

用托卡马克和仿星器实现磁聚变约束

文/Wolfgang Picot

1934年，实验室首次实现了核聚变反应，成为当时一项重大突破。然而，今天，实现核聚变反应并不太难：2018年，一个12岁孩子在家成功制造了一个核聚变实验装置，作为这方面最年轻的人进入吉尼斯世界纪录。

不幸的是，这些实验产生的脉冲只持续不到一秒的时间，实现和长时间地维持这种核聚变反应仍然是一个重大挑战。只有开发出一种稳定可靠的核聚变发电方式，核聚变才能成为一

种商业可行的能源。

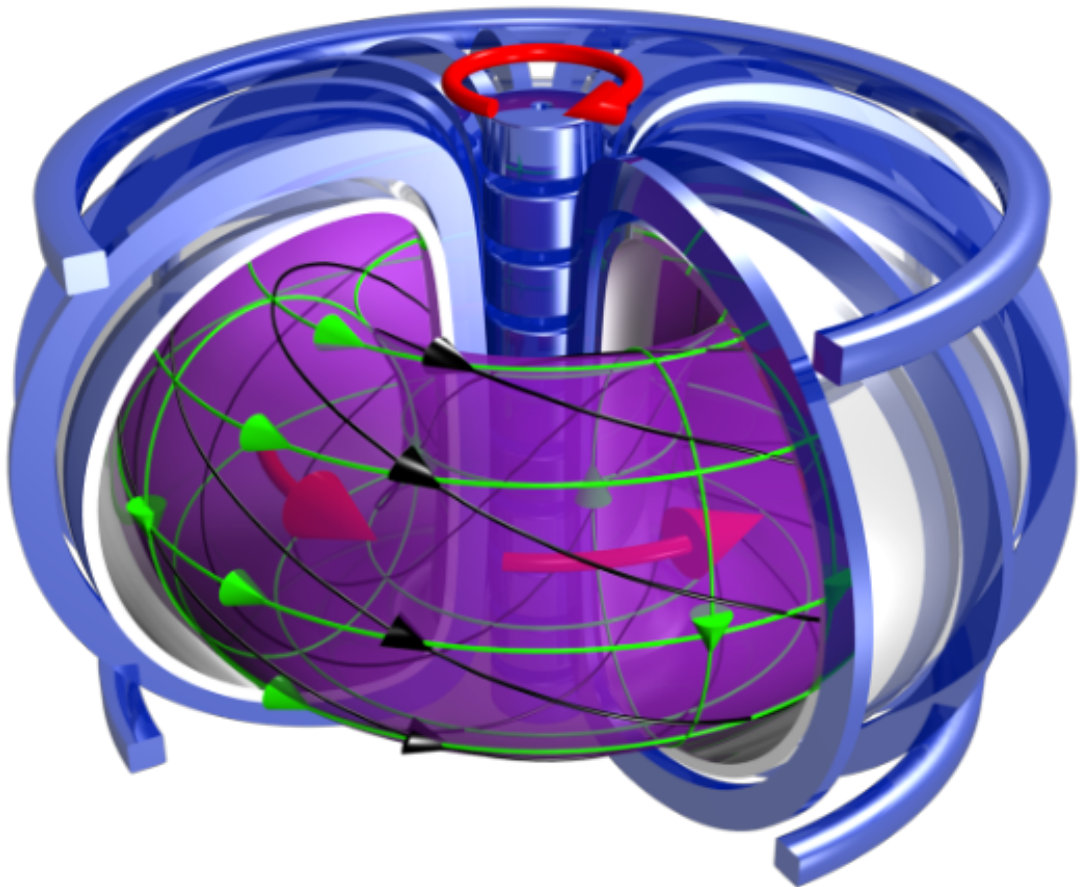
核聚变发电

核聚变发电利用轻原子核“聚变”所释放的能量。当两个轻原子核融合时，所产生的原子核质量比原来两个原子核质量之和略轻。这一质量差没有消失，而是被转化为能量。令人惊讶的是，这种微小的质量损失转化为巨大的能量，使得追求核聚变能非常值得。

物质通常有三种状态：固态、液态

托卡马克如何工作：

由变压器引起的电场驱动电流（红色大箭头）通过等离子体柱，产生一个极向磁场，将等离子体电流弯曲成一个圆形（绿色垂直圆圈）。将等离子体柱弯曲成一个圆圈可以防止泄漏，并且在一个环形容容器内这样做会形成一个真空。另一个围绕圆圈长度的磁场被称为环形磁场（绿色水平圆圈）。这两个场结合形成一个类似螺旋结构（黑色所示）的三维曲线，等离子体在其中受到高度约束。



和气态。如果气体被置于极高温下，就会变成等离子体。在等离子体中，电子被从原子中剥离出来。失去围绕原子核运行电子的原子被认为处于电离状态，并被称为离子。因此，等离子体是由离子和自由电子组成的。在这种状态下，科学家们可以激发离子，使其相互碰撞、聚变，并释放能量。

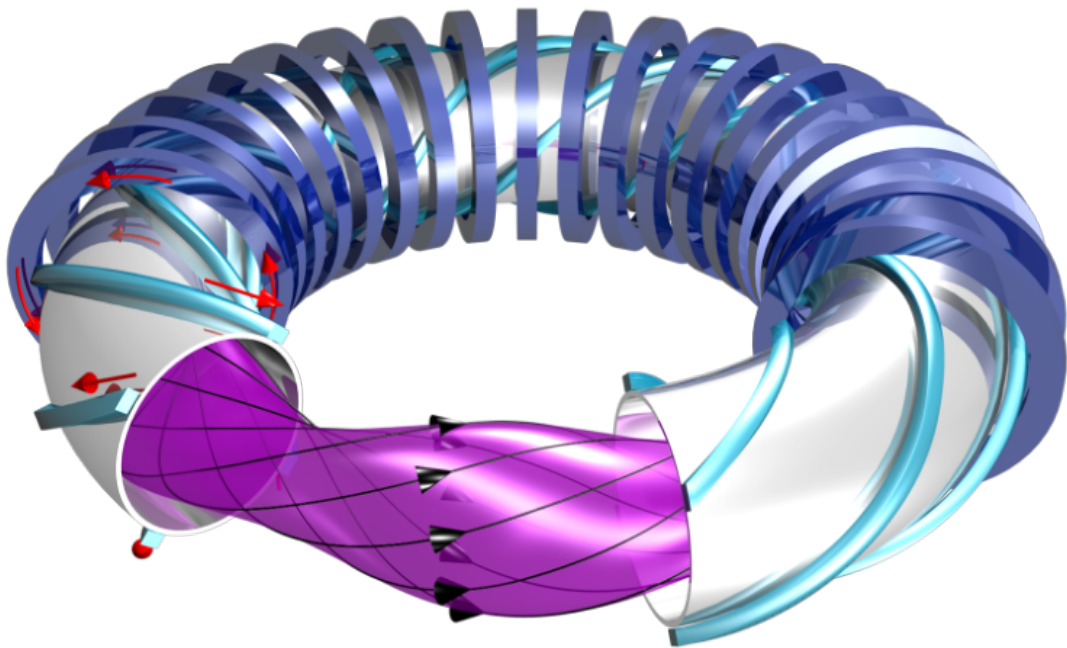
为提取能量而保持等离子体稳定，

等离子体。

同样的挑战，不同的解决方案

由于仿星器构型在建造上具有挑战性，当今大多数核聚变实验装置都是托卡马克（俄文表述简称，译为“具有磁线圈的环形真空室”）。目前大约有60个托卡马克和10个仿星器在运行。

两种类型反应堆各具优势。托卡马



在不需要变压器的情况下扭转磁铁，也可以形成螺旋状，这种构型称为仿星器。

（图/德国马克斯·普朗克等离子体物理研究所）

这比较困难。等离子体处于无序状态、超热，易发生混沌和其他不稳定性。虽然对等离子体的认识、建模和控制极其复杂，但研究人员在过去的几十年里已取得巨大的进步。

科学家们使用磁约束装置操纵等离子体。此类最常见聚变反应堆是托卡马克和仿星器。对未来聚变能电厂而言，目前这些是前景最好的概念。

这两种类型反应堆均利用带电粒子与磁力发生反应这一事实。反应堆中的强磁体使离子受到约束。电子也被反应堆的力所束缚，并在周围环境中起作用。磁力不断地使这些粒子在其环形反应堆内旋转，以防止它们逃离

克在保持等离子体温度方面更出色，而仿星器在保持等离子体稳定方面更出色。尽管托卡马克目前很流行，但仿星器仍有可能在某一天成为未来聚变能电厂的首选。

研究人员在磁约束核聚变方面已取得巨大的进步，现在可以轻松实现极高温度的等离子体。他们已开发出操作等离子体的强大磁体，并开发出能够承受反应堆容器内具有挑战性工况的新型材料。实验、理论、建模和模拟方面的进展使人们对等离子体行为有了更深入的了解，而像ITER等托卡马克和仿星器实验装置将在证明聚变能生产的科学和技术可行性方面发挥核心作用。