

氘气放电条件下 X 射线、γ 射线分析*

鲁润宝

(北京应用物理与计算数学研究所 北京 100088)

摘 要 评述、分析了氘气放电条件下 X 射线产生的机制与能谱,指出了在氘气放电条件下,由于引发了核反应而产生 γ 射线和中子,它对 X 射线能谱分析带来影响,同时也为核聚变的发生提供了间接证据.

关键词 冷聚变 电子-离子束缚态 单能 X 射线 γ 射线

分类号 TL6

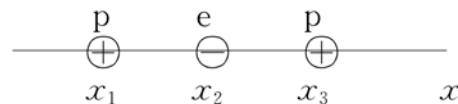
1 引 言

常温核聚变(冷聚变)是科研课题中有重大争议的一个问题.这里有两个层次的分歧:(1)是否存在常温下 D-D 发生核聚变并放出超热的物理现象?即实验是否确立;(2)主要是以核反应放能、还是以电磁相互作用的束缚态放能,并引发某些核过程?由于人们对这个新的物理过程尚还缺乏认识,因此,在实验上已有大量的 F-P 式放电超热实验和气体放电实验结果之面前,持异议的著名物理学家们还是说实验没有重复性,甚至冠以伪科学.另外,由于这个现象本身就复杂,实验学者在分析实验结果时,也不免会引起错觉.笔者试图通过对氘气放电条件下 X 射线产生及高能 γ 的作用,给出实验上得到确立的一个实际例证.这里引入一个本人在实验研究中自我逐渐形成的物理概念:“电子-离子束缚态”放能及其引发的某些核过程.它的主要物理过程是:电子-离子在特定条件下,由于电磁相互作用形成束缚态而放能(X 射线),同时也为相互作用的正离子(质子、d⁺…)以一定几率达到核力作用范围而发生核反应提供了可能.这就是人们所说的“冷聚变”或“常温核聚变”.文中不用核聚变是因为它有可能发生 p+e+A⁺→p-e-A⁺,进而发生 A⁺裂变.裂变碎片的径迹,在一些文献中已看到.这个新的物理过程如何概括,尚待物理学界界定.至于

(d⁺, e, d⁺)系统有束缚态形成并引发了核过程,已有大量的实验证据和理论论证^[1,2].这里着重分析一下氘气放电条件下 X 射线测量中可能发生理论与实验分歧的原因^[3~6].最近,王大伦等人^[7]的论文更直接地提供了这方面的证据.为了叙述的方便,简介一下“束缚态”假设的量子力学结果.

2 “束缚态”假设的简述

当(p, e, p)或(d⁺, e, d⁺)系统粒子之间的距离达到或小于玻尔半径时,玻恩-奥本海默近似不再适用.它可能有如下状态



此时

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2} \sum_i \frac{1}{m_i} \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} + \frac{e^2}{x_3 - x_1} - \frac{e^2}{x_2 - x_1} - \frac{e^2}{x_3 - x_2} \quad (1)$$

引进坐标变换

$$\begin{cases} X = \frac{1}{M}(m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3) \\ M = m_1 + m_2 + m_3 \\ \begin{cases} \xi = x_2 - x_1 \\ \eta = x_3 - x_2 \end{cases} \end{cases} \quad x_3 - x_1 = \xi + \eta \quad (2)$$

去掉质心部分方程化为

$$\frac{\hbar^2}{2} \left[\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \left(\frac{1}{m_3} + \frac{1}{m_2} \right) \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \right]$$

* 国家自然科学基金、中国工程物理研究院基金资助课题。
1995 - 09 - 20 收稿, 1997 - 02 - 04 收修改稿。

$$-\frac{2}{m_2} \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta}] \psi - e^2 \left[\frac{1}{\xi} + \frac{1}{\eta} - \frac{1}{\xi + \eta} \right] \psi = E\psi \quad (3)$$

由坐标选取可知， $-e^2 \left(\frac{1}{\xi} + \frac{1}{\eta} - \frac{1}{\xi + \eta} \right) < 0$ 这个位能是恒负的。这个方程仍有交叉项算符，引进“转动坐标”

$$\begin{cases} \xi' = \xi \cos \alpha + \eta \sin \alpha \\ \eta' = -\xi \sin \alpha + \eta \cos \alpha \end{cases} \quad \alpha \text{ 为待定参数}$$

(3) 式化为

$$\begin{aligned} & \left\{ -\frac{\hbar^2}{2} \left[\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) (\cos^2 \alpha \frac{\partial^2}{\partial \xi'^2} - \sin 2\alpha \frac{\partial^2}{\partial \xi' \partial \eta'}) \right. \right. \\ & + \sin^2 \alpha \frac{\partial^2}{\partial \eta'^2} \left. \right] + \left(\frac{1}{m_3} + \frac{1}{m_2} \right) (\sin^2 \alpha \frac{\partial^2}{\partial \xi'^2} \\ & + \sin 2\alpha \frac{\partial^2}{\partial \xi' \partial \eta'} + \cos^2 \alpha \frac{\partial^2}{\partial \eta'^2}) - \frac{1}{m_2} (\sin 2\alpha \\ & \cdot \frac{\partial^2}{\partial \xi'^2} + 2 \cos 2\alpha \frac{\partial^2}{\partial \xi' \partial \eta'} - \sin 2\alpha \frac{\partial^2}{\partial \eta'^2}) \left. \right\} \\ & - e^2 \left[\frac{1}{\xi' \cos \alpha - \eta' \sin \alpha} + \frac{1}{\xi' \sin \alpha + \eta' \cos \alpha} \right. \\ & \left. - \frac{1}{\xi' (\cos \alpha + \sin \alpha) + \eta' (\cos \alpha - \sin \alpha)} \right] \psi \\ & = E\psi \end{aligned} \quad (4)$$

令交叉项系数为零

$$\begin{aligned} & - \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \sin 2\alpha + \left(\frac{1}{m_3} + \frac{1}{m_2} \right) \\ & \cdot \sin 2\alpha - \frac{2}{m_2} \cos 2\alpha = 0 \end{aligned}$$

由于该问题决定： $m_1 = m_3 = m_p$ (或 m_d^+)

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \infty \quad 2\alpha = \frac{\pi}{2} \quad \alpha = \frac{\pi}{4}$$

(4) 式化为

$$\begin{aligned} & -\frac{\hbar^2}{2} \left[\frac{1}{m_p} \frac{\partial^2}{\partial \xi'^2} + \left(\frac{1}{m_p} + \frac{2}{m_2} \right) \frac{\partial^2}{\partial \eta'^2} \right] \psi \\ & - \sqrt{2} e^2 \left(\frac{1}{\xi' - \eta'} + \frac{1}{\xi' + \eta'} - \frac{1}{2\xi'} \right) \psi \\ & = E\psi \end{aligned} \quad (5)$$

(5) 式是一个精确的表达式。

为了便于讨论(5)式，引入参变量 k ，

$$0 < k < 1.$$

$$\left[\frac{\hbar^2}{2m_p} \frac{\partial^2}{\partial \xi'^2} + \frac{\sqrt{2}}{2} e^2 \frac{1+k^2}{1-k^2} \frac{1}{\xi'} + E_p \right] A(\xi') = 0 \quad (6)$$

$$\left[\frac{\hbar^2}{2} \left(\frac{1}{m_p} + \frac{2}{m_2} \right) \frac{\partial^2}{\partial \eta'^2} + \sqrt{2} e^2 \frac{k}{1-k^2} \right.$$

$$\left. \cdot \left(-\frac{1}{\eta'} \right) + E_e \right] B(\eta') = 0 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \text{令 } \frac{1}{m_p} + \frac{2}{m_2} \doteq \frac{2}{m_e} \quad \xi = -\eta' \\ & \left[\frac{\hbar^2}{m_e} \frac{\partial^2}{\partial \xi'^2} + 2e^2 \frac{k}{1-k^2} \frac{1}{\xi} + E_e \right] \\ & \cdot B(\xi) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$E = E_p + E_e.$$

令 $e_{\text{ff}}^2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{1+k^2}{1-k^2} e^2$ ，则(6)式可写成

$$\frac{\partial^2 A(\xi')}{\partial \xi'^2} + \left[\frac{2m_p}{\hbar^2} (E_p + \frac{e_{\text{ff}}^2}{\xi'}) \right] A(\xi') = 0 \quad (9)$$

同理，令 $e_{\text{ff}}^2 = \sqrt{2} \frac{k}{1-k^2} e^2$ (7) 式可写成

$$\frac{\partial^2 B(\xi)}{\partial \xi^2} + \left[\frac{m_e}{\hbar^2} (E_e + \frac{e_{\text{ff}}^2}{\xi}) \right] B(\xi) = 0 \quad (10)$$

引进 ρ 和 ϵ

$$\begin{aligned} \rho &= \xi'/a & a &= \hbar^2/m_p e_{\text{ff}}^2 \\ \epsilon &= E/2I & I &= \frac{m_p e_{\text{ff}}^4}{2\hbar^2} = \frac{e^2}{2a} \end{aligned}$$

于是(9)式化为

$$\frac{d^2 A}{d\rho^2} + [2\epsilon + \frac{2}{\rho}] A = 0 \quad (11)$$

对于 $\epsilon < 0$ ，令(11)的一般解为

$$X = \rho e^{-\beta\rho} u(\rho)$$

其中 $\beta = \sqrt{-2\epsilon}$ 代入(11)式得

$$\rho u'' + [2 - 2\beta\rho] u' - 2(\beta-1)u = 0 \quad (12)$$

再令 $\xi = 2\beta\rho$ 则(12)式可化为

$$\xi \frac{d^2 u}{d\xi^2} + [2 - \xi] \frac{du}{d\xi} - [1 - \frac{1}{\beta}] u = 0 \quad (13)$$

此方程属于合流超几何方程。

$$\xi \frac{d^2 u}{d\xi^2} + (\gamma - \xi) \frac{du}{d\xi} - \alpha u = 0$$

因为 $\gamma \geq 2$ (正整数) $\alpha = 1 - \frac{1}{\beta}$

$$\alpha = 1 - \frac{1}{\beta} = -n_p \quad n_p = 0, 1, 2, \dots$$

$$\text{令 } n = n_p + 1 \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

所以 $\beta = \frac{1}{n}$

$$E_n^p = 2I\epsilon = -\frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{(1+k^2)^2}{2(1-k^2)^2} \left(\frac{m_p}{m_e} \right) \frac{1}{n^2}$$

$$\text{同理 } E_n^e = -\frac{k^2}{(1-k^2)^2} \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}$$

$n=1$ 为基态. 这里只讨论基态.

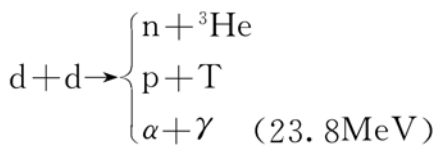
由气体放电实验, 考虑天体物理中 X 射线发射及电子处于平衡位置, $k \rightarrow 0$, 为稳定态. 这时有

$$E^p = 12.47(\text{keV}) \quad (\text{对于氢气})$$

$$E^{d^+} = 24.94(\text{keV}) \quad (\text{对于氦气})$$

这就是氦气放电 X 射线的能量和太阳耀斑中可能存在的两种能量 X 射线.

3 在氦气放电中的核过程



它的次级反应

$$n+p \rightarrow d+\gamma \quad (2.223 \text{ MeV})$$

$$d+T \rightarrow \alpha+n \quad (14.1 \text{ MeV})$$

$$d+p \rightarrow {}^3\text{He}+\gamma \quad (5.5 \text{ MeV})$$

$$n+d \rightarrow T+\gamma \quad (6.3 \text{ MeV})$$

⋮

这些反应出来的均是高能 γ , $E_\gamma > 1.022 \text{ MeV}$. 此外, 还会有电子对效应 $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$ (0.511 MeV).

这些高能 γ 虽然数量小, 但必然要在 X 射线测量中参与. 由于文献[5~7]所进行的测量均在壁厚度为 0.18 cm 的玻璃之外, 就使 γ 份额在穿透玻璃之后明显增加, 所以是不可忽略的. 陈素和等人[5]的文章中, $I_{Cd}/I_{Cu} = 18.0 \sim 20.0$, 在同一实验组的王大伦等人[6,7]的文章中, $I_{Cd}/I_{Cu} = 13.3$. 按照文献[5]给出 X 射线为能量单一值 26.7 keV 计算, $I_{Cd}/I_{Cu} = 22$. 这可以从下面 X 射线穿透 Cd 和 Cu 的衰减中清楚地看出(见表), X 射线中应有 γ 存在且能量低于 26.7 keV .

只有在源中存在高于吸收线的成分才能使这个通量比例减少. 对于 26.71 keV , 能量比例为 22.2 ; 实测[5]为 20 keV 或 18 keV . 可见, 它的比例是接近 22.2 . 又可见, γ 的成分确实是少的. 为了更好地解决这个测量, 建议实验设计应把探头放到气室内. 最好做分能量段测量, 并以 $\sim 25 \text{ keV}$ 为界. 在能量附近要把

通道加密些.

表 示

E_γ / keV	$(u/\rho)_{Cu}$	$(u/\rho)_{Cd}$	I_{Cd}/I_{Cu}
20.2	33.1	18.6	841
21.1	29.0	16.4	349
22.1	25.5	14.5	166
22.7	23.6	13.4	115
23.8	20.7	11.8	62.7
24.9	18.2	10.4	37.6
26.71	15.6	8.94	22.2
26.71	15.6	52.6	1.4×10^{-7}
30.0	10.8	38.8	6.4×10^{-6}

论证此点非常重要, 这又一次证明放电系统中有常温核聚变发生.

4 含 γ 的实验证据

本作者搜集的天体中的 X 射线源和太阳耀斑过程的 γ 射线很多[8~12]. 文中还直接给出了陈素和、王大仑实验组文章中的两个例子, 虽然他们没有进行较详细地讨论, 但清楚地证明: 该测量中确有 γ 射线. 图1是气体放电中 γ 射线谱[6], A 为 γ 射线谱, B 为本底谱. 另外, 也可把 A-B 在同一坐标内画出(见图2). 由此可见, 在放电中确有 γ 射线存在.

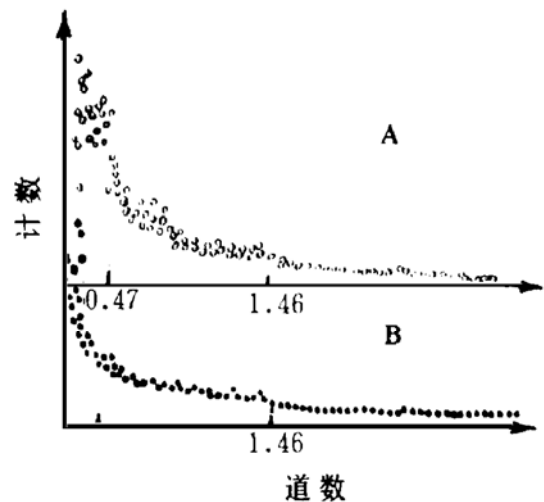


图1 气体放电中的 γ 射线谱

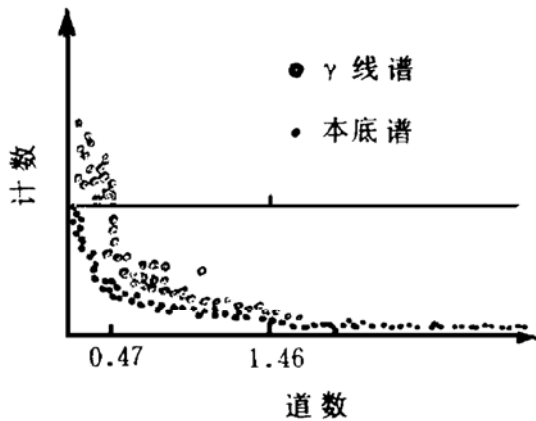
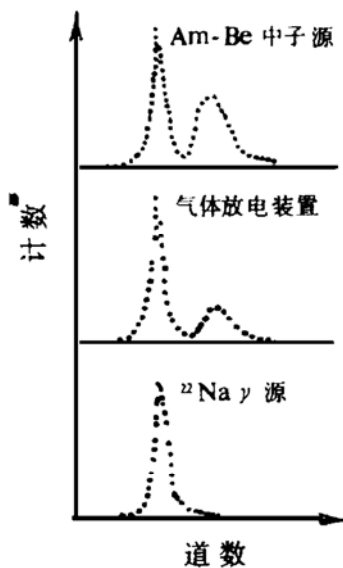
图2 画在同坐标上的 γ 线谱和本底谱3 气体放电中子的 n- γ 分辨谱

图3为气体放电中子的 n- γ 分辨谱,它清楚地给出了气体放电装置中的 γ 峰. 和 Am-Be 源相比,气体放电中的 n/ γ 比较小,但谱形相似,中子峰明确存在. ^{22}Na 的 n- γ 分辨谱仅有 γ 峰,没有中子(反冲质子)峰. 作者认为:这个 γ 峰是个很强的信号,而通常只是当作 γ 本底,这需要斟酌.

5 结 论

氘气放电中存在核过程,有中子产生,也有高能 γ 产生. 因此,在计算 X 射线的能量时必须计及高能 γ 的成分. 现有单能 X 射线为 26.7 keV 的结果是偏高的,而由“束缚态”给出的结果是 ~ 25 keV; 而且认为,对于氘气系统, X 射线的能量为 ~ 12.5 keV.

参 考 文 献

- 1 鲁润宝. 第一周期元素的电磁辐射与‘冷聚变’的可能机制. 强激光与粒子束, 1994, 6(4): 615~621
- 2 Lu Runbao. The X-ray Emission from Element of First Period and Cold Fusion. Cold Fusion Source Book, 1994, 212~213
- 3 鲁润宝. 一类气体辉光放电条件下 X 射线与冷核聚变. 核物理动态, 1995, 12(1): 44~46
- 4 鲁润宝. 电子-离子束缚态的存在及实验验证. '95 全国量子力学研讨会论文集, 1995, Chapter 11: 1~5
- 5 陈素和, 王大伦, 崔高显等. 气体放电中的 X 射线诊断. 核物理动态, 1995, 12(3): 58~60
- 6 王大伦, 陈素和, 励义俊等. 常温核聚变现象实验研究. 强激光与粒子束, 1993, 5(3): 333~343
- 7 王大伦, 陈素和, 励义俊等. 气体放电中子的诊断. 核技术, 1995, 18(2): 76~80
- 8 Watanabe T, Tanaka K. Thermal Evolution of Plare Flasma. Solar Physics, 1983, 86: 107~113
- 9 Lin R P, Schwartz R A, Kane S R et al. Solar Hard X-ray Microflares. APJ, 1984, 283: 421~425
- 10 Takakura T, Tanaka K, Nitta N et al. X-ray Imaging of a Solar Limb Flare on 1982 January 22. Solar Physics, 1986, 107: 109~121
- 11 Chupp E L, Forrest D J, Ryan T M et al. Observation of 2. 223MeV γ -ray Line on the SMM Satellite-the event of 1980 June 7. APJ, 1981, 244: L171~174

Analysis of X-ray and γ -ray Production Mechanism under Condition by Discharge with D_2 Gas

LU Renbao

(Beijing Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088)

Abstract The following opinions were given in this paper. It is (下转第124页)

合理的核电及燃料循环系统。

(2)在前一段工作的基础上,应该及时从物理概念可行性研究转入概念设计阶段.概念设计应充分考虑我国现有工作和技术基础、工程经验、国力和资源情况,也要充分利用国际上已取得的研究成果.根据我国国情,建议以生产能量为研究目标,这一研究目标对加速器的技术要求也相对较低(1GeV, 10~20 mA 的质子加速器).

(3)为实现上述目标,作为第一步,以十年左右的时间建一台原理性验证装置,这一

装置应该是综合性多用途的,可开展产能、嬗变、产氙的可行性验证,还可以开展核科学研究.

(4)对于强流加速器基础技术予以及早安排,作必要的技术储备.

(5)在概念设计阶段的早期,一些与工程有关的基础性工作应同步进行,如材料研究、反应的控制等.

(6)国际合作是目前 RCNPS 研究的大趋势,应该积极参与.但应该以我为主,有选择、有目的的进行.

Progress of Research and Development of Clean Nuclear Power System Driven by Accelerator in the World

ZHAO Zhixiang

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

Abstract The concept for the clean nuclear power system driven by accelerator is presented. The status and progresses of several projects in the world are reviewed. The suggestions for the work to be done in China are proposed.

Key Words accelerator sub-critical reactor clean nuclear power

(上接第117页)

probably creditable that as X -ray with single energy was produced in discharge process with D_2 gas, γ -ray was produced also. The γ -ray must effect the spectrum of X -ray. The existence of γ -ray provides the evidence for cold fusion.

Key Words cold fusion electrons-ions bound state X -ray with single energy γ -ray