

低温可控核聚变的一种实现方式

陈世浩¹, 陈紫微²

¹东北师范大学物理学院, 吉林 长春

²北京交通大学电子信息工程学院, 北京

Email: shchen@nenu.edu.cn

收稿日期: 2020年9月15日; 录用日期: 2020年10月5日; 发布日期: 2020年10月12日

摘要

提出一种低温可控核聚变的实现方式。动能适当的单能质子束或单能氘核束入射到相应的靶核, 能够实现质子或氘核与相应的靶核的聚变。例如, 入射的单能质子束中质子动能为0.6 MeV, 只要质子与靶核锂核 ${}^7_3\text{Li}$ 聚变概率大于0.041, 输入能量利用效率不小于60%, 输出能量利用效率不小于80%, 则这种低温可控核聚变就有净能量输出。

关键词

低温可控核聚变, 单能质子束, 靶核, 锂核

A Way to Achieve Controlled Nuclear Fusion at Low Temperatures

Shihao Chen¹, Ziwei Chen²

¹School of Physics, Northeast Normal University, Changchun Jilin

²School of Electronic Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing

Email: shchen@nenu.edu.cn

Received: Sep. 15th, 2020; accepted: Oct. 5th, 2020; published: Oct. 12th, 2020

Abstract

A method of controlled nuclear fusion at low temperatures is proposed. A single energy beam of protons or deuterons with appropriate energy enters into target nuclei such as ${}^7_3\text{Li}$, ${}^{11}_5\text{B}$ or ${}^6_3\text{Li}$, ${}^{10}_5\text{B}$, the fusion of the protons or the deuterons with the corresponding target nuclei can be realized. For example, the proton kinetic energy in the incident single energy proton beam is 0.6 MeV.

文章引用: 陈世浩, 陈紫微. 低温可控核聚变的一种实现方式[J]. 核科学与技术, 2020, 8(4): 178-182.

DOI: 10.12677/nst.2020.84021

As long as the fusion probability of a proton in the single energy proton beam and a target nucleus ${}^7_3\text{Li}$ is greater than 0.041, the utilization efficiency of the input energy is not less than 60%, and the utilization efficiency of the output energy is not less than 80%, then this sort of low temperature controlled nuclear fusion will have a net energy to output.

Keywords

Controlled Fusion at Low Temperatures, A Beam of Protons with Single Energy, Target Nuclei, Lithium Nuclei

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

由于氘、氚核仅仅含有一个质子, 相对于其它原子核, 氘核与氚核之间电磁排斥势能最小。所以氘核与氚核被选择作为聚变原子核。但即使如此, 实现氘核与氚核的聚变也需要一亿度以上的高温, 而且还要满足劳逊条件。对于一亿度以上高温的等离子体, 劳逊条件是不容易满足的。因此, 尽管一亿度以上的高温已经达到, 但这种可控核聚变迄今还没有实现。

鉴于此, 我们提出了一种低温实现核聚变的方法[1]。文献[1] [2]考虑到原子核对中子的吸收截面较大, 而且中子与原子核之间没有排斥力, 因此可用单能中子束与原子核发生聚变。为此, 需要首先产生单能中子束, 然后中子入射到靶核, 实现中子与靶核的聚变。这种方式在产生单能中子束的过程耗散的能量较多, 装置的结构也较复杂。为此, 本文提出第二种实现低温可控核聚变的方式。这种方式使用能量适当的质子或氘核与靶原子核聚变。相应的装置结构更简单; 由于不必产生中子, 因此输入能量的利用效率更高。不足是, 同一个原子核吸收质子或氘核的截面小于吸收中子的截面。

2. 质子或氘核与靶核的聚变

2.1. 质子或氘核与靶核的聚变

原子核之间不仅仅存在静电排斥力, 也存在吸引力。当原子核之间的距离大于 π 介子的作用半径时, 原子核之间主要是电磁排斥力; 当原子核之间的距离小于核子交换虚 π 介子的强作用半径时, 原子核之间主要是交换虚 π 介子引起的吸引力。这个强度远大于电磁作用的吸引力不仅仅将核子结合为原子核, 也能够使得距离足够近(小于原子核的强作用半径)的原子核结合为一个新的更大原子核, 此即核聚变。核聚变发生时, 由于原子核结合能的变化, 将释放出核能。显然, 为了核聚变发生, 两个相互对撞的原子核之间的相对动能必须足够大, 大于这两个原子核之间的电磁排斥势能, 使得这两个原子核之间的距离小于 π 介子的作用半径, 从而发生聚变。

有几种方式实现核聚变。一种方式是传统的高温核聚变。使氘、氚等离子体温度达到一亿度以上高温, 氘、氚核动能足够大, 从而克服氘、氚核之间的电磁排斥势能, 发生核聚变。但此时由于温度很高, 劳逊条件难以满足, 因此迄今未能实现这种核聚变。

第二种是文献[1]提出的中子与靶核的聚变。

[3]和本文提出第三种低温可控核聚变的方法, 即质子或氘核与靶核的聚变。仅当质子或氘核与靶核

的距离小于它们的强作用半径时, 质子或氘核才能与相应的靶核发生聚变。为此, 相对于静止的靶核, 质子或氘核必须具有足够大的动能, 以便克服质子或氘核与相应靶核的电磁排斥势能, 使得质子或氘核与相应靶核的距离小于靶核的强作用半径, 发生质子或氘核与靶核的聚变。这种核聚变的方式是用动能足够高的单能质子束或单能氘核束代替了高温聚变核的等离子体, 因此不再需要高温, 在低温(1000℃以下)就可以实现质子或氘核与靶核的聚变。之所以要用单能质子束或单能氘核束, 是因为以下原因。

质子与相应的靶核 n_{pT} 可能有多个聚变反应道。不同的聚变反应道所需要的质子的动能是不同的, 释放的核能与末态粒子也是不同的。对于选定的聚变反应道, 对于不同的入射质子动能, 靶核与质子聚变反应截面 σ_{pT} 是不同的。设对于选定的聚变反应道, E_{pT} 是使得 σ_{pT} 取极大值的质子的动能, 为了增大聚变质子在入射质子中的比例, 入射质子的动能都应该是 E_{pT} , 即应该把入射质子调制为单能质子束。

2.2. 实施方式

一种实施方式是, 取含 ${}^7_3\text{Li}$ 核的锂元素作为靶的元素。用高压电源及磁场将质子加速到 0.6 MeV, 并调制成单能质子束, 入射到液态锂中, 质子与锂核 ${}^7_3\text{Li}$ 发生聚变反应。液态锂盛装在转动、上面开口的容器内。锂的熔点与沸点分别是 180℃和 1340℃。由于转动, 能够随时将聚变产生的热能、电能与光能随时输送出去, 因此这个聚变反应是在 1000℃以下的温度进行。

将质子 p 用氘核 d 代替, 将靶核 N_{pT} 用与氘核发生聚变反应的靶核 N_{dT} 代替, 按上述方式, 就确定了氘核 d 与靶核 N_{dT} 的聚变方式和单能氘核束中氘核的动能。

显然, 入射核不限于质子与氘核。但是由于质子与氘核只带有一个正电荷, 相对于其它原子核, 与同样靶核的电磁排斥势能最小, 更容易实现核聚变。

靶核有多种选择, 其中一部分靶核是: ${}^6_3\text{Li}$ 、 ${}^7_3\text{Li}$ 、 ${}^9_4\text{Be}$ 、 ${}^{10}_5\text{Be}$ 、 ${}^{11}_5\text{B}$ 、 ${}^{12}_6\text{C}$ 、 ${}^{14}_7\text{N}$ 、 ${}^{16}_8\text{O}$ 、 ${}^{19}_9\text{F}$ 、 ${}^{23}_{11}\text{Na}$ 、 ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ 、 ${}^{25}_{12}\text{Mg}$ 、 ${}^{26}_{12}\text{Mg}$ 、 ${}^{27}_{13}\text{Al}$ 、 ${}^{28}_{14}\text{Si}$ 、 ${}^{31}_{15}\text{P}$ 、 ${}^{32}_{16}\text{S}$ 、 ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ 、 ${}^{39}_{19}\text{K}$, 含有这些核的分子或化合物能够作为靶物质。

2.3. 质子或氘核与靶核聚变的例子

当一个动能为 0.5 MeV 左右的质子入射到靶核 ${}^7_3\text{Li}$, 动能为 0.5 MeV 左右的氘核入射到靶核 ${}^6_3\text{Li}$ 时, 有以下反应[4] [5],



当动能小于 3 MeV 的氘核入射到靶核 ${}^{10}_5\text{B}$, 动能小于 3 MeV 的质子入射到靶核 ${}^{11}_5\text{B}$ 时, 有以下反应[4] [5] [6],



不同于高温核聚变, 这种核聚变的能量密度和总能量都远小于高温核聚变。但因此这种核聚变容易控制, 能量利用效率高, 可随时启动或关闭, 也能够小型化。

3. 低温可控核聚变的可行性

设液态或固态靶物质对质子或氘核吸收截面为 σ_a , N 为入射质子或氘核粒子数流密度, n 为靶核密度, x 为靶物质入射深度, 则

$$\frac{dN}{dx} = -Nn\sigma_a, \quad (6)$$

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-n\sigma_a x). \quad (7)$$

如前所述, 只要入射单能质子或氦核束动能适当, 就能够与靶核发生聚变反应。由(7)可见, 只要 x 足够大, 入射的质子或氦核就能够被吸收。此外, 质子或氦核粒子数流密度是可以控制的, 靶物质是可以随转盘转动的, 入射粒子并不是只入射到一个局部。因此靶物质的温度和吸收的聚变能量都是可控的, 不可能出现聚变能量集中而导致的高温。所以, 这种聚变方式是可控、可行的。

这里应考虑到, 由于质子或氦核与靶物质中的电子及靶核的作用, 因此, 在靶物质中, 质子或氦核在未发生聚变前, 并不是直线前进; 而且其能量每次与电子或靶核散射后, 都会减少。因此, 入射到靶物质的质子或氦核的动能要比与裸靶核聚变所需能量大一些。这需由实验具体确定。

下面我们以具体计算的例子说明这种核聚变的可行性。设输入电流为 10 mA、即每秒输入 6.25×10^{16} 个质子, 输入功率为 10,000 W, 输入功率的利用效率为 60%, 则有 $6000 \text{ W} = 6.25 \times 10^{16} \times 6 \times 10^5 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ W}$ 变为有用功, 即, 转化为由 6.25×10^{16} 个质子、每个质子动能为 $6 \times 10^5 \text{ eV}$ 组成的入射带电粒子流的动能。设在靶物质的某一个厚度时, 这些粒子中有 10% 粒子与 ${}^7_3\text{Li}$ 发生聚变反应, 则释放出的能量是

$$E_F = 1.78 \times 10^7 \times 6.25 \times 10^{15} = 1.1125 \times 10^{23} \text{ eV} = 17800 \text{ W}, \quad (8)$$

其余 90% 质子没有与锂核聚变, 这些质子的动能

$$\tilde{E}_p = (1-0.1) \times 6.25 \times 10^{16} \times 6 \times 10^5 \text{ eV} \times 1.6 \times 10^{-19} = 5400 \text{ W} \quad (9)$$

转化为液态锂的热能、电能与光能。这些能量与核聚变反应释放的能量是混合在一起的, 这样, 总输出能量是

$$\tilde{E}_{out} = 17800 + 5400 = 23200 \text{ W}. \quad (10)$$

设这部分能量利用效率为 80%, 则这部分能量是 $[17800 + 5400] \times 0.8 = 18560 \text{ W}$ 。设真空系统消费能量 500 W, 10,000 W 用于继续生产, 则净输出能量 E_{out} 是 $18560 - 10000 - 500 = 8050 \text{ W}$ 。如果 $\eta_{out} = 90\%$, 则 $E_{out} = 10380 \text{ W}$ 。

这样, 当输入能量 10,000 W、效率 η_{in} 为 60%、用于真空系统的能量为 500 W、输出能量利用率 η_{out} 为 80% 时, 净输出能量为 8060 W。如果 $\eta_{out} = 90\%$, 则净输出能量是 10,380 W。每秒消耗的锂是

$$\left[(6.25 \times 10^{15}) / (6.02 \times 10^{23}) \right] \times 6.94 \approx 7 \times 10^{-8} \text{ g}. \quad (11)$$

容易算出有净能量输出的临界条件。设输入质子电流 10 mA, 输入功率 10,000 W, 输入功率的利用效率是 60%, 输出功率的利用效率是 80%, 维持系统真空所需功率是 500 W, 那么如果靶物质的厚度使得单能质子束流中的质子与锂核 ${}^7_3\text{Li}$ 发生聚变的概率大于 0.041, 就有净能量输出。

4. 结论

以动能适当的单能质子束或单能氦核束入射相应的靶核, 例如 ${}^7_3\text{Li}$ 、 ${}^{11}_5\text{B}$, 或 ${}^6_3\text{Li}$ 、 ${}^{10}_5\text{B}$, 能够实现质子或氦核与相应的靶核的聚变。

例如, 入射的单能质子束中质子动能为 0.6 MeV, 只要优化技术, 使得质子与靶核锂核 ${}^7_3\text{Li}$ 聚变概率大于 0.041, 输入能量利用效率不小于 60%, 输出能量利用效率不小于 80%, 则这种低温可控核聚变就有净能量输出。

参考文献

- [1] 陈素珍. 一种低温可控核聚变装置及其实现方式[P]. 专利申请号: 201910731956.1, 2019-7-29.
- [2] Chen, S.H. and Chen, Z.W. (2020) A Possible Way to Realize Controlled Nuclear Fusion at Low Temperatures. *World Journal of Nuclear Science and Technology*, **10**, 23-31. <https://doi.org/10.4236/wjnst.2020.101003>
- [3] 陈素珍. 低温可控核聚变的实现方式与装置[P]. 专利申请号: 202010556617.7, 2020-6-12.
- [4] 杨福家, 王炎森, 陆福全. 原子核物理[M]. 第二版. 上海: 复旦大学出版社, 2002: 148, 296.
- [5] 卢希庭, 主编. 原子核物理(修订版) [M]. 北京: 原子能出版社, 2000: 230, 343.
- [6] Firestone, R.B., Shirley, V.S., Chu CD-ROM, S.Y.F., Baglin, C.M. and Zipkin, J. (1996) Table of Isotopes. Version 1.0, Wiley-Interscience, 309.