

# 电子-离子束缚态及其引发核聚变\*

鲁润宝

(北京应用物理与计算数学研究所, 北京 8009 信箱, 100088)

**摘要** 在文献[1]关于电子-离子束缚态的基本概念的基础上, 对电子-离子束缚态三体系统给出严格的薛定谔方程, 给出能量的近似解: (1)对 p-e-p 束缚态, 释放单能  $E_p = 12.5\text{keV}$  的 X 射线; (2)对  $D^+ - e - D^+$  束缚态, 释放单能  $E_D = 25\text{keV}$  的 X 射线, 同时引发少量的核聚变, 放出  $\alpha$  质子、中子、氦、 $^3\text{He}$  和  $^4\text{He}$ 。这是两个独立发生的过程。以 Ni-H 和氦气辉光放电实验为例, 用束缚态模型给出定量的解释。进而提出太阳耀斑发生过程中也包含电子-离子束缚态放射 12.5keV 和 25keV 两种 X 射线并引发少量核聚变的过程, 给出了观测结果验证。

**关键词** 电子-离子束缚态 X 射线 冷聚变 太阳耀斑 三体问题  
**中图分类号** TL 612

自从 1989 年美英两组科学家宣布重新发现“冷聚变”以后, 国际学术界又开始新一轮新争论。这里有两个层次的分歧: 一、现象的有无问题, 是否存在常温下 D-D 核聚变并放出“超热”现象? 不少著名物理学家对此持否定态度; 认为 Flieschmann 和 Pons 等人的冷聚变实验结果是不可能的。但是, 有众多实验学者陆续报导了以释放“超热”为特征的所谓冷聚变实验: 重水电解实验, 氦气辉光放电实验, Ni-H 实验等。二、现象的本质或机制问题。绝大多数实验学者把此现象归结为冷聚变。作者认为这是一个历史误会。上述被称为冷聚变的一类实验, 其释放超热的主要过程是, 在某些特定环境条件下, 电子、离子当其距离小于或接近玻耳半径时, 由于强电磁相互作用形成电子-离子束缚态而释放 X 射线能。

## 1 电子-离子束缚态的量子力学描述

这个问题的量子力学考虑是: 在发生束缚态现象的特殊环境条件下<sup>[1]</sup>, (p, e, p), ( $D^+$ , e,  $D^+$ ) 系统中粒子间距离小于或接近于玻耳半径, 由于强电磁相互作用, 玻恩-奥本海默近似不再适用, 须重新回到三体问题求解。而文献[1]是用平均势场近似把三体问题化为两体问题,

设粒子坐标分别为  $x_1, x_2, x_3$ , 且  $x_3 > x_2 > x_1$ , 如右图。

在不考虑核力作用情况下, 系统哈密顿如下:

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{m_i} \frac{\partial^2}{\alpha_i^2} + \frac{e^2}{x_3 - x_1} - \frac{e^2}{x_2 - x_1} - \frac{e^2}{x_3 - x_2} \quad (1)$$

下角  $i = 1, 3$  时代表质子或氦离子,  $i = 2$  代表电子。

首先把质心运动分离出去<sup>[2]</sup>, 设  $X = (m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3) / M$ ,  $x_3 - x_1 = \xi + \eta$  在新坐标下:

$$\sum_{i=1}^3 \frac{1}{m_i} \frac{\partial^2}{\alpha_i^2} = \frac{1}{M} \frac{\partial^2}{\alpha^2} + \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) \frac{\partial^2}{\xi^2} + \left(\frac{1}{m_3} + \frac{1}{m_2}\right) \frac{\partial^2}{\eta^2} - \frac{2}{m^2} \frac{\partial^2}{\xi \eta} \quad (2)$$

\* 中物院基金、国家自然科学基金资助课题

1995年9月12日收到原稿, 1998年1月20日收到修改稿。

鲁润宝, 男, 1940年10月出生, 副研究员

\*\* 编者按: 在“冷聚变”一类异常放能现象机理的探索中, 国内外诸多学者提出各自的解释, 鲁润宝的“电子离子束缚态”释放 X 射线能是其中之一, 这些模型的正确与否有待实验观测的进一步验证。发表鲁文的目的在于引起同行的交流、讨论, 以促进认识深化。

把(2)式代入(1)式并去掉质心运动部分(对形成物质结构,质心运动不起作用),新坐标下薛定谔方程:

$$-\frac{\hbar^2}{2}\left[\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right)\frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \left(\frac{1}{m_3} + \frac{1}{m_2}\right)\frac{\partial^2}{\partial \eta^2} - \frac{2}{m_2}\frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta}\right]\Psi - e^2\left[\frac{1}{\xi} + \frac{1}{\eta} - \frac{1}{\xi + \eta}\right]\Psi = E\Psi \quad (3)$$

由坐标选取可知:  $-e^2\left[\frac{1}{\xi} + \frac{1}{\eta} - \frac{1}{\xi + \eta}\right] < 0$ , 这个系统具有恒负位能, 因此, 它有负能级, 即存在束缚态。

为了去掉交叉微分算符, 引入坐标变换:  $\xi = (1/\sqrt{2})(\xi' - \eta')$ ,  $\eta = (1/\sqrt{2})(\xi' + \eta')$ , 代入(3)并针对(p-e-p)系统(此时  $m_1 = m_3 = m_p, m_2 = m_e, 1/m_p + 2/m_e = 2/m_e$ ) 得到:

$$-\frac{\hbar^2}{2}\left[\frac{1}{m_p}\frac{\partial^2}{\partial \xi'^2} + \frac{2}{m_e}\frac{\partial^2}{\partial \eta'^2}\right]\Psi - \sqrt{2}e^2\left(\frac{1}{\xi' - \eta'} + \frac{1}{\xi' + \eta'} - \frac{1}{2\xi'}\right)\Psi = E\Psi \quad (4)$$

(4)式为严格的薛定谔方程, 带有恒负的位能。该方程的严格求解留待以后去做, 为了讨论它的物理意义, 我们考虑准稳态情况, 即  $|\eta'| \ll \xi'$ 。

位能项中的  $-\sqrt{2}e^2\left(\frac{1}{\xi' + \eta'} + \frac{1}{\xi' - \eta'}\right)$  描述的是电子与左右两边的质子相互吸引而产生的位能之和, 由于电子、质子的正、负电荷量值相等, 所以电子、质子对这部分位能的贡献是均等的, 因此可以把此项位能对电子、离子进行 1/2 均分处理。

$$\begin{aligned} U(\xi', \eta') &= -\sqrt{2}e^2\left(\frac{1}{\xi' - \eta'} + \frac{1}{\xi' + \eta'} - \frac{1}{2\xi'}\right) \\ &= -\frac{\sqrt{2}}{2}e^2\left[\left(\frac{1}{\xi' - \eta'} + \frac{1}{\xi' + \eta'} - \frac{1}{\xi'}\right) + \left(\frac{1}{\xi' - \eta'} + \frac{1}{\xi' + \eta'}\right)\right] \end{aligned} \quad (5)$$

对第一部分, 当考虑  $\xi'$  的贡献时, 则有  $\xi' + \eta' \approx \xi', \xi' - \eta' \approx \xi'$ 。(5)式中第一部分可改写为

$$-\frac{\sqrt{2}}{2}e^2\left(\frac{1}{\xi' - \eta'} + \frac{1}{\xi' + \eta'} - \frac{1}{\xi'}\right) \approx -\frac{\sqrt{2}}{2}e^2\frac{1}{\xi'} \quad (6)$$

对第二部分, 当考虑  $\eta'$  的贡献时, 无法直接简化。为此做如下近似处理。

不失一般性, 假定  $\xi' > \eta' > 0$ , 由坐标变换可知:  $\xi' > 0, \eta' < 0$ , 引入参量  $\epsilon$ , 令  $\eta' = -\epsilon\xi', 0 < \epsilon \ll 1$ 。假定  $\epsilon$  近似为常参数。这样(5)式中的第二部分可改写为

$$-\frac{\sqrt{2}}{2}e^2\left(\frac{1}{\xi' + \eta'} + \frac{1}{\xi' - \eta'}\right) = -\sqrt{2}e^2\frac{\epsilon}{1 - \epsilon^2}\left(-\frac{1}{\eta'}\right) \quad (7)$$

至此, (4)中的位能项便完成了分离变量所需的条件

$$U(\xi', \eta') = -\frac{\sqrt{2}}{2}e^2\frac{1}{\xi'} - \sqrt{2}e^2\frac{\epsilon}{1 - \epsilon^2}\left(-\frac{1}{\eta'}\right) \quad (8)$$

将(8)式代入(4)式。令  $\Psi = A(\xi') \cdot B(-\eta'), E = E_p + E_e$ , 分离变量可得

$$\left\{ \begin{aligned} &\left[\frac{\hbar^2}{2m_p}\frac{\partial^2}{\partial \xi'^2} + \frac{\sqrt{2}}{2}e^2\frac{1}{\xi'} + E_p\right]A(\xi') = 0 \end{aligned} \right. \quad (9.1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} &\left[\frac{\hbar^2}{m_e}\frac{\partial^2}{\partial \eta'^2} + \sqrt{2}e^2\frac{\epsilon}{1 - \epsilon^2}\frac{1}{\eta'} + E_e\right]B(-\eta') = 0 \end{aligned} \right. \quad (9.2)$$

下面求解方程(9.1)式。令:  $e_{\text{eff}}^2 = \frac{\sqrt{2}}{2}e^2, \rho = \frac{\xi'}{a}, a = \frac{\hbar^2}{m_p e_{\text{eff}}^2}, \epsilon = \frac{E_p}{2I}, I = \frac{m_p e_{\text{eff}}^4}{2\hbar^2} = \frac{e_{\text{eff}}^2}{2a^3}$

于是(9.1)式可化为

$$\frac{d^2\chi}{d\rho^2} + [2\epsilon + \frac{2}{\rho}]\chi = 0 \quad (10.1)$$

形式, 此处  $A(\xi) = X(\rho)$ 。对于  $\epsilon < 0$ , (10 1) 式有一般解为

$$X = \rho e^{-\beta \rho} u(\rho), \beta = \sqrt{-2\epsilon} \quad (10 2)$$

因此, 利用文献[2]中有关公式可得

$$A(\xi) = A_0 \xi^{-\frac{\xi}{a}}, E_{p,n} = -\frac{m_e e^4}{2h^2} \frac{m_p}{2m_e} \frac{1}{n^2} \quad (11 1)$$

同理

$$E_{e,n} = -\frac{m_e e^4}{2h^2} \frac{1}{n^2} \left(\frac{\epsilon}{1-\epsilon}\right)^2 \quad (11 2)$$

我们知道, 玻尔半径是电子-质子二体系统的最可几距离, 电子不可能无限趋近质子。对质子-电子-质子三体系统, 电子的平衡位置, 由于两质子的竞争, 应处在两质子连线的中点, 即  $\xi = \eta$  亦即  $\epsilon = 0$ 。由此得出:

$$\begin{cases} E_{p,n} = -\frac{m_e e^4}{2h^2} \frac{1}{2} \frac{m_p}{m_e} \frac{1}{n^2} \\ E_{e,n} = 0 \end{cases} \quad (12 1)$$

$$(12 2)$$

对于基态:  $E_{p,1} = -\frac{1}{2} \frac{m_p}{m_e} \frac{m_e e^4}{2h^2} = 13.55 \text{eV}$ , 即氢的基态能量。

因此可得:

$$E_p = 12.5 \text{keV}$$

同样, 对于  $(D^+ - eD^+)$  系统可得:

$$E_D = 25 \text{keV}$$

这就是  $(p-e-p)$  和  $(D^+ - eD^+)$  两种粒子体系形成的电子-离子束缚态分别放出的两种单能 X 射线能量。后者还进一步引发少量的  $(D, D)$  聚变<sup>[1]</sup>, 放出高能  $\chi$  中子、质子、氦、 ${}^3\text{He}$ 、 ${}^4\text{He}$ 。束缚态与核聚变发生率的讨论可参见文献[1], 束缚态形成的几率(即 X 射线的产生几率)约为核反应几率的  $10^4 \sim 10^6$  倍。这就是作者提出所谓冷聚变实验释放的超热主要来自束缚态放射 X 射线能的依据。上述两种束缚态是两个独立发生的过程, 因发生的环境条件不同, 它们可以彼此独立发生, 亦可相伴发生。

## 2 对所谓冷聚变实验的解释

### 2.1 Piantelli 实验

Piantelli 做的 Ni-H 系统释放超热的实验<sup>[3]</sup>是许多所谓冷聚变实验之一, 最近该实验结果获国际专利, 专利号 No. 95/20816。直至专利公布之日, 实验者仍认为“热量产生于 D+H 核聚变”, 但需要“进一步做工作来证明”。该实验有两个重要结论: (1) 放出超热, 用“15g 镍、1g 氢产生了足够一只 30~40W 灯泡使用约 3 个月的能量”; (2) 实验未测到中子和  $\gamma$  射线。

根据电子-离子束缚态理论, 一定数量的 Ni 只起到形成  $(p-e-p)$  束缚态的条件。产生的超热, 正是  $(p-e-p)$  束缚态释放的单能  $E_p = 12.5 \text{keV}$  的 X 射线能。即每放出 12.5keV 的 X 射线能量, 需要消耗 2 个氢(质子)。

$$Q_{\text{放}} = (30 \sim 40) \text{J/s} \times (3 \times 30 \times 24 \times 3600) \text{s} = (1.46 \sim 19.4) \times 10^{27} \text{eV}$$

$$N_p = 2[Q_{\text{热}}/12.5 \text{keV}] = 2(0.117 \sim 0.155) \times 10^{24} \text{个}$$

$$m_p = 2(0.117 \sim 0.155) \times 10^{24} / 6.02 \times 10^{23} \text{g} = 0.39 \sim 0.51 \text{g}$$

这就是说, 只要大约一半的氢离子形成束缚态放能, 一半是普通化学反应就可以放出此能量。对第二个结果, 也是电子-离子束缚态的自然结论。而且, 实验至今未测出中子及  $\gamma$  射线, 恰恰说明, 该实验释放的超热不是冷聚变放热, 而是束缚态放射的 X 射线能(天然 D 除外)。如果能够对该实验实施 X 射线测量, 预期一定会测出 X 射线的。

## 2.2 氦气辉光放电实验

王大伦等人做了著名的释放超热的氦气辉光放电实验<sup>[4]</sup>。他们曾用三种方法测得 X 射线是能量为 26.7keV 的单能 X 射线。他们还曾给出平均能量为 27keV 的结果<sup>[4]</sup>，这是不矛盾的。单能的平均值当然是它自身。该实验还给出了稳定的中子通量约  $10^4/s$ 。

本文认为，这正是电子-离子束缚态 ( $D^+ - e - D^+$ ) 过程释放单能  $E_D = 25keV$  的 X 射线及其引发少量核聚变放出可观测到的中子、 $\gamma$  的结果。在文献[1]中，作者对引发少量核聚变的概率进行了粗估，前者释放的能量高于后者的  $10^4$  倍。所以该实验释放超热的主要机制应当说是电子-离子束缚态释放的 X 射线能，核聚变能占极少部分。很可惜该实验未给出总能量和总中子数的测量结果，因此不能做进一步验证。

## 3 太阳耀斑能谱的验证

分析了关于太阳耀斑能谱记录的大量资料之后，发现太阳耀斑发生过程中也含有电子-离子束缚态释放 12.5keV 和 25keV 左右的单能 X 射线的过程。

### 3.1 束缚态的存在证明

(1) 天文学家已在长期探测中逐渐摸索到太阳耀斑的 X 射线谱有两种成份，常把 14keV 作为软 X 射线的上限，把 20keV、24.8keV 或 26keV 作为硬 X 射线的下限。参见图 1<sup>[5]</sup>、图 2<sup>[6]</sup> 和图 3<sup>[7]</sup>。从图 1、图 2 可以看出 14keV 以下的软 X 射线段与 26keV 以上能量的硬 X 射线段，其谱线特征有明显的区别，这种分段刚好与存在 ( $p - e - p$ ) 和 ( $D^+ - e - D^+$ ) 两种束缚态释放 12.5keV 和 25keV 左右的单能 X 射线源，以及后者引发少量的核聚变的过程相一致。

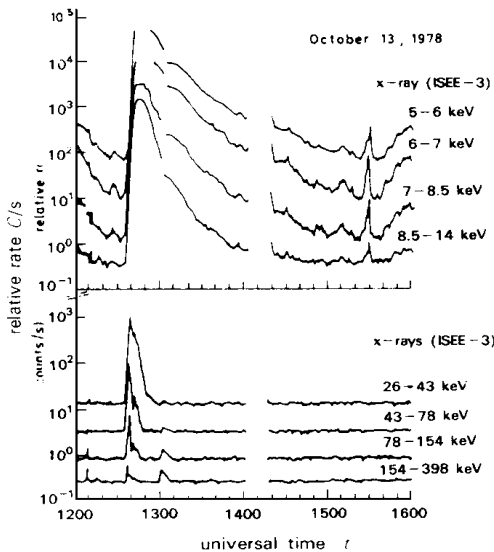


图 1

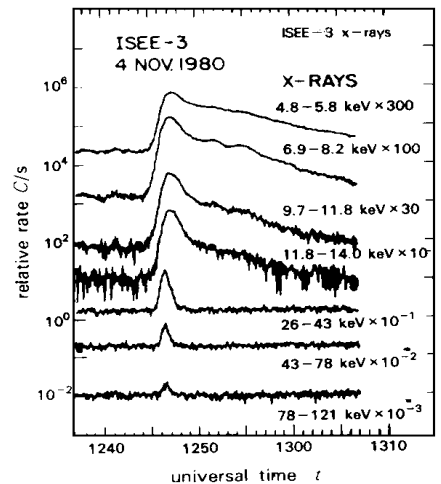


图 2

(2) 从图 2 中可看出，在 11.8~14.0keV 能段的谱线，在出现大突峰的前后，均有许多小脉冲，这正是线发射所具有的特征。从图 4<sup>[8]</sup> 的时间谱形可看出，在 4.42~4.43 时间段里，在 12.5keV 附近，率先出现尖锐的脉冲峰。在图 3 的 10.0~14.9keV 能段里，也有一个突然升起的脉冲峰。这些都体现了 ( $p - e - p$ ) 束缚态释放 12.5keV 左右能量 X 射线线发射的存在。

(3) 关于 ( $D^+ - e - D^+$ ) 的 X 射线的线发射分析起来比较复杂，因为该过程还引发核聚变，

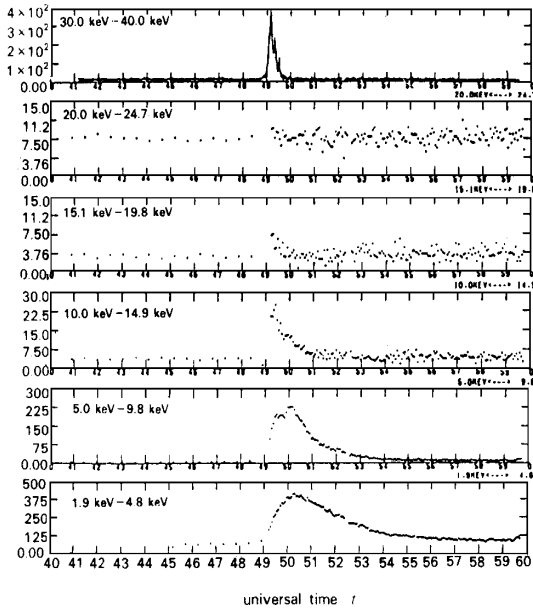


图 3

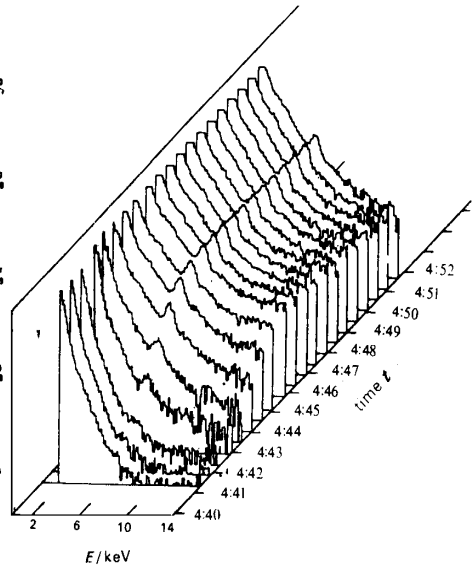


图 4

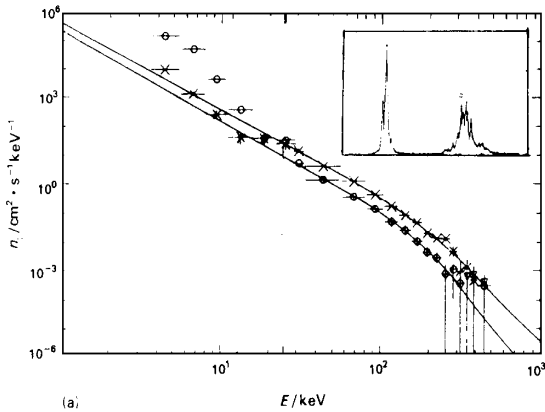


图 5

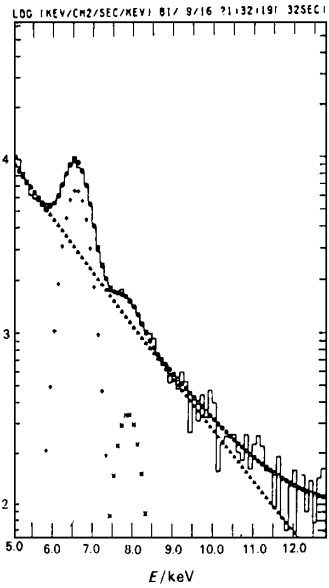


图 6

放出高能中子和  $\gamma$ , 后者在很短的时间内又产生 X 射线。从图 3 中可以看出, 在 20.0~24.8keV 能段里, 未发现有脉冲峰, 说明  $(D^+ - eD^+)$  束缚态 X 射线线发射的单能应大于 24.8keV。该图未设 25~30keV 的能段, 但可以从图 1 和图 2 中看出, 在 26~43keV 能段里存在脉冲峰。从能谱在 25keV 处折断也可以看出它的存在。

### 3.2 从现有解释太阳耀斑模型的困难看束缚态的存在

解释太阳耀斑能谱的主要模型有好几种, 均遇到各自无法解释的困难。现举两例如下:

(1) 图 5<sup>[7]</sup> 中两条实线是用双“幂律”拟合的两个不同时刻的耀斑谱, 拟合是从大于 30keV 做起的。× 代表硬 X 射线成分较多的脉冲相出现的时刻, 代表软 X 射线成分居多的时刻, 这两种实测点按幂律模型往低能走向应是近似一致的, 但从图中可以看出, 在 25keV 和 12.5keV 左右两处, 点两次明显升高, 使幂律拟合从这些地方起往低能不再适用, 说明这两处有源。这刚好与束缚态释放的 12.5keV 与 25keV 的单能射线相联系。

(2) 图 6<sup>[9]</sup> 中直点线是高温等离子体模型拟合线, 在 6.7keV 和 7.9keV 处的偏离被解释为 Fe 线和 Ni 线。但是在 6.7keV 处相对偏离仅约 3.3 倍, 而在 12.5keV 处, 相对偏离超过 6 倍, 该文献却认为是“统计误差”, 这是说不过去的。这无法解释的地方, 正好体现了 p-e-p 束缚态的线发射的存在。关于太阳耀斑能谱特征及其时空分析, 将另文详述。

致 谢 钱学森、陈能宽先生和洪明苑研究员等给予的帮助与鼓励。

### 参考文献

- 1 鲁润宝 强激光与粒子束, 1994, 6(4): 615~ 621
- 2 曾谨言 量子力学 北京: 科学出版社, 1989
- 3 Forcardi S, Habel R, and Piantelli F. *IL N uovo C I M E N T O*, 1994, **107A** (1)
- 4 王大伦, 陈素和等 核物理动态, 1995, 12(4)
- 5 Klein L, et al *Solar Phys*, 1983, **84**: 295~ 310
- 6 L in Huaan, et al *Solar Phys*, 1985, **99**: 263~ 275
- 7 W atanabe Tetsuga, et al *Solar Phys*, 1983, **86**: 107~ 113
- 8 Takakura T, et al *Solar Phys*, 1986, **107**: 109~ 121
- 9 Strong K T, et al *Solar Phys*, 1984, **91**: 325~ 344

## ELECTRON- ION BOUND STATE AND IT INITIATING A LITTLE NUCLEAR FUSION

Lu Runbao

*Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, P. O. Box 8009, Beijing*

**ABSTRACT** A strict description of quantum mechanics on electron- ions bound state three- body system and two approximate solutions are given, which are (1) corresponding to p-e-p bound state X rays with  $E_p = 12.5\text{keV}$  monoenergy is emitted, (2) corresponding to  $D^+ - e - D^+$  bound state X rays with  $E_D = 25\text{keV}$  monoenergy is emitted, and also initiate a little (D,D) fusion to give out neutron, proton, triton  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$ , and gamma ray. In this paper some experiments such as Ni- H, deuterium gas glow discharge, are explained. The energy about the excess heat release is just a large quantity of X rays released in the two electron- ions bound state mentioned above, and only  $(D^+ - e - D^+)$  can initiate nuclear fusion. The author further analyses a large number of the measured record solar flare energy spectrum and points out that the process of generating solar flare also contains the process of emitting X rays with about 12.5keV and 25keV monoenergy and a little (D,D) fusion.

**KEY WORDS** electron- ions bound state, X rays, cold fusion, solar flare, three body problem