控热核反应的研究中, 最受关注的是由氘(D)和氚(T)的混合体而产生的热核反应



因为这一核反应有较大的反应截面, 有较大的能量的输出。氘在氢的同位素中占万分之1.6, 可以说不算太稀少了。而氚的寿命却只有12年, 只能由 ${}^6\text{Li}$ 吸收一个中子来产生, 亦即



所以, 所有利用氘和氚的热核反应装置, 都要解决氚的循环, 亦即氚的燃烧和再生的问题。

但是, 虽然来自氘和氚的热核反应对于环境污染较小, 但在反应过程中, 仍出现有能量达14.1MeV的中子, 这仍将产生较强烈的放射性。解决这一问题的办法, 是尽量让中子所产生的放射性是短寿命的, 从而避免长期性的环境污染。

然而实现氘和氚的受控热核反应的严重困难, 首先还不在于环境污染。更为重要的是来自14MeV中子对材料的破坏。在所谓托克玛克型的磁约束的受控热核装置中, 由于这是磁约束, 自然离不开绝缘材料, 也可能要用到超导磁场。可是由D和T的聚变反应所出的中子是太多了, 或者用专门术语来说, 是中子通量太强了, 以致于即使最有效的绝缘材料, 其寿命却只有几分钟或几小时。从工程技术的观点来看, 这是原则性的不可克服的困难! 正是这一困难使得人们否定托克玛克或其它磁约束装置的实用性。

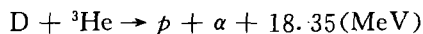
比较具有现实可能性的, 是惯性约束的热核反应装置。所谓惯性约束的聚变反应, 实际上是使氘和氚的小球在激光或带电粒子的轰击下, 形成内向的、向心的压缩波, 使这一小球实现高度压缩, 从而在 $10^{-10}$ 秒内实现热核反应。由于这里只用到惯性, 没有磁场, 这就避免了中子损伤辐照材料的困难。

但是, 在氘和氚的反应中, 毕竟要出现强大的中子流, 总要造成放射性, 造成材料的损伤,

本文于1993年2月23日收到。

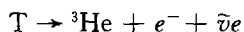
只不过对其承受力比绝缘材料要容易解决一些。例如,在激光驱动的惯性约束聚变中,就离不开传递激光所需要的镜子,这也要受到中子辐射的破坏,只不过镜子的耐受力比绝缘材料要强一些,也比较容易替换。

人们曾经设想过利用氘和 $^3\text{He}$ 的反应来解决这一困难,因为在



这一反应中出现的都是带电粒子,因而将能用磁场或用其它材料来约束。

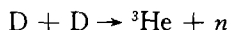
利用 $^3\text{He}$ 作为能源的巨大困难,是 $^3\text{He}$ 从何而来?原则上 $^3\text{He}$ 可以由氚的衰变产生,亦即有



但问题就归结为氚从何而来,这又离不开中子,因为氚只能由中子加 $^6\text{Li}$ 来产生!

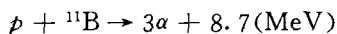
曾经有人设想过到月球上去采掘 $^3\text{He}$ 。据说在月球的表面上,由于有宇宙线的照射而蕴藏着比较富集的 $^3\text{He}$ 。有人还算了一笔账,似乎从月球上收集了 $^3\text{He}$ ,再运回地球用作能源是“经济”的。

利用 $^3\text{He}$ 作为能源,在技术上似乎可以避免产生中子的困难,但实际上并不能真正避免,因为利用 $^3\text{He}$ 离不开D,而



的反应就仍然要出现中子,只不过其中子产额比起 $\text{D} + \text{T} \rightarrow \alpha + n$ 反应的中子小10倍。

近几年来,人们把注意力转向一种新的可能,即利用质子( $p$ )和 $^{11}\text{B}$ 的反应而释放核能



这一反应的优点:一是有较大的能量输出;二是有较大的核反应截面(在质子能量为500keV时,其截面高达 $0.5 \times 10^{-24} \text{cm}^2$ );更重要的是当质子能量小于2.76MeV时,将完全没有中子的产生。所以人们将能期待这将是—种新型的清洁的不致造成任何环境污染的核能。

从资源的角度来说,氢存在于茫茫大海,硼在地壳上的蕴藏量十分丰富, $^{11}\text{B}$ 在地球上的丰度是81.17%,硼有多种形态的气体化合物,很容易在离心机上实现同位素分离。

实现硼氢的热核反应有一个技术上的困难,那就是所需的温度较高,约为100—150keV,如何能创造出实现热核反应的有利环境,有待研究。

一个很自然的想法是,能否使用托克玛克装置来促其实现,尤其是这一热核反应将能避免中子辐照的困难。不幸的是,简单的在热动平衡假设下的计算表明,由电子释放的韧致辐射却正好略大于由核反应在等离子体中所产生的核能,如果再加上可能的磁辐射的损失,这就使得托克玛克的装置将不可能“点燃”这一热核反应,除非在质子和硼的等离子体内,还存在某种偏离热动平衡的机制,使有效热核反应率至少增强50%以上,那么就仍有可能在磁约束装置中实现。这有待于深入的研究,但无疑是相当困难的!

比较现实一些的可能,是借助于惯性约束。惯性约束的原理是借助于某种内爆机制,使质子和 $^{11}\text{B}$ 的小球受到高度压缩,提高温度,增大密度,从而实现热核反应。至于等离子体升温后的辐射出的光能,却有相当部分仍贮存在高温、高密度的小球中。对其唯一的要求,是实现热核反应的小球,能够维持某一较长的时间,如 $10^{-10}$ 秒,以便能充分释放出其中蕴藏的大部分能量。高密度状态下的等离子体还有一个优点,那就是由于德拜屏蔽效应,离子和电子间的库仑耦合时间将比磁约束装置中的稀薄等离子体长4—5倍。因而离子的温度和电子温度之间的分离将比磁约束装置中的离子和电子温度的分离大4—5倍。这也意味着在惯性约束装置中,将

更有利于实现不再出现中子的质子和 $^{11}\text{B}$ 的受控热核反应。

长期以来，人们多关注于托克玛克型的受控热核反应装置。近几年来，已出现一个有力的竞争者，那就是惯性约束机制。现在由于出现了一种新的可能，即在惯性约束机制里来实现这种不产生污染或远比反应堆的污染为小的新能源，而且还比较现实。这就使两者竞争的天平，更移向惯性约束这一边。

当前惯性约束机制的困难是激光器的效率不高（约小于1%），以至于产出能否大于投入还是一个疑问。有些人建议改用重离子加速器，因为这种加速器有可能达到25%以上的能量转化效率，但这要解决重离子束聚焦的困难。但是近年来出现了一种半导体激光器，其能量转化率高达50%，用这种激光器做为钨玻璃的光泵，将能使激光器的转化效率高出10%！

我以为，这一干净的、取之不竭的新能源的曙光已经出现。这一动向值得所有既关心能源问题，又注意解决环境污染问题的能源工作者予以高度关注。

## A NEW AND CLEAN NUCLEAR ENERGY SOURCE

T·H·Ho C·R·Ching

*(Institute of Theoretical Physics, Academia Sinica)*

### Abstract

It is shown that the Inertial Confinement Fusion (ICF) has significant technological advantages over the Magnetic Confinement Fusion (MCF) approach, especially, When a new and clean Nuclear energy source, i. e. ,  $p+^{11}\text{B}\rightarrow 3\alpha+8.7\text{MeV}$ , is emphasized, this new possibility makes ICF approaches more favourable.