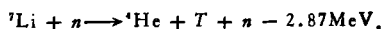
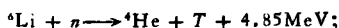


许多相互制约的因素。

直接面向高温等离子体的是等离子体反应室的第一壁。它不但承受 14MeV 的高能中子的轰击，还受到电磁辐射以及从等离子体扩散出来的带电粒子以及在等离子体中通过电荷交换产生的快中性原子的轰击。因此，在聚变堆设计中，对第一壁材料的性能提出了严格的要求。它必须能够承受很高的表面加热率。核聚变反应堆中，14MeV 的高能中子通量相当大，估计第一壁可能经受的中子通量大约为 4.43×10^{13} 个中子/厘米²·秒。第一壁表面热负荷大约在 5W/cm² 到 200W/cm² 之间。另外，由中子、带电粒子及快中性原子引起的第一壁原子溅射不仅引起第一壁材料的辐射损伤，而且也会产生重杂质返回到等离子体中，影响等离子体的约束性能和造成辐射能量损失。

在高温等离子体堆芯中发生的每个 D-T 反应可以释放 17.58MeV 的能量，其中 14.06MeV 的能量是由中子所携带。这些中子不受磁场约束，会从磁约束等离子体区域内逃逸出去并穿透第一壁。为了利用聚变反应释放的能量，必须设法回收这些中子携带的能量。为此，在高温等离子体堆芯外面设计了包层。从等离子体区域逃逸出来的中子在这里通过跟结构材料以及冷却剂发生碰撞而慢化，同时能量被取出。载热的冷却剂再通过热交换器以及功率循环来发电。一般来说，中子能量的 95% 沉积在包层区。但因中子是贯穿辐射，由中子引起的核反应发出的 γ 射线穿透能力很强，因此在包层外还需要设计辐射屏蔽层。这个屏蔽层在采用超导磁体时尤其重要。一般来说，屏蔽层的厚度在 0.5—1 米之间，这个屏蔽层可以使能量通量再衰减四个数量级。包层的第二个主要功能是增殖聚变燃料氚。我们知道，自然界没有天然存在的氚，因为氚的放射性半衰期为 12.35 年，因此就需要采用高能中子和锂发生反应来增殖氚。天然锂有两种同位素。⁶Li 占 7.42%，⁷Li 占 92.58%。通过中子和锂来产生氚的核反应可以表示为：



上述第 1 个反应是释热反应，第 2 个反应是吸热反应，即只有当入射中子的能量大于 2.87MeV 时才会发生。在以 D-T 为燃料的聚变反应中，氚的增殖问题具有十分重要的意义。将产生的氚原子与 D-T 燃烧中消耗的氚原子数之比称为氚的增殖率 B，显然，实用的聚变反应堆要求 B 大于 1。用来增殖氚的金属锂在自然界中储量相当丰富。地壳中锂的储量大约是铀的 16 倍，海水中锂的浓度为 0.17 克/厘米³，大约是海水中铀的 1/200。用作氚的增殖材料锂可以分为三类：液态锂；合金锂；锂的氧化物。

现在我们简单讨论一下关于用冷却剂提取中子能量的问题。包层中所用的冷却剂可以采用气体、水或液态金属。气态冷却剂主要是氦气。在裂变反应堆中也采用氦气作冷却剂。氦是惰性气体，不会像其它冷却剂那样发生有害的化学反应。这是用氦作冷却剂的突出优点，它的另一优点是热电转换效率高，但要求的出口温度比较高，大于 400℃，给包层材料的选择带来了困难。另一类可供选择的冷却剂便是压力水，如 H₂O 或 D₂O。在这方面裂变反应堆已积累了相当丰富的经验。在水作冷却剂的情况下比较合适的包层材料是不锈钢。锂和其它液态碱金属也是良好的冷却剂，在较低压力

下冷却效果很好。如果用锂或者含锂液态共晶体作冷却剂的话，同时还起到了氚的增殖作用。这种冷却剂遇到的问题主要是对结构材料的腐蚀问题，跟水和空气发生化学反应，以及熔点比较高等。

如果在高温等离子体堆芯外边的包层中装有铀-238 或钍-232 等材料的话，那么由 D-T 反应产生的 14MeV 的中子可以使铀-238 嬗变为较重的元素钚-238 或铀-233。这两种物质是能够进行裂变反应的，将它们分离出来就可以作为裂变堆的燃料。在这样的包层中还进行一定数量的裂变反应。这样一种在堆芯区发生聚变反应，在包层中进行裂变反应的系统称为聚变-裂变混合堆。在这种混合堆中除了可以增殖十分重要的裂变材料之外，还会由于发生一部分裂变反应而增加能量输出，由此可以降低对实现聚变点火条件的要求。

综上所述，核聚变研究是当代物理学的一个重要前沿领域，近年来已经取得了令人瞩目的重要进展。尽管尚有许多复杂的问题有待进一步的探索研究，但是，离最终目标的实现已经为期不远了。最终目标的实现不仅取决于高温等离子体物理学的深入发展，同时也要依靠各种新技术的发展。预计在世纪之交将会建成可以发电的核聚变反应堆，在 21 世纪的 20 年代左右核聚变发电站将正式登上世界能源舞台。此后，浩瀚的大海将成为核聚变电站取之不尽用之不竭的原料仓库，人类再也无须担忧能源危机的出现。可以说，核聚变研究的成功，不仅是科学史上的一件大事，而且必将在人类文明进程的史册上写下光辉灿烂的一页。

(全文完)

愿心中物理大树硕果累累

西安交大物理系主任 王永昌

寄语我的学生

大学里的几门物理基础课是你们今后开拓理论和应用研究的基础。要选择好的合适的参考书，通过独立钻研、透彻理解物理学的基本规律，把物理大树的根扎深扎牢。

要善于从实验观测或书本中捕捉问题，不断地去探求问题的答案，切忌一知半解就停顿下来。真知灼见往往是深厚的根底与执著的探索相碰撞所

迸出来的火花。

同学们：只要你们心中的物理大树不枯，勤劳的汗水定会浇灌出硕果累累。

·小知识·

中国物理学会历届理事长

1. 李书华(1932~1934);
2. 叶企孙(1935, 1946~1947);
3. 吴有训(1936~1945);
4. 严济慈(1948~1949);
5. 周培源(1950~1982.12);
6. 钱三强(1983~1987.3);
7. 黄昆(1987.3~1991.3);
8. 冯端(1991.3~)

(汪雪瑛)