

人类能创造自己的太阳吗?

莫 恭 敏

(中国国际广播电台 北京 100040)



(续前)

第四篇 半个世纪的追求

怎样才能控制住桀骜不驯的聚变反应,使宇宙星体的核聚变反应得以在地球上实现,让人造的太阳乖乖地为人类造福呢?

我们已经说过,为实现受控聚变反应,需具备两个最基本的条件:一是参加聚变的物质(等离子体)必须获得异常高的温度,这是为使等离子体粒子(例如离子)能克服其间的库仑排斥力而进行聚变反应,正因为如此,这种反应被称为“热核反应”;二是热能在等离子体中必须被约束足够长的时间,以利于聚变反应顺利进行。

氢的同位素氘(重氢)和氚(超重氢)的核聚

合需要 5000 万摄氏度以上的高温,而氘核同氚核的聚合则需 2 亿摄氏度才能得以实现。为实现受控热核聚变,各国

科学家研究了用来产生等离子体并对等离子体进行加热和绝热的种种磁约束装置,其中最接近受控聚变条件要求的装置被认为是前苏联著名物理学家伊戈尔·塔姆和前苏联氢弹之父萨哈罗夫发明的托卡马克。60 年代末,苏联科学家在托卡马克 T-3 装置上首先获得了成功,把约 1 千万度高温的等离子体约束了数毫秒。

从 70 年代起,托卡马克装置成了国际上主导的核聚变研究装置。许多工业发达国家投入

根据能量守恒定律,反应前光子的平均能量应等于反应后粒子(或反粒子)的平均能量(包括它的静质能 $m_0 c^2$ 和热运动能 $3RT / 2N_0$), 所以 $3RT / N_0 \approx m_0 c^2 + 3RT / 2N_0$, (1)
即 $T \approx 2m_0 c^2 N_0 / 3R$.
做为数量级估计,可取

$$T \approx m_0 c^2 N_0 / R. \quad (2)$$

这说明,如果宇宙温度高于(2)式判据所给的临界数值,则静质量为 m_0 的粒子及其反粒子就可以在热辐射场中不断产生、不断湮灭,它们将在动态平衡中大量存在。而在相反情况下,则不足以产生这种粒子对,但已有的却可以湮灭掉。故也将此临界温度称为湮灭温度。

将质子的静质量 $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$ 代入(2),即可得该题的答案为 $T_p = 10^{13} \text{K}$ 。仿此,亦可得到中子、电子等的湮灭温度。

进一步思考还会发现,如果当时宇宙中正、反粒子数完全对称,那么当宇宙继续膨胀、温度

下降到湮灭温度以下时,正、反粒子对将会大规模地迅速湮灭殆尽,先前诞生的辉煌历程也就功亏一篑了。那么在宇宙演化的历史上是如何避免这一悲剧出现的呢?有兴趣的同学可以参阅本刊第 6 卷第 1 期,第 15 页郁忠强等的文章。

正是那些在正反物质大规模湮灭后残存下的质子、中子,后来构成了各种轻元素的原子核,再后来又与残存的电子复合成中性原子,……。

有的朋友也许会觉得这有些不可思议,人怎么能了解这么久远的事情呢?这正体现了科学的力量!真正令人惊异的不是宇宙多么宏大久远、人类如何渺小短暂,而是人类 1.5 千克的大脑居然可以询问宇宙怎样产生、又怎样演化成今天的样子,并且竟找到令人满意的科学的答案。这才是真正的奇迹!当然,这个答案还远非完美,仍需人们继续努力探索。

巨大的人力物力进行这个方向的研究,建造了许多托卡马克实验装置.目前,世界上有四大托卡马克装置.按照环流器的等离子体容积大小排列,它们依次为:欧洲共同体的 JET(150 立方米),日本的 JT-60(54 立方米),美国的 TFTR(38 立方米)以及俄罗斯的 T-15(23 立方米).

为加强热核聚变研究方面的国际合作,欧共体、俄罗斯、美国和日本四方共同设计环流器直径达 8 米的国际热核反应实验装置 ITER,其预计功率约 500 兆瓦,计划于 2005 年建成.科学家期望在这座装置上进行未来热核电站各主要分系统的试验,以展示通过可控热核聚变获取工业用能源的现实可能性.

据设计,聚变实验反应堆环室内的等离子体一旦达到一定的温度和一定的密度时,原子核就发生碰撞,实现聚变反应,而释放出巨大能量.若以氘氚作燃料,则可用以高能中子形式释放的能量去加热水,以产生蒸汽,从而带动涡轮机发电.

据报道,早在 1986 年 7 月,美国科学家在普林斯顿等离子体物理实验所的 TFTR 反应堆的实验中就取得了两项突破,即产生了 2 亿摄氏度的高温和实现了对等离子体创记录的长时间约束.另有报道说,1993 年的一次实验也使该反应堆内温度上升到 1 亿度,实验持续近 4 秒并产生 3000 多千瓦的能量.位于英国牛津附近的欧洲核聚变实验室的 JET 装置在 1991 年 11 月使用氘氚做燃料,核反应温度也达 2 亿摄氏度以上,反应持续了 1.8 秒,并产生了约 2 兆瓦能量.另外,日本原子能研究所的 JT-60 在 1996 年达到了更高的温度记录——约 5 亿摄氏度!

五亿摄氏度是目前世界上所记录到的最高温度.这一温度是太阳中心温度的 25 倍!在实现二亿摄氏度高温时,科学家曾指出,这一高温使人类第一次达到了实用性核聚变反应堆所要求的温度.然而,科学家的目标是达到能量的“盈亏平衡”.有消息说,日本的 JT-60U 在 1996 年的一次实验中达到了这一目的,其 Q 值

等于 1.05,换句话说,反应堆产生的能量已稍稍超过使反应堆启动和运转所需要的能量.这一成就对人类通过热核聚变获取工业用能量具有巨大意义.

经过各国科学家近半个世纪的不懈努力,在磁约束受控聚变的实验装置上所获得的等离子体温度已从数万摄氏度增加到 4 亿摄氏度以上,能量约束时间已从数微秒延长到一秒以上,总的核能输出已从零增到数兆瓦.这确实是令人欢欣鼓舞并寄予厚望的飞跃.

受控热核聚变被认为是人类获得取之不尽、用之不竭的能源的理想途径.核聚变的基本燃料——氢的同位素氘大量存在于海水之中.它多达 40 万亿吨.如果把它们全部用来进行核聚变,所产生的能源足够人类使用几百亿年.受控热核聚变最吸引人之处还在于,热核反应堆与目前的裂变反应堆不同,它在能量生产过程中只留下少量的放射性废料,而且实际上不存在反应失控和反应堆芯熔化的可能性,因为聚变反应是靠高温维持的,一旦安全系统失灵,高温条件不能维持,反应就会自动终止.

不过,鉴于实现受控热核聚变的艰巨性,欧洲核聚变实验室的专家们在实现 2 亿摄氏度高温后曾做出不太乐观的估计:聚变能的商品化不会早于 2040 年.尽管如此,一旦人类点燃自己的太阳的时候,它将给世界带来无限的光明和希望并标志着地球文明向着更高的一级迈出坚实的一步!

(完)

