

低能核反应（冷聚变）的一种解释*

[美] Edmund Storms 著，张武寿 译

2012-10-6

目 录

低能核反应（冷聚变）的一种解释.....	1
摘 要.....	1
1. 引言.....	1
2. 讨论.....	2
2.1. 核活性环境.....	2
2.2. 评估解释的进一步要求.....	5
2.3. 已发表的解释.....	6
2.4. 探索 LENR 解释的过程.....	9
2.5. 可检测的预言.....	13
3. 总结.....	13
致谢.....	14
参考文献.....	14
译者后记.....	24

摘 要

我们确定低能核反应（LENR）很可能发生在核活性环境中，这是通过排除各种可能性并鉴定所有成功 LENR 方法具有相同的环境而得出的结论。该环境与一个合理机制相结合能推导出很多可实验检验的预测结果。这些观点和建议有助于清楚理解 LENR 并为未来研究提供指导。LENR 发生的共同环境应该是具有临界尺寸的裂缝，随后是一个共振过程，该过程由类似于激光过程的 X 射线发射来耗散能量。LENR 的行为有可能用来检验核相互作用的标准模型。

关键词：CMNS；冷聚变；LENR；理论

1. 引言

自从 Fleischmann 与 Pons（简称为 F-P）宣布发现冷聚变——亦称低能核反应（Low Energy Nuclear Reaction，简称为 LENR）——以来已经过去 23 年了[1]。该现象的两个独特行为挫败了所有的理论解释。首先，在看似普通的材料中，在不应该发生核反应的常态条件下产生了显著的能量和好几种核产物。其次，与传统核反应不同，释放能量的

* 本文译自 E. Storms: “An Explanation of Low-energy Nuclear Reactions (Cold Fusion)”, J. Condensed Matter Nucl. Sci. 9 (2012) 86–107。如有疑问请参阅原文（www.iscmns.org/CMNS/JCMNS-Vol12.pdf）或与作者联系，其地址为 KivaLabs. Santa Fe, NM 87501-6319, USA; E-mail: storms2@ix.netcom.com。

同时没有产生高能辐射。当实验中测到辐射时，其能量和强度都相对很低。甚至是已经验证的 ^4He 、氦和各种嬗变核产物都超出预料。令理论解释更具挑战性的是，无论使用氘还是氢都能测到后两种核产物。施加各种形式的外部能源并适当提高温度可增加反应率但并不需此来触发反应过程。换句话说，该过程与传统核聚变完全不同。

数百计重复性实验证明起初对冷聚变现象的否认是无说服力的[2]。这些研究表明四种不同的方法都能产生能量但其核产物不同。许多书籍介绍过 LENR 发现的历史[3-9]，并有好几个网站¹提供了最新信息，视而不见不再是拒绝的理由。

本文致力于辨别材料中反应的位置，确定反应过程，以及导致聚变和嬗变反应机理的一般类型。目的是发现一个创新性的方法统一解释所有的观测结果，同时解决实验结果与基于传统核相互作用认识而得到的预期行为之间的矛盾。当然，不能设想所有的观测结果都是对的，但已经做得足够好的研究有可能使我们做出理性判断。除了 LENR 行为中已知的不确定性以外，在核相互作用的传统认识中仍会有瑕疵或鸿沟，特别是如何降低库仑势垒以及中微子在其后反应中的作用。因此，说明 LENR 究竟如何起作用可加深对核物理的认识。

很多理论工作者已经提出各种机理试图解释在 PdD 晶格中如何降低库仑势垒。这些模型一般涉及改变电子能量或局域电子密度。正如下文将表明的，化学效应会阻止这些过程引发核反应。相反，本文设想在 LENR 可能发生之前必须先材料中形成一个异常的结构。引起核反应的机理只能出现在这个结构中，我们称之为“核活性环境”（nuclear active environment，简称为 NAE）。当这个环境形成并有任一种氢同位素进入以后就会发生聚变反应。问题在于确定并尽可能多地产生 NAE。当无论使用何种方法和化学系统都能找到所有成功产生 LENR 的通用条件时也就确定了 NAE。当 NAE 确定以后，寻找产生 LENR 的机理就变得相对容易。许多解释 LENR 的努力所以失败就是因为把这个过程弄反了，即先在单晶——如 PdD——内寻找机理而忽略了 NAE 的独特性质，这个性质可能出现在所有的活性材料中而与其组分和所用方法无关。

2. 讨论

2.1. 核活性环境

这个概念应用于某个位置或环境，引起核反应的机理必然在其中运行。因此，NAE 必在机理开始作用之前形成，其数量限制了能量产率，其性质也将决定其中运行的机理。NAE 还必须在化学上独立于普通化学环境。理解并接受这些要求是进一步讨论的基础。下文会说明其道理所在。

确定 NAE 的第一步是从成功的 LENR 实验中发现单一条件。另一个限制是要求 NAE 与众所周知的化学行为一致。产生这些限制的原因是电子与核的能量及其相互位置与它们在化学结构中的排列紧密相关。这种关系的任何改变都会导致化学结构的变化，这种改变需要能量，所以总是受到抵制。不能利用量子力学模型来简单地回避该要求。下文将进一步说明这种观点。

众所周知，甚至在高温高压下高度可变的化学结构也不可能导致自发核反应，这是基于地质时间得出的经验。也就是说，核反应很难出现并要求非常独特的条件。NAE 就是这种独特条件。对 NAE 特征的进一步限制是要求 NAE 与核机理必须以合乎逻辑的方式协作。换句话说，物理和化学要联合起来解决这个问题。

可以设想 LENR 包括三个主要步骤。第一步是形成 NAE，第二步是氢原子进入 NAE，

¹ 参： www.LENR.org 或 www.coldfusionnow.org。

最后一步是这些原子在其中相互作用并引起核反应。从形成 NAE 开始，每个步骤又可描述为独立的过程。估计 NAE 的缓慢形成是引起 F-P 电解过程中经历典型长延迟时间的原因。本文只概述这些步骤最一般的特征，更多细节留待后续文章讨论。

在设想一个 NAE 之前必须理解应用于任何 NAE 的一般原理。首先，必须形成 NAE。因为它出现在化学环境中，所以不管它如何发生或其构型如何，其形成过程应该符合传统的化学行为并遵守控制这些过程的公认定律。如必须出现吉布斯能的降低并明确其降低原因。这种变化的典型原因包括组分变化、温度变化、应力集中。此外，形成 NAE 的过程可能是放热的。很明显，形成的 NAE 数目肯定有一个限制。否则，功率产生就会增加到破坏材料，实际并非如此。这种限制的原因必须是设想过程的一部分。

第二个过程涉及氢掺入 NAE，也必须同样降低吉布斯能并且掺入速率需要活化能来控制²。这个方法允许利用热力学定律来预测原子集合的行为，而不需使用量子理论来描述每个单独原子的运动。也就是说，我们要像在化学中通常做的那样关注于一般行为，而非物理学偏好的，单独原子的量子行为。

第三个过程涉及实际核反应，要求反应是放热的并且产生已经出现的核产物。下文会详细讨论该过程。

让我们首先在 NAE 产生以后应用这些基本要求。估计有三个主要变量将决定产生功率的大小。

(1) 能出现核反应的位点的数量，即 NAE 浓度。很明显，活性位愈多，产生功率也愈高。

(2) NAE 中 H 或 D 的浓度，在使用气体时这与施加的 H₂ 或 D₂ 气压有关，在电解中与化学活度有关。氢同位素浓度愈高，产生功率也愈高。

(3) NAE 中的有效能量，这通常由温度决定。对于普通化学反应的典型影响，温度在有限范围内具有指数效应。有效能量也可以是施加的激光或其它外来能源。施加于位点上的能量愈高，每个位点上的聚变率也愈高，放出的功率也相应提高。

这些变量的不同组合会对每种方法造成不同影响。例如，电解法受困于相对的低温但得益于高的氘浓度。相反，气相法具有低的氢浓度但得益于高的温度。二者的 NAE 都浓度未知且高度易变。提高产能数值的最好方法是把这三个变量极大化。因此，LENR 不像通常设想的那样必须要求高的 H 或 D 浓度来起作用。条件仅仅是需要联合这些因素产生现有仪器可观测的反应率。此外，这些变量以复杂的方式相互作用。例如，增加温度会降低氢的浓度，如果温度超过某个临界值，即使其它参数仍保持常数，也会导致功率降低。过高温或局域高产能率皆可破坏 NAE，并降低产率。

一旦形成 NAE，随后在核水平上运行的机理可能非比寻常，但研究者无法影响该反应。它自发出现并自动维持。试图直接影响核过程就像点燃引信（产生 NAE）以后影响爆炸过程一样。局域产生的能量实在太大以致在其过程开始后就难以控制³。因此，准确知道这个机理如何工作对于提高 LENR 的强度和可靠性没有用处。无论如何，这个认识有助于确定 NAE 和预期核产物，这很重要。

到底会出现多少种 NAE 与机理的组合方式？是否所有观察到的核产物都由相同的组合方式产生？基于目前的经验还难以回答这些问题，因为每种产生 LENR 的方法牵涉

² 传统化学利用关系式 $k = A e^{-E/RT}$ 描述反应过程。如果把 k 与核反应产生的功率相关联，该关系也可用于 LENR， T 是 NAE 中的温度， E 是形成 NAE 或 H⁺ (D⁺) 进入 NAE 的活化能。这相当于假设在核反应之前所有过程都存在势垒。如果好几种核反应同时出现，每种都可用相同形式的方程独立描述，但活化能不同。例如，对于局域条件，当出现氘而检测不到氘时部分原因可能在于后者所需活化能更高，因此产率更低。

³ 当然，如上所述，断绝燃料可以控制整个功率。

显而易见不同的化学环境。但是，一个过程是如此罕见和独特会使人期望只有一个、或最多有限的几种组合。关于 NAE 基本性质的线索以及它的位置可从 F-P 效应中推测出来：

- (1) 氦几乎全部溢出到气相中。(表明氦产生于表面几微米深度内[10]。)
- (2) 氡出现在电解液中而非逸出气体中。(即氡产生于非常近表面层，允许与到达的 D^+ 离子发生置换反应[11]。)
- (3) 嬗变产物仅位于表面区。(表明一些反应发生在表面[12,13]。)
- (4) 表面出现熔融区。(即主要产能反应集中在表面。)
- (5) 用惰性基底上的薄钯膜能产生 LENR。(表明不需要大块材料[14]。)

这些行为指出在电解情况下可以在表面区而不是阴极内部发现 NAE。在电解阴极的表面会出现哪些物理和化学条件？许多该类表面的详细分析揭示形成一种复杂的合金，该合金包含锂、铂、氧、硼硅酸耐热玻璃容器的元素、电解液杂质，有时其中根本没有钯。该杂质层似乎是维持高氦浓度的必要条件[15]并且同时可能产生 NAE。表面组分测量表明超过了 $D/Pd = 1.5^4$ [17,18]，这已经很高于测量到的平均组分值[17]。氦可以从该层通过裂缝持续流失，引起层内稳定但不均匀的氦核流[19]。更麻烦的是，高分辨 SEM 检测显示的复杂形貌包括枝晶、裂缝、具有择优方向的良好晶体结构[20,21]、以及不平整的布局[21–25]等各种形貌。用所谓共沉积过程形成钯沉积层的结构更加复杂[26]。在这种饱受摧残的形貌中根本无法确定 NAE 位置，只知道它尺寸很小，因为这类表面的特征尺寸都很小。估计观测到的能量来自众多活性位之和，它们之间相互独立。该类行为可从 Szpak 等[27,28]的红外图像中清楚地显示出来，图像上的闪光点随机分布，可看作是随机位置上局域加热—冷却循环的结果。近距离面对活性材料的照相底片感光也显示氦仅由近表面随机位点上产生。Mosier-Boss 等[28]在从 D_2O 中电沉积 Pd 以后发现这个效应，Sankaranarayanan 等[29]用 Ni 丝在 H_2 气中反复吸脱 H 也观测到相同的行为。其它研究也产生并用自显影术测到了氦，但我们不能确定 LENR 是唯一起因，因为使用的放电电压高到可引起一些热核聚变[30,31]。从这些观察结果我们可以得出结论，即 NAE 具有非常小的尺寸并且不均匀地分布在复杂的表面。可以推想，当 NAE 浓度非常高时出现了观测到的熔融现象。总而言之，这些观测结果皆表明 NAE 仅存在于近表面，它不是纯的 PdD，测量到的 D/Pd 比太高不可能只来自于 β -PdD。因此，一个模型如果基于体样品中的 NAE 并只要求具有 D 测量浓度平均值的 PdD 时，该模型必须抛弃。

荒田吉明[32]和 Case[33]重点讨论小颗粒尺寸的重要性。通过把少量 Pd 原子放置在小的沸石内的原子笼中把这个想法推到极致[34]，但成效不显著。荒田吉明[35,36]提出通过氧化 Pd + Zr 合金形成 Pd 的纳米粒子。保留在最后 ZrO_2 基体中稀的 Pd-Zr 合金会产生少量 LENR[37,38]，但不足以说明小的金属颗粒尺寸是唯一的重要因素。Case [33]用的材料是典型的化学催化剂——负载 Pd 纳米颗粒的活性炭，除非使用特别的碳并经特别处理，否则它不起作用。我曾多次尝试把磨碎的 Pd 颗粒加入到碳等其它材料中，但皆未产生预期 LENR。很明显，Pd 颗粒尺寸不是该方法中的唯一重要因素。毕竟任何真实的纳米颗粒常常具有宽的尺寸范围，如果尺寸是唯一重要变量，总有一些会引起 LENR 和可检测的能量。当小尺寸有利时，可能是因为增加了表面积，总的经验表明这不是唯一重要条件。

简单地使氦扩散通过钯或其它材料明显可触发低水平的 LENR 反应。岩村康弘等人[39]将氦扩散通过 CaO/Pd 交替多层膜，必须存在 CaO 才会使各种表面沉积元素出现嬗变。该研究揭示出一个更复杂的过程，因为 CaO 层与表面上的靶材料之间隔着 40 nm

⁴ 在 PdD 的 fcc 晶格中不能超过 $D/Pd = 1$ 。组分超过该极限说明形成一种晶格结构（新相），该相可聚集更多的 D[16]，类似于在 Zr-H₂ 系统中形成 ZrH 后再形成 ZrH₂。

厚的 Pd 膜。CaO 是否创造了特别的元素可扩散通过 Pd 而不发生反应但只引起表面沉积元素的嬗变？或者是否 CaO 引入的机械和电子应力导致在表面形成 NAE？相反，刘斌等人[40]、Biberian 与 Armanet [41]能通过简单的 D⁺扩散通过纯 Pd 而实现 LENR，也只使用相对低水平的氘浓度。这些研究的特征可能是相同的，本文后面会再说。

2.2. 评估解释的进一步要求

切记需要甄别热聚变引发的行为并且不能用于解释 LENR。因为热聚变与 LENR 可以出现在相同的材料中并且有时同时发生，所以需要区分这两个独立反应的结果。已知形成裂缝可引发含氘材料中的核反应。该过程就是断裂聚变[42–45]，在裂缝中产生短暂的高电压可引起热聚变过程并产生预期高能核产物，所产生的中子也是猝发式的，所以在把中子归因于 LENR 前必须仔细评估。另一个潜在的热聚变例子是用携能氘粒子轰击固体材料[46–48]。当施加能量低的时候，热聚变类型反应易受材料中电子浓度的影响，但这不是 LENR 的情况，因为反应产物是高能粒子并与传统热聚变而非 LENR 的期望值一样⁵。必须维持 LENR 与热聚变起因的明确区别，因为二者显然有完全不同的运行机理。

在创立理论过程中人们应用两个非常不同的假设。一个是假设在普通晶格内部或表面可自发产生核反应，原因只是设想的机理通常在氘浓度达到一个临界值后开始起作用。另一个方法——此处尤其支持的——是假设显著的且可观测的变化必须发生在 LENR 出现以前，并且这导致一种新的环境，核反应在其中发生。这个独特的环境避免了矛盾的出现，即已知普通材料的行为与罕见的、局域的行为之间表现出的矛盾⁶。

普通材料不能成为 LENR 的发生位置，因为化学系统的行为是已知的，并可用多种不同的方法考察。原子排列成特有的晶格结构而组成了材料，其形式由电子—原子的关联能量和晶体经历的热能决定。除非改变结构，这些能量不会变化。如果能量增加足够多，将会引起熔化⁷。在一个稳定的化学系统中，除非外加能量或改变条件使当前结构不稳定，电子也不会以任何可观测的方式从一个能级自发移动到另一能级。如果发生这种变化，它通常对应着吉布斯能的降低⁸。因此，任何基于自发变化引发核反应的理论必须同时说明为什么吉布斯能会降低。此外，原子作为集合而运动，任何局域变化都会与晶体内的所有部分以众所周知的速率交流。热力学定律就是描述这些集合行为的。金属诸如钯、镍，复合物如 PdD 在通常使用条件下都是稳定的化学系统。即使因为未预料到的内能释放而发生自发变化，其已知的有限数值也不能引发核反应⁹。该认识是如

⁵ 这种说法有问题。在 LUNA 小组的结果中，PdD 内的 D + D 聚变屏蔽能高达 670 ± 50 eV，如用传统的热聚变理论结合固体物理即可导出 PdD 中的核反应率比 F-P 型的还高 10 个量级，但实际上并未发生，这也是该类结果与传统核反应理论的矛盾之处，不可忽略。——译者注。

⁶ 顺便提一下，这两种寻求解释的不同方法揭示了科学的不同分支在如何看待自然上的基本区别。经过物理学训练的人关注机理而有经验的化学家倾向于关注环境和条件（译者深有同感——译者注）。LENR 现象要求这两个科学领域的联姻，但这尚未发生。因为基于目前接受的“理论”无法想象其中的机理，所以很多人拒绝接受观测结果。只有在放弃传统机理并且新的机理应用于合适的材料以后才会出现成功的解释。

⁷ 作为材料的典型行为，如果每个钯原子得到的能量大于 0.17 eV 那么钯就会熔化。这个局域能量不足以引起核反应。任何 Pd 晶格内的能量聚集将会停止在这个数值，因为达到该值后熔化开始。因此，设想的能量聚集过程中的能量会让材料吸收，而所在区域也会遭到破坏。

⁸ 吉布斯能定义为焓变减去熵变乘以绝对温度： $\Delta G = \Delta H - \Delta T/S$ 。通过测量反应放出或吸收的热量可得到焓变。

⁹ 断裂聚变过程是一个例外。在这种情况下，破裂导致原子在空间内迅速分离并产生高电压差，高

此基本，如果没有明确说明和展示的原因，则不能视而不见。事实上，能量在材料中的作用是如此重要并如此透彻理解，以至于基于量子力学或假设的各种能量增益过程必须与这些行为相一致。

设想的理论必须满足如下要求：

- (1) 在纯的 β 相 PdD 中不产生 LENR，相反，LENR 要求先形成独特的条件（即 NAE）后才能出现。即使不考虑该条件，高氘（氢）浓度也不是唯一要求。
- (2) 导致核相互作用的机理只能出现在 NAE 中并必然与 NAE 性质相关联。
- (3) 该 NAE—机理组合必须与已知的材料行为、热力学定律以及控制核反应的基本原则相自洽。
- (4) 该 NAE—机理组合必须能解释观测到所有的 LENR 产物，包括聚变、嬗变与辐射源等结果。
- (5) 该解释必须自然地说明 LENR 如何发生，能量如何耗散而不产生明显的辐射。

2.3. 已发表的解释

迄今为止，我们可以接受哪些基本要求呢？尽管答案是不完全的，一些可以暂时接受并用于评估提出的机理。有希望的是，该评估过程将使上述要求变得更容易理解。

人们已提出有数百种理论试图解释 LENR，但没有一种理论可以成功地使 LENR 更好地重复并容易维持，也没有一个理论在一个小圈子外获得承认。尽管如此，下面还是要用上述方法探讨一些已经发表的理论事例，用上述要求理解其局限性。我们不去描述每个理论，而是在几个模型上应用总原则以显示如何评估相同的思想。

2.3.1. 金属原子空位的作用

Hagelstein 与 Chaudhary [49]提出钯子晶格中的空位(即失去了 Pd 原子)可成为 NAE 的位置。该方法基于如下三个假设：(1) PdD 中有足够多的金属原子空位，(2) 两个以上的氘核可以进入 PdD 晶格中的这种位点，(3) 只要氘核进入即能聚变形成氦。这三个假设中任何一个失效都会导致模型失败。我们开始分别检查每个假设。Flanagan 等[50]报道在 473 至 573 K 间加热可消除钯中冷加工引入的原子空位，即已知产生 LENR 的温度可消除这些空位。如果 PdD 中的金属原子空位数量很大，Pd-D 的相边界上限就超过 $D/D_d = 1$ 。McKubre 与 Tanzella [51]在室温下用电阻法确定这个边界，他们发现电阻随 D/Pd 变化的斜率中断处十分接近 1，即在更高组分形成两相区，而 β 相是不连续的。Norlander 等人[52]基于计算得出结论，一个 Pd 空位可以容纳多达 6 个 D。但即使达到这个数目，氘核也不可能接近到足以发生聚变。一个地方发生反应需要聚集的原子愈多，其发生的可能性就愈低。因此，反应率会很小并且对施加的 D_2 气压非常敏感。而冷聚变未显示出大的压力效应，当然这个变量也需要进一步仔细研究。如果发生聚变，不得不用另一组假设来解释辐射的缺乏。因此，对上述要求 1、4、5 的违反使我们不看好这个理论。

2.3.2. 中子作用

很明显，如果中子涉及核机理那么库仑势垒就不再是问题。因此有好几个人提出潜在反应性的中子源。设想在材料中开始就存在稳定的中子团簇[53]或某些机理在稳定条件下产生稳定的多中子态[54]。但没有直接证据表明在普通材料中存在或产生受限制的中子——不管作为团簇还是多中子态。事实上，如果有足够多的中子出现并可支持偶尔

压可离化并加速氘到足够能量以致发生热聚变。这种事件常以检测到猝发中子而表现出来。

观察到的高反应率，那么它们的存在本身即由于这种仓储的密度效应而变得可明显观测，事实上并非如此。同样，在化学纯化以后这些中子或多中子如何停留在钷或任何材料中需要利用难以置信的假设。尽管少数观测结果与可能的多中子引起的稀少且低水平的核过程结果一致[55]，该解释仍违反 NAE 及上述第 4、5 条要求。

此外，有人提出电子与质子或氘聚变成中子[56–61]，这要求反应的时空内有 0.76 MeV 的能量。因为这个 LENR 解释获得广泛的重视，所以需要全面了解。这个设想是有欠缺的，因为它假设在化学环境中的某一位置上集中足够高的能量形成中子。在众所周知的限制之外¹⁰，能量是真实且不能自发聚积的基本量。如果如此大的能量可以集中在一个电子或靶核上，它只能从平均能量远低于 0.1 eV 的环境中捕获。于是，能包将自发寻找并添加到单个电子上，能量必须在此聚集。这种存储过程如何完成呢？电子是不能存储能量的基本粒子。如果可以，它的静止质量就不会是常数并且电视机根本无法工作。也许能量可以在另外的过程中存储起来。已知通过加速到接近光速的办法可以把足够的能量加到粒子上并使其质量增加。电子以如此的速度和这种方式在充满电子与核的晶格内移动似乎是难以置信的¹¹。因此，这要求我们想象一个电子在收集环境能量场中的能量时能以接近光速通过原子集合且在遇到一个氢核以前不损失能量。称它为弱相互作用¹²，引入等离激元概念¹³，或提出超重电子¹⁴都无法使人了解该过程实际上如何发生。除非可以显示这个过程真实存在，而不仅仅是可能的假设，对于 LENR 而言中子的形成不是一个有说服力的解释。事实上，当利用带有足够能量的电子轰击含 p 或 D 靶时，只有非常少的情况下可以测到中子 [62]。此外，如果这样的能量可以集中在一个电子上，应该早在电子反应形成中子之前就观测到化学效应了。¹⁵进一步说，如果某种源能产生中子，应该观察到正常的中子β辐射以及中子与各种核反应生成的γ射线，但实际上未测到。此外，各种核产物也不能仅仅用中子相互作用来解释，因为这种作用要产生新同位素而非新元素。新同位素要在随后的放射性衰变中产生观测到的元素，但实际上未测到。因此，虽然该机理获得一些关注，但它既无法与 LENR 的行为也无法与传统科学一致。这种解释也不满足 NAE 及第 3—5 条要求。

另一方面，许多人推测如果电子可以靠核足够近而形成他们所谓的“虚中子”。在这种情况下，电子可为质子或氘核进入某个核提供足够的屏蔽而不需要完成不可能的任务——创造一个实中子。Mills [63]为电子靠近核提供了一个理论基础，即形成所谓的 Hydrino。Dufour 等[64,65]提出一个叫做 Hydrex 的结构，在这里许多电子和光子聚集在一起形成稳定的集合，它可以降低库仑势垒。形成里德堡原子或玻色—爱因斯坦凝聚 (BEC) 结构可以视为这种方法的改进版。这种专注于准中子类结构的改进似乎是值得探索的。这种类型的 NAE—机理组合要求在 LENR 中形成这类结构，当然尚未确证，下面将会继续探索。无论如何，该解释违反要求 4 和 5。

2.3.3. 声子作用

声子是准粒子，用来描述凝聚态中原子或电子间如何相互作用或传送能量。该模型

¹⁰ 这样一种异常的能量分布与众所周知的波尔兹曼分布以及热力学第二定律相矛盾。

¹¹ 具有该能量的电子在钷中行程很短，因为电子会通过产生 X 射线向周围环境释放能量而失去自己的能量[71]。这意味着不可思议的能量转换必须以不可能的速度迅速发生，且必须在获得该能量后在远小于微米区域内发现质子，且不产生实验上未观测到的 X 射线。

¹² 如 Widom-Larsen 理论。——译者注

¹³ 如 Violante 小组的理论。——译者注

¹⁴ 如 Rabinowitz 的理论。——译者注

¹⁵ 此句前原有：“例如，没有一个爆炸过程在触发以后时是稳定的。”前文出现过类似表述，疑为衍文。——译者注

用来描述热能如何散布到整个材料中并转化为材料内原子或局域电子的振动。当声子概念应用到 LENR，有人设想这些振动可以导致一些原子相互靠近到核作用（强力）的距离范围[66–69]或引起能量在核内聚集[70]以至于核变得不稳定。在该过程中，人们做了一个基本假设——即振动能聚集在一个核上而不影响一般 PdD 中周围原子间的化学键。这个假设根本上与观测到的声子行为相矛盾，也与能量总是向下运动的要求矛盾。事实上，当核反应出现后核能的释放就是通过能量向下移动而与周围原子交流能量。利用这种假设必须说明为什么能量向上传输时没有引起化学变化，而在核反应开始后能量向下传输机制又起作用了。因此，该解释违反所有要求。

2.3.4. 粒子—波转换的作用

Chubb 叔侄认为氦核在适当条件下可以转化为波[71]。如果这样，它可以与另一束氦核波相互作用而不需要直接涉及库仑势垒。简言之，这个作用形成一束氦波，氦波通过向周围晶格传输小能量量子而缓慢转化为氦粒子。这个模型解决了一些问题，但没有考虑如何产生嬗变产物以及哪些晶格的独特性质有助于粒子—波转换。正如他们自己所提，简单地考虑原子周期点阵是不够的，因为这是所有材料具有的普遍性质。而核反应是稀少的且只局限在某些特殊区域。正像下面描述的，尽管这个方法可以应用于特殊的 NAE，仍如这些作者所述，这个概念违反所有的要求。

2.3.5. “奇异”粒子的作用

有些理论基于一些罕见的粒子，如 Erzion [72]、NATTOH [73]、分数电荷粒子[74]、大质量负电荷粒子[75]、电子团簇[76]以及超重核 [54]。即使一些粒子在自然界中明显存在，也没有一种可以解释其如何引起实验观测产率的 LENR 中的全部行为。切记，产生 1 W 功率需要每秒产生 10^{12} 个氦原子，用奇异粒子来解释这些似乎任务太重了。

2.3.6. 隧穿或截面增强作用

当反应发生但所需能量远低于期望值时该过程称之为“隧穿”。当然，此概念假设该全额期望值在所用条件下精确已知。不用隧穿这种说法，超出预期的高反应率有时描述为截面增强的结果。无论哪种情况，预期的能量或截面需要明确，而不仅仅是为什么需要明显更少的能量。例如，LENR 在各种条件下的预期行为都是基于热聚变过程的模型。热聚变型反应率是施加能量的函数，据此计算势垒高度期望值。只有在相同的机理下，把这个势垒高度应用到 LENR 才是有效的，事实看来远非如此。此外，这些效应违反了要求 2—5。虽然 Fleischman 曾经偏爱该说法[78]，包括 Preparata [77]等早期理论家们也利用过这个不完全的描述和方法。仍有许多人还在提出相同的设想[79–84]。

所谓游动电子层理论认为具有不同功函数的两种材料间可成为屏蔽电子源[85–87]。设想这些电子可以降低库仑势垒并可解释 Miley 报道的嬗变现象[88,89]。不幸的是，该理论无视一定数量的质子如何进入样品中已有的原子核内而不放出很少检测到的放射性同位素。Miley 等试图通过创造另一个问题来避免该问题[90]。他们的机理涉及包含 H 和 D 的大团簇形成的超重核 $^{306}\text{X}_{126}$ ，这个结构然后经历各种裂变反应。他们还利用里德堡类过程[92]设想这个团簇以超高密度氢局域岛[91]的形式存在。但也没有解释为什么这么多氦会在晶格中自发形成违反热力学定律的团簇，以及为什么没有违反第 5 条要求。

2.3.7. 多体聚变和玻色-爱因斯坦凝聚的作用

高桥亮人等[93]最早提出多体聚变，他们在实验上从电解池中测到异常能量的同时还测到少量中子的异常能谱，他们据此能谱得出多体聚变的理论。此后用携能 D^+ 轰击

PdD 靶的结果与电解得到的中子能谱一致[94]，说明中子确实来自热聚变型反应，正如束靶方法的预期结果。另一方面，岩村康弘等人[95]的结果表明在没有外加能量时存在最多六个氘核同时进入核子的证据，进一步支持了多体反应模型。形成这种团簇[96]可以解决很多问题，最大问题就是可以解决聚变以后没有 γ 射线辐射的动量释放问题。在这种情况下，释放的核能可以在团簇内的几个 α 粒子和很多未反应的氘核间分配。但是，除非团簇大的不可想象，否则总能测到高能粒子发射[97]，事实上不是这样。多体聚变也明显违反要求 4 和 5。

金英一[98,99]把团簇形成称之为玻色-爱因斯坦凝聚（Bose-Einstein Condensate，简称为 BEC）[100,101]，这也许就是 NAE。他认为在小的 PdD 粒子表面可以形成这种类型的结构。因为键能太小以致该类结构在高温下无法存在，典型的 BEC 只能在绝对零度附近才能观测到。即使没有发生 LENR，在用于触发 LENR 的温度下形成 BEC 是令人惊奇的。但金英一认为在晶格中存在特殊条件允许 BEC 稳定存在。即使 BEC 可以引发聚变，如何解释能量释放到晶格中而不产生可检测的辐射仍需要很多假设，这也违反要求 5。

2.3.8. Rossi 和 Piantelli 的理论

Piantelli 等[102-112]在一系列文章中描述了深度处理后 Ni-Cr 和 Ni 管暴露在 H_2 中如何产生能量、辐射和嬗变产物。他们认为在 $350\text{ }^\circ\text{C}$ 以上高温时该过程是表面的 Ni 团簇与溶解在金属中的 H 离子相互作用使镍转化为铜。作者还为此反应提出一个机理。

Rossi [113]利用特别处理的镍粉提高了 Piantelli 等人得到的功率，并且也提出相同的能量来源机理。此外，Rossi [114]相信铜的放射性同位素释放出正电子，正电子湮灭后产生 511 keV 辐射，铅屏吸收这个辐射并加热了装置。但没有证据支持这个不可能的断言。相反，Piantelli 报道测得 744 keV 的 γ 辐射，这与正电子湮灭的说法不同。

Piantelli 或 Rossi 对过程的描述还算不上理论。他们提议的过程既与观测结果不符，也与上述要求矛盾。即使显著的库仑势垒可以克服，嬗变也不会是显著能量的来源。只要一个 Ni 核发生嬗变，只有另外的 H 或 D 加入固定靶核才可以持续产生能量。这样的过程最终将会产生放射性元素，但这并未测到。此外，每次嬗变释放的能量很小，要求大量的活性位点来产生高的反应率以符合测得能量¹⁶。解释如此多的活性位可以在普通材料中形成是一个巨大的挑战。但这两人都成功地创造出足够多的 NAE 位点且利用普通氢产生了显著的能量。

2.4. 探索 LENR 解释的过程

在前面几节中，我们讨论了一个理论必须满足的要求、需要解释的行为以及一些理论的缺点。现在的挑战是提出一个模型可以与这些要求和行为一致。

我们以一个合理的 NAE 的一般特征为探索的开始。目的是利用这些要求排除大多数环境并集中于少数几个。环境生存过程可以检测提出的机理中哪种联合可与大多数观测一致。其目的是利用尽可能少的假设。

不同作者共提出 4 种不同类别的 NAE。

- 一、原子和电子的普通排列产生的晶格结构，即体原子，包括非金属空位或金属子晶格。纯的或非纯的体 PdD 是这种环境的一个例子。这违反要求 1。

¹⁶ $^{62}\text{Ni} + p = ^{63}\text{Cu} + 5.6\text{ MeV}$ 。对于产生 1 kW 功率，反应率必须达到 10^{15} 次/s 或每天产生 8 mg 的铜。如果产生 10 kW 的功率，6 个月后要产生 15 g 铜，这意味着在宣称的 e-Cat 有效寿命内镍粉显著地且以不可能的比例发生嬗变。

- 二、目前不存在的新奇原子排列,如 BEC 结构、里德堡物质[115,116]、纳米结构[117–119]、钻石或沸石型分子[120,121]、裂缝[122–124]或碳纳米管[125]是这种条件的变种。此外,因为要求的催化剂单独出现,NAE 还可能在形成 Hydrinos [126]的地方。如果使用好几个合理的假设,不违反任何要求。
- 三、具有不同能量或电子浓度的两种材料间的界面,例如两种不同晶体材料相互接触的表面。这包括两个不同相的界面,如气\固界面或液\固界面。该条件违反要求 3。除非再作其它假设,否则还有可能违反要求 4 和 5。
- 四、材料的空隙,如结构中的裂缝、缺口、空隙[123,127–129]。碳纳米管或固体中的应力裂缝就是合理的例子。这种结构的维度和形状会决定它的行为。下文会说明这个条件不违反任何要求。

有人提出纳米尺寸维度的颗粒参与了 LENR,但在该讨论中没有把它作为独特的环境。这种纳米粒子,至少在尺寸上可用于 LENR,即仅仅因为它具有高的表面积而与普通材料不同,这会形成大的界面并可把它们划归到第三类 NAE 中。如果尺寸非常小(微米以下),它们将不会像普通材料那样,而应该归入到第二类 NAE。因为快速烧结的存在,当温度远高于 150 °C 以后纳米颗粒不会在材料中长期存在。

第四类 NAE 是最有希望的。大多数金属与氢作用时会使晶格膨胀而产生应力,应力还会释放,该过程可产生不同尺寸的裂缝。裂缝的数目受限于处理过程和材料本身,因此产生 NAE 数目存在自然上限。裂缝或空隙有潜力作为共振过程的位点而不受化学晶格性质的限制。因此,裂缝具有合适的形状和尺寸作为 LENR 发生的位点。虽然合适的裂缝可在所有材料中形成,但产生很少,浓度有限。时至今日,成功产生 LENR 还主要依靠运气和这类结构的随机形成,这可说明为什么重复性常常成为问题。

如果确定了貌似合理的 NAE,到底什么机理引发了核反应?为使探寻成功,我们必须在正确的逻辑顺序下遵循一系列模棱两可的线索。第一个线索是寻找氦及其形成过程。因为它明显与氦在材料上的相同区域形成且未产生可检测的热聚变核产物,可以设想氦与氦来自相同的机理和 NAE。缺少中子可以排除热聚变过程中的 D + D 直接聚变。还有哪些反应源?似乎 H 和 D 都存在时产生氦[130],但简单聚变会产生 ^3He ,正如许温格¹⁷在 1990 年最早提出的[131]。因为测到的 ^3He 只与氦衰变量相一致,所以可排除这个反应,这意味着氦在 ^3He 前形成。如果在 H + D 聚变反应中吸收一个电子则可形成氦,此后电子再通过正常的 β 衰变而离开。让我们看看这个过程是否有用。

表 1. 电子参与的氢同位素间核反应

$d + d + e = ^4\text{H} = ^4\text{He} + e$	$Q \leq 23.8 \text{ MeV}$
$d + p + e = T = ^3\text{He} + e$ (18.6 keV)	$Q \leq 4.9 \text{ MeV}$
$p + p + e = d$	$Q = 1.4 \text{ MeV}$
$d + t + e = ^5\text{H} = ^4\text{He} + n + e$	$Q \leq 18.1 \text{ MeV}$
$p + t + e = ^4\text{H} = ^4\text{He} + e$	$Q \leq 20.4 \text{ MeV}$

注: 计算 Q 时忽略了中微子作用

如果不涉及同位素仅考虑电子吸收是一个普适过程,那么可以给出表 1 所示的反应。在每种情况下,除了氦和氦,电子从核产物中弹射出去会很快以至于检测不到其半衰期¹⁸。此外,像氦一样,这类 β 射线的能量会很低以至难于检测。事实上,如果不是因为氦

¹⁷ 许温格 (Julian Schwinger, 1918-1994) 是 1965 年诺贝尔物理学奖得主,是冷聚变的坚决支持者和积极参与者。——译者注。

¹⁸ 此处意思是表 1 中诸反应的中间产物 T、 ^4H 、 ^5H 可作为过渡态,过渡态到最终态可视作衰变过程。

的缓慢衰变，这种在反应过程中添加一个电子的设想既无法直接观测也违反一般行为预期，所以人们肯定会忽略这种设想。接受了这个线索以后，才能设想更一般的聚变反应模式。此外，可以提出一个机理但它不会仅仅在聚变反应中加入电子，必须解释产生的能量是如何释放的。但首先需要处理的是与预期行为间的矛盾。

这种与传统理解的矛盾包括中微子的作用。把电子加入到核内会引起电子中微子的发射。就像在 β 衰变中发射电子同时发射一个反中微子一样，中微子带走大多数能量，这些能量永远不会以热的形式出现。如果该解释正确，表 1 所列反应根本不会产生计算所得能量，甚至连反应也不会出现。然而，与“普通”核反应不同，这里认为 LENR 过程是逐渐发生的，在电子被最终核吸收之前聚变释放了大多数能量，然后释放中微子。因此，中微子可带走的能量也许很少。无论如何，LENR 过程提供了测试中微子产生和发射的试验。换句话说，LENR 可以提供标准模型的测试，类似于加州理工用不同核反应做的测试¹⁹。此外，如果传统信条是对的， ^4H 衰变应该产生氦和中子[132]而非 ^4He 。问题是：“设想 LENR 产生的 ^4H 会如愿衰变抑或通过 β 衰变来衰变？”

在展开下一条线索之前，设想列于表 1 的反应发生了，让我们看看是否提议的过程有助于解释观察到的行为。首先，如果当氦产生时出现一些中子是讲得通的话²⁰。在氦聚集时， $t + d + e$ 聚变会出现并引起非常小的但变化的中子流，相应的 n/T 小于 10^{-6} 。Mosier-Boss 等用 CR-39 探测器给出支持这个反应的证据[133]，他们发现少量具有 $d + t$ 聚变能量期望值的中子²¹，可惜他们未测量氦浓度。其次，每个反应的能量期望值 (Q) 可用于解释其它行为²²。注意 $p + p + e$ 聚变反应释放能远小于 $d + d + e$ 反应的。因此，与用氘相比，前一个反应会需要更多的 NAE 位点以产生相同的功率，即 $d + d + e$ 聚变反应更容易测量。所以，在用氢作对比实验时测不到超热的原因仅仅是因为 NAE 位点太少，以至于很难测到 $p + p + e$ 反应热。事实上，F-P 宣称在对比实验中使用 H_2O 时获得的超热可以理解为在一些情况下存在足够多的 NAE 并产生了可观测的热量。因此，轻水明显的毒性仅仅是因为其功率远低于重水的，而不是因为完全终止了 LENR²³。最后，正如实验报道的，重水池中弱的 β 辐射可以偶尔产生低水平的韧致辐射[134]。

到底哪种机理和 NAE 与观测行为一致？热聚变过程和 μ 介子催化聚变都要求核足够靠近到强力作用范围。结果是能量突然释放自然引起高能粒子发射，这在 LENR 中不存在。因此，一定有不同机理在起作用。为了避免可观测发射，核反应能量释放过程可以包含很多原子的发射，这样每个原子只带走少部分能量。这个想法——也有他人提出——要求很多 ($> 10,000$) 原子的集合，在一个非常快过程中这些原子能够得到自己要求的份额。因此，正如前面总结的，这个方法似乎不可信。

本文提出氢弦中发生共振，弦由氢核和电子相互间隔组成。类似于激光中发生的，

——译者注。

¹⁹ 参：http://media.caltech.edu/press_releases/13520。

²⁰ 指实验上氦产生时仅有少量中子出现。——译者注

²¹ 指 14.1 MeV 中子，该能量中子可作为 $D + T$ 反应的特征标记。——译者注

²² 人们常常忽略加入或射出一个电子时形成中微子的效应。形成中微子会降低测得的能量，因为中微子带走的能量无法转化为可测热，虽然具体减额未知。氦衰变过程可用来估计中子分解时中微子带走的能量份额。基于质量变化估计的能量应该是 529 keV，而测得的 β 射线能量是 18.6 keV。这意味着只有 3.5%的预期能量在最后的衰变过程中可以复原，剩余部分让中微子带走了。无论如何，大多数所测能来自初始的最终核形成，而非随后的衰变。因此，表 1 所列数值在多数情况下是其上限。

²³ 这个说法值得商榷，如果该理论正确，则 Ni-D 系统的超热应该比 Ni-H 的高一个量级，实际并非如此，所以 H 与 D 间结果差别的原因可能更加复杂。当然也可能此处核机理正确，是化学原因限制了 Ni-D 的 LENR。——译者注

当共振发生时，辐射相干光子（X 射线）。在这种情况下，能量不是来自外源，而是来自氢核进入其它元素后的逐步转化，干预电子可以吸收入最终核内。因此，当两个核靠得足够近时质量转化为能量。明显地，核与干预电子的关系不是传统意义上的。这个非传统的关系受裂缝壁的限制，核过程出现在其中。Brian Scanlan 在以后的文章中将详细探讨该过程。

其它模型也能描述这个过程。Sinha 与 Meulenberg [135]提出一个结构，命名为 Lochon，可描述电子与氢核间的独特关系。Kim 与 Ward [136]提出 BEC 中氦核间的共振过程，BEC 在纳米 PdD 颗粒表面形成，该过程也可在裂缝或纳米管内起作用。Chubb [137]应用粒子向波转化的说法，即氦核波逐渐转化为氢波同时能量从波结构失去。明显地，在此阶段这个过程对好几个解释都是开放的。

哪种证据可用来表明裂缝确实存在？首先，材料内部形成的裂缝是否可用？众所周知 PdD 可以形成裂缝[138,139]。钛是另一种与氢作用容易形成裂缝的金属。当用钛作为阴极在重水中电解时，就有超热和嬗变的报道[140-144]。此外，当钛在氦气中高低温循环时测到中子发射[145-147]，进一步表明活性裂缝的形成，但不必然产生 LENR。镍暴露于氢气中不容易产生裂缝，但在氢中热与压力循环时[102,103]可望在表面产生裂缝。能通过电迁移作用而产生 LENR 的氧化物[148-150]都具有钙钛矿晶格结构。该结构容易在小的组分改变时扭曲变形进而引起局域裂缝。通过施加电压引起小的氢流让氢原子向这些位置移动可加速 LENR 过程。Patterson [151]和 Miley [92,152]先后把钯膜应用到各种材料上，发现与氢作用后破裂。Celani 等[153]也把这些可能含有裂缝的膜应用于丝上。在这种情况下，发现通过丝的电流通可以增强效应，可能是使氦核更容易进入裂缝。超声聚变[154]中气泡在靶金属上坍塌时也可能在金属内产生裂缝。此外，对于应力引起的裂缝，已知所有的材料都包含缺陷——除非采取措施消除它们。当存在大量的活性缺陷时可产生明显的功率。如果有足够多的氦离子并且可以精确测量，普通材料中的少量缺陷也可产生可观的、意外的 LENR。估计制造纳米管比较困难，但可能存在并且偶尔有活性。

还有一些偶尔观测到的行为也与裂缝作为 NAE 的推测相一致，这些结果进一步支持本文的设想。例如，把 X 射线底片放在活性电解池附近显示的 X 辐射只有很狭窄的束宽度[155,156]。气体放电也产生类似于激光的紧聚焦 X 射线束[157,158]。这样的行为要求定向辐射，而定向辐射要求定向的结构。作为传统经验的例子，类似于裂缝的小尺寸结构可观测到激光辐射[159]。测不到辐射的原因可能是多数 X 射线已让材料完全吸收了，或因为多数射线束偏离了探测器。当存在很多裂缝并且针对随机方向时会产生弥散辐射源。因此，激光类辐射很稀少且很难测到，只有把探测器放在合适的地方或辐射源都针对相同的方向才有可能，所以这种情况只能偶尔发生。

岩村康弘等人[160]的研究提供了一个检验裂缝在嬗变中作用的机会。正如在前面解释过的，他们在 Pd 上沉积了 40 nm 厚的 CaO/Pd 多层膜，此后把各种元素沉积在表面。当氦扩散通过该三明治结构时，沉积核素通过吸收多个氦核发生嬗变。令人惊奇的是，只有沉积元素经历了嬗变，而不是表面浓度大得多的钯元素。此外，CaO 层在该过程中起关键作用。如果在 CaO 与沉积靶元素间的钯薄膜内形成应力裂缝，也可解释这种行为。沉积材料填充了裂缝入口，从而密封裂缝并制造了氦核可以聚集和共振的空腔。估计这个共振过程可以释放能量并使氦核进入位于空腔末端的核——即沉积靶。根据该模型，只有在准确位置出现的核可以嬗变。Patterson [151]的结果提供了进一步支持，当他在塑料微球上镀 Pd 和 Ni 膜时产生很多裂缝。Miley [152,161]在这些膜上发现很多嬗变元素。很明显，因为在某些宽度会形成普通氢分子导致无法聚变，所以裂缝的宽度很重要。可以设想引发 LENR 的困难与在正确的维度上形成密堆积有很大关系，此后才有足

够的 D 和 H 离子作为聚变反应的燃料。自然地，这些要求会对条件和处理方法非常敏感，因此重复嬗变结果的困难也肇始于此。

在病毒与其它单细胞微生物中可能发生核反应的断言对任何解释都是一个挑战 [162]。很明显，在无机晶体中的化学环境和应用于晶格结构中的机理与生物细胞中的大不相同，也不能指望上述机理可以应用于后者。另一方面，可以设想复杂的蛋白质分子也会产生空腔，在其中的氢离子也会发生共振。这些设想当然没有证据，但总可以尝试。

没有单独的观测可以作为确切的证据。但对所有观测结果和模式的总分析引导我们得出貌似有理的结论——特定尺寸和形状的裂缝或纳米管就是 NAE，这与已有的材料知识不矛盾，允许貌似真实的机理工作，并导向可验证的预言，许多与我们已经观测到的行为一致。对于在裂缝内机理运作的清晰描述仍然是一个谜。当应用一个发现的机理时，后续的数学处理可用于支持该模型并产生另外的预言。

2.5. 可检测的预言

作为进一步研究的指导，该模型提出如下可检测的预言：

- (1) 裂缝产生 X 射线，裂缝内核的质量部分决定了 X 射线波长，裂缝轴向的反方向是其发射方向。该过程类似于激光，一些辐射似乎由韧致辐射引起。
- (2) NAE 内的 H/D 与氦产量密切相关。
- (3) NAE 内的 D/T 比与中子产生密切相关。
- (4) 普通氢产生能量，还先后产生氦、氘，然后是少量但不断增加的中子流。
- (5) 材料中有合适的 NAE 时，H 或 D 扩散通过材料并进入 NAE 中会引起可观测的 LENR。增加 D₂ 或 H₂ 气压具有相同的效应。
- (6) 激光照射相当于为共振过程注入能量，所以可增加 LENR 产率。提高温度具有相同效果，但不像激光那样有局域性且有降低 H 或 D 浓度的负效应。
- (7) 位于裂缝或纳米管末端的核偶尔会经历嬗变反应。
- (8) 使用氦的 LENR 反应率会逐渐降低，因为活性 NAE 位使不可移动的氦堵塞。当用氢时这个寿命问题变得不太显著，因为产生的 D 和 T 可以移动到 NAE 外或进入后续聚变过程中而不会堵塞位点。无论如何，D 浓度的增长会增加共振的活化能，降低反应率，产生束缚氦。
- (9) 纯 D 和纯 H 要求的聚变反应条件之间没有区别。但是，与 D 相比，H 需要更多的 NAE 位点以达到可检测能量。
- (10) NAE 中 H 和 D 的混合会使 LENR 更难开始（增加活化能），因为混合物由不同质量的核组成，破坏了共振。其后果就是反应“中毒”。在裂缝位置上加入激光能量可以降低破坏效应。
- (11) 一个可以产生显著功率的材料可以自加热并达到稳定的温度，其数值取决于氢在该温度到达 NAE 的效率。NAE 数量愈多，温度上限也愈高。
- (12) 只要形成 NAE，任何可催化氢分子分解为离子的金属或合金都可产生 LENR。

3. 总结

本文基于几个有限的假设建立一个模型并得出所有报道的观测结果。认为 LENR 过程不是发生在晶格结构中，相反，这些过程必须发生在一个新奇而罕见的结构中。对于 LENR 的反应而言该结构是通用的，而与反应物、核产物、所用方法无关。这个结构的一般名称是核活性环境 (NAE)，我们认为它的具体形式是传统材料应力释放形成的裂缝或缺口。

我们提出氢同位素的聚变反应出现在相同的 NAE 中。 $p + p + e$ 聚变生成氘， $d + p + e$ 聚变生成氚， $d + d + e$ 聚变再 β 衰变生成氦，相对速率由 NAE 中的氢同位素相对含量决定。当氘产生后，偶尔的 $t + d + e$ 聚变产生中子。材料中的活性位点数目、温度和/或施加能量、氢同位素浓度等因素决定每种反应的速率。通过氢核和参与电子的共振过程向周围环境释放能量，能量以类似于激光的 X 射线沿裂缝轴的反方向辐射。要求创造共振的条件迫使氢—电子排列在它们所在的结构内。这个结构由裂缝或纳米管构成，必须具有亚微米以下的临界尺寸。

这个模型是基于实验观察结果而非现代科学认可的物理或数学模型提出的。如果该设想行为的结果可能与传统科学的结论相矛盾，本文确认重要证据并试图解决该矛盾。如果正确，本模型为导致核过程的机理确立了边界，解释了为什么测不到高能粒子，并显示为什么这类反应并非如传统科学认为的不可能。如果提出的模型是对的，我们随后将会利用数学工具进行分析。

本文提出的模型可马上用来理解 Rossi 宣称的结果。他说用所谓 E-cat 的装置通过转化镍为铜而获得显著热量。正如在本文中讨论的，这种能源是不可能的。另一方面，基于 $p + e + p = d$ 反应的能源可能出现但不足以作为有用的能源，因为中微子辐射带走了大多数能量，这是标准模型所要求的。因此，仔细研究包括氘在内的产能反应是非常重要的，其意义不仅在于理解 LENR 也在于理解标准模型。

致谢

笔者在此感谢 Brian Scanlan，没有他的财政支持是不可能进行本分析的，还感谢他对电子与氢核在特殊环境下相互关联的洞察。通过对笔者想法的反复挑战，Abdul-Rahman Lomax 和 Bill Collis 使本文表达更易理解。Carol Storms²⁴和 Ruby Carat 发现一些常见的打印错误提供了很多有益的建议且使笔者把论点集中于正确方向。

参考文献

- [1] Fleischmann, M., S. Pons, and M. Hawkins, *Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium*. J. Electroanal. Chem. (1989) **261**: 301-308 and errata in (1989) **263**, 187-188.
- [2] Storms, E.K., *The science of low energy nuclear reaction*. 2007, Singapore: World Scientific.
- [3] Rothwell, J., *Cold fusion and the future*. 2007: www.LENR.org.
- [4] Sheldon, E., *An overview of almost 20 years' research on cold fusion*. Contemp. Phys., 2009. **49**(5): p. 375.
- [5] Krivit, S.B. and N. Winocur, *The rebirth of cold fusion; Real science, real hope, real energy*. 2004, Los Angeles, CA: Pacific Oaks Press.
- [6] Simon, B., *Undead science: Science studies and the afterlife of cold fusion*. 2002, New Brunswick, NJ: Rutgers University Press. 252.
- [7] Close, F., *Too hot to handle. The race for cold fusion*. second ed. 1992, New York: Penguin, paperback.
- [8] Mallove, E., *Fire from ice*. 1991, NY: John Wiley.
- [9] Peat, F.D., *Cold fusion: The making of a scientific controversy*. 1989, Chicago:

²⁴ Carol Storms 是作者的妻子，早期曾与作者一起参与冷聚变工作。——译者注

- Contemporary Books. 188.
- [10] Camp, W.J., *Helium detrapping and release from metal tritides*. J. Vac. Sci. Technol., 1977. **14**: 514-517.
- [11] Storms, E.K. and C. Talcott-Storms, *The effect of hydriding on the physical structure of palladium and on the release of contained tritium*. Fusion Technol., 1991. **20**: 246.
- [12] Dash, J., G. Noble, and D. Diman. *Changes in surface topography and microcomposition of a palladium cathode caused by electrolysis in acidified light water*. in *International Symposium on Cold Fusion and Advanced Energy Sources*. 1994. Belarusian State University, Minsk, Belarus: Fusion Information Center, Salt Lake City. p. 172.
- [13] Miguet, S. and J. Dash, *Microanalysis of palladium after electrolysis in heavy water*. J. New Energy, 1996. **1**(1): 23.
- [14] Storms, E., *Ways to initiate a nuclear reaction in solid environments*. Infinite Energy, 2002. **8**(45): 45.
- [15] McKubre, M.C.H., et al. *New hydrogen energy research at SRI*. in *Sixth International Conference on Cold Fusion*, in *Progress in New Hydrogen Energy*. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan. p. 75.
- [16] Storms, E.K., *The nature of the energy-active state in Pd-D*. Infinite Energy, 1995. **1**(#5 and #6): 77.
- [17] Tanzella, F.L., et al. *Parameters affecting the loading of hydrogen isotopes into palladium cathodes*. in *Sixth International Conference on Cold Fusion*, in *Progress in New Hydrogen Energy*. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan. p. 171.
- [18] Storms, E.K., *Relationship between open-circuit-voltage and heat production in a Pons-Fleischmann cell*. in *The Seventh International Conference on Cold Fusion*. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT. p. 356.
- [19] McKubre, M.C.H., et al. *Concerning reproducibility of excess power production*. in *5th International Conference on Cold Fusion*. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France. p. 17.
- [20] Sarto, F., et al. *The Role of Cathode's Surface Properties in the Electrochemical Deuterium Loading of Pd Foils*. in *15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2009. Rome, Italy: ENEA, Italy. pp. 148-153.
- [21] Castagna, E., et al. *Metallurgical characterization of Pd electrodes employed in calorimetric experiments under electrochemical deuterium loading*. in *14th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2008. Washington, DC: www.LENR.org. pp. 444-450.
- [22] Dardik, I., et al. *Report on electrolysis experiments at energetics technologies*. in *International Conference on Condensed Matter Nuclear Science, ICCF-13*. 2007. Sochi, Russia: Tsiolkovsky Moscow Technical University. p. 325.
- [23] Zhang, W.-S. and J. Dash. *Excess heat reproducibility and evidence of anomalous elements after electrolysis in Pd/D₂O + H₂SO₄ electrolytic cells*. in *International Conference on Condensed Matter Nuclear Science, ICCF-13*. 2007. Sochi, Russia:

- Tsiolkovsky Moscow Technical University. p. 202.
- [24] Chicea, D. *Comment on carbon production In deuterium-metal systems.* in *Tenth International Conference on Cold Fusion*. 2003. Cambridge, MA: World Scientific Publishing Co. p. 475.
- [25] Chen, S.-K., et al., *The microstructure of electrolytically deuterium-loaded palladium rods.* *Fusion Technol.*, 1996. **29**: 302.
- [26] Szpak, S., P.A. Mosier-Boss, and F. Gordon. *Precursors and the fusion reactions in polarized Pd/D-D₂O systems: Effect of an external electric field.* in *11th International Conference on Cold Fusion*. 2004. Marseilles, France: World Scientific Co. p. 359.
- [27] Szpak, S., P.A. Mosier-Boss, and J.J. Smith, *Deuterium uptake during Pd-D codeposition.* *J. Electroanal. Chem.*, 1994. **379**: 121.
- [28] Mosier-Boss, P.A., et al., *Review of Twenty Years of LENR Research Using Pd/D Co-deposition.* *J. Cond. Matter Nucl. Sci.*, 2011. **4**: 173-187.
- [29] Sankaranarayanan, T.K., et al. *Evidence for tritium generation in self-heated nickel wires subjected to hydrogen gas absorption/desorption cycles.* in *5th International Conference on Cold Fusion*. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France. p. 173.
- [30] Rout, R.K., et al., *Copious low energy emissions from palladium loaded with hydrogen or deuterium.* *Indian J. Technol.*, 1991. **29**: 571.
- [31] Savvatimova, I.B. and A.B. Karabut, *Radioactivity of palladium cathodes after irradiation in a glow discharge.* *Poverkhnost (Surface)*, 1996 (1): 76 (in Russian).
- [32] Arata, Y. and Y.C. Zhang, *Helium (⁴He, ³He) within deuterated Pd-black.* *Proc. Jpn. Acad., Ser. B*, 1997. **73**: 1.
- [33] Case, L.C. *Catalytic fusion of deuterium into helium-4.* in *The Seventh International Conference on Cold Fusion*. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT. p. 48.
- [34] Kidwell, D.A., et al. *Yes, Virginia there is Heat, but It is Likely of Chemical Origin.* in *15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2009. Rome, Italy: ENEA, Italy. pp. 100-109.
- [35] Arata, Y. and Y.C. Zhang. *Picnonuclear fusion generated in "lattice-reactor" of metallic deuterium lattice within metal atom-clusters. II Nuclear fusion reacted inside a metal by intense sonoimplantation effect.* in *The 9th International Conference on Cold Fusion, Condensed Matter Nuclear Science*. 2002. Tsinghua Univ., Beijing, China: Tsinghua Univ. Press. p. 5.
- [36] Arata, Y., Y.C. Zhang, and X.F. Wang. *Production of Helium and Energy in the "Solid Fusion"*. in *15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2009. Rome, Italy: ENEA, Italy. pp. 72-81.
- [37] Yamaura, S., et al. *Hydrogen absorption of nanoscale Pd particles embedded in ZrO₂ matrix prepared from Zr-Pd amorphous alloys.* in *14th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2008. Washington, DC: www.LENR.org. p. (查不到这篇文献，类似的有：Yamamura S., Sasamori K., Kimura H., Zhang Y-C and Arata Y. *Hydrogen absorption of nanoscale Pd nanoparticles embedded in ZrO₂ matrix prepared from Zr-Pd amorphous alloys.* *Journal of Material Research*, 2002; **17**:1329-1334.——译者注)

- [38] Takahashi, A., et al. *Anomalous Heat Generation in Charging of Pd Powders with High Density Hydrogen Isotopes, (II) Discussions on Experimental Results and Underlying Physics*. in *15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2009. Rome, Italy: ENEA, Italy. pp. 297-302.
- [39] Iwamura, Y., et al., *Detection of anomalous elements, X-ray and excess heat induced by continuous diffusion of deuterium through multi-layer cathode (Pd/CaO/Pd)*. Infinite Energy, 1998. **4**(20): 56.
- [40] Liu, B., et al. "Excess heat" in a gas-loaded D/Pd system with pumping inside palladium tube. in *8th International Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium Loaded Metals*. 2007. Catania, Sicily, Italy: The International Society for Condensed Matter Science. p. 204.
- [41] Biberian, J.-P. and N. Armanet. *Excess heat production during diffusion of deuterium through palladium tubes*. in *8th International Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium Loaded Metals*. 2007. Catania, Sicily, Italy: The International Society for Condensed Matter Science. p. 19.
- [42] Preparata, G. *Fractofusion revisited*. in *Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems, "AIP Conference Proceedings 228"*. 1990. Brigham Young Univ., Provo, UT: American Institute of Physics, New York. p. 840.
- [43] Lipson, A.G., V.A. Kuznetsov, and B.V. Deryagin, *Scenarios of 'cold nuclear fusion' by concentration of elastic energy in crystals*. Dokl. Akad. Nauk SSSR Fiz. Khim., 1991. **318**(3): 636 (in Russian).
- [44] Yasui, K., *Fractofusion mechanism*. Fusion Technol., 1992. **22**: 400.
- [45] Jabon, V.D.D., G.V. Fedorovich, and N.V. Samsonenko, *Catalytically induced d-d fusion in ferroelectrics*. Braz. J. Phys., 1997. **27**: 515.
- [46] Czerski, K., et al., *The $^2\text{H}(d,p)^3\text{H}$ reaction in metallic media at very low energies*. Europhys. Lett., 2004. **68**: 363.
- [47] Kasagi, J. *Screening potential for nuclear reactions in condensed matter*. in *14th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2008. Washington, DC: www.LENR.org. pp. 318-325.
- [48] Kitamura, A., et al. *D(d,p)t reaction rate enhancement in a mixed layer of Au and Pd*. in *Tenth International Conference on Cold Fusion*. 2003. Cambridge, MA: World Scientific Publishing Co. p. 623.
- [49] Hagelstein, P.I. and I. Chaudhary. *Arguments for dideuterium near monovacancies in PdD*. in *15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2009. Rome, Italy: ENEA, Italy. pp. 282-287.
- [50] Flanagan, T.B., et al., *The effect of lattice defects on hydrogen solubility in palladium, I. Experimentally observed solubility enhancements and thermodynamics of absorption*. J. Less-Common Met., 1979. **49**: 13.
- [51] McKubre, M.C. and F. Tanzella. *Using resistivity to measure H/Pd and D/Pd loading: Method and significance*. in *Condensed Matter Nuclear Science, ICCF-12*. 2005. Yokohama, Japan: World Scientific. p. 392.
- [52] Norlander, P., et al., *Multiple deuterium occupancy of vacancies in Pd and related metals*. Phys. Rev. B, 1989. **40**: p. 1990. (最近结果可参: Hayward, E., B. Beeler & C. Deo, *Multiple hydrogen trapping at monovacancies*, Philosophical Magazine Letters,

2012. **92**(5): 217-225.——译者注)
- [53] Kozima, H. and S. Watanabe. *Nuclear processes in trapped neutron catalyzed model for cold fusion*. in *5th International Conference on Cold Fusion*. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France. p. 347.
- [54] Fisher, J.C., *Polyneutrons as agents for cold nuclear reactions*. *Fusion Technol.*, 1992. **22**: 511.
- [55] Oriani, R.A., *Anomalous heavy atomic masses produced by electrolysis*. *Fusion Technol.*, 1998. **34**: 76.
- [56] Widom, A. and L. Larsen, *Ultra low momentum neutron catalyzed nuclear reactions on metallic hydride surfaces*. *Eur. Phys. J.*, 2006. **C46**: 107.
- [57] Daddi, L., *Proton-electron reactions as precursors of anomalous nuclear events*. *Fusion Technol.*, 2001. **39**: 249.
- [58] Chatterjee, L., *Electrolysis in thin-film nickel coatings: mimicking supernova physics?* *Fusion Technol.*, 1998. **34**: 147.
- [59] Das, D. and M.K.S. Ray, *Fusion in condensed matter -a likely scenario*. *Fusion Technol.*, 1993. **24**:115.
- [60] Moon, D., *Review of a cold fusion theory: Mechanisms of a disobedient science*. *Infinite Energy*, 1999. **5**(28): 33.
- [61] Phipps Jr., T.E., *Neutron formation by electron penetration of the nucleus*. *Infinite Energy*, 1999. **5**(26): 58.
- [62] Conte, E. and M. Pieralice, *An experiment indicates the nuclear fusion of a proton and electron into a neutron*. *Infinite Energy*, 1999. **4**(23): 67.
- [63] Mills, R.L. and W.R. Good, *Fractional quantum energy levels of hydrogen*. *Fusion Technol.*, 1995. **28**: 1697.
- [64] Dufour, J., et al. *The Hydrex concept-effect on heavy nuclei*. in *8th International Conference on Cold Fusion*. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy. p. 431.
- [65] Dufour, J.J., J.H. Foos, and X.J.C. Dufour, *Formation and properties of hydrex and deutex*. *Infinite Energy*, 1998. **4**(20): 53.
- [66] Liu, F.S., *The phonon mechanism of the cold fusion*. *Mod. Phys. Lett. B*, 1996. **10**: p. 1129.
- [67] Hagelstein, P.L. *Phonon-exchange models: Some new results*. in *11th International Conference on Cold Fusion*. 2004. Marseilles, France: World Scientific Co. p. 743.
- [68] Violante, V. and A. De Ninno. *Quantum mechanical description of a lattice ion trap*. in *6th International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy*. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan. p. 221.
- [69] Kalman, P. and T. Keszthelyi, *Attractive d-d interaction via phonon exchange in deuterated Pd*. *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B*, 2005. **240**: 781-789.
- [70] Kucherov, Y. *Slow nuclear excitation model*. in *6th International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy*. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan. p. 502.
- [71] Chubb, S.R. and T.A. Chubb. *Theoretical framework for anomalous heat and 4He in*

- transition metal systems.* in *8th International Conference on Cold Fusion*. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy. p. 385.
- [72] Bazhutov, Y.N. *Erzion discovery in cosmic rays and its possible great role in nature in framework of Erzion model of cold nuclear transmutation.* in *8th International Conference on Cold Fusion*. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy. p. 269.
- [73] Matsumoto, T., 'Nattoh' model for cold fusion. *Fusion Technol.*, 1989. **16**: 532.
- [74] McKibben, J.L., *Evidence for three primordially created particles and can one of them catalyze cold fusion?* 1989.
- [75] Rafelski, J., et al., *Nuclear reactions catalyzed by a massive negatively charged particle. How Cold Fusion Can Be Catalyzed.* *Fusion Technol.*, 1990. **18**: 136.
- [76] Shoulders, K., *Projectiles from the dark side.* *Infinite Energy*, 2006. **12**(70): 39-40.
- [77] Preparata, G. *Theoretical ideas on cold fusion.* in *The First Annual Conference on Cold Fusion*. 1990. University of Utah Research Park, Salt Lake City, Utah: National Cold Fusion Institute. p. 91.
- [78] Fleischmann, M., S. Pons, and G. Preparata, *Possible theories of cold fusion.* *Nuovo Cimento*, 1994. **107A**(1): 143-156.
- [79] Capek, V., *Tunnelling efficiency and the problem of cold fusion.* *Czech. J. Phys.*, 1989. **B39**: 793.
- [80] Turner, L., *Thoughts unbottled by cold fusion.* *Phys. Today*, 1989. Sept.: 140.
- [81] Parmenter, R.H., *A possible scenario for the onset of cold fusion in deuterated metals.* *Infinite Energy*, 1998. **4**(21): 41.
- [82] Fulvio, F. *Theoretical comparison between semi-classic and quantum tunneling effect any application coherence theory on the tumor.* in *Condensed Matter Nuclear Science, ICCF-12*. 2005. Yokohama, Japan: World Scientific. p. 494.
- [83] Feng, S., *Enhancement of cold fusion rate by electron polarization in palladium deuterium solid.* *Solid State Commun.*, 1989. **72**: 205.
- [84] Li, X.Z., C.X. Li, and H.F. Huang, *Maximum value of the resonant tunneling current through the Coulomb barrier.* *Fusion Technol.*, 1999. **36**: 324.
- [85] Hora, H., G. Miley, and J. Kelly, *Low-energy nuclear reactions of protons in host metals at picometer distance.* *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 2000. **83**: 357.
- [86] Hora, H., et al., *Proton-metal reactions in thin films with Boltzmann distribution similar to nuclear astrophysics.* *Fusion Technol.*, 1999. **36**: 331.
- [87] Hora, H., et al. *Shrinking of hydrogen atoms in host metals by dielectric effects and Inglis-Teller depression of ionization potentials.* in *The 9th International Conference on Cold Fusion, Condensed Matter Nuclear Science*. 2002. Tsinghua Univ., Beijing, China: Tsinghua Univ. Press. p. 135.
- [88] Miley, G.H., H. Hora, and X. Yang, *Condensed Matter "Cluster" Reactions in LENRs.* in *ICCF-14 International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2008. Washington, DC. pp. 451-457 or : <http://lenr-canr.org/acrobat/MileyGHcondensedm.pdf>.
- [89] Miley, G.H. *Emerging physics for a breakthrough thin-film electrolytic power unit.* in *Space Technol. Applic. Int. Forum*. 1999. 1227.
- [90] Miley, G., et al. *Cluster reactions in low energy nuclear reactions (LENR).* in *8th*

- International Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium Loaded Metals*. 2007. Catania, Sicily, Italy: The International Society for Condensed Matter Science. pp. 235-251.
- [91] Badiei, S., P.U. Andersson, and L. Holmlid, *Laser-induced variable pulse-power TOF-MS and neutral time-of-flight studies of ultradense deuterium*. Phys. Scr., 2010. **81**(4): 045601.
- [92] Miley, G., X.Yang, and H. Hora, *Ultra-High Density Deuteron-cluster Electrode for Low-energy Nuclear Reactions*. J. Cond. Matter Nucl. Sci., 2011. **4**: 256-268.
- [93] Takahashi, A., et al., *Emission of 2.45 MeV and higher energy neutrons from D₂O-Pd cell under biased-pulse electrolysis*. J. Nucl. Sci. Technol., 1990. **27**: 663.
- [94] Isobe, Y., et al. *Search for coherent deuteron fusion by beam and electrolysis experiments*. in *8th International Conference on Cold Fusion*. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy. pp. 17-22.
- [95] Iwamura, Y., et al., *Observation of Low Energy Nuclear Transmutation Reactions Induced by Deuterium Permeation through Multilayer Pd and CaO thin Film*. J. Cond. Matter Nucl. Sci., 2011. **4**: 132-144.
- [96] Takahashi, A. *Tetrahedral and octahedral resonance fusion under transient condensation of deuterons at lattice focal points*. in *ICCF9, 9th International Conference on Cold Fusion*. 2002. Beijing, China: Tsinghua University: Tsinghua Univ., China. p. 343.
- [97] Hagelstein, P.I., *On the connection between Ka X-rays and energetic alpha particles in Fleischmann–Pons experiments*. J. Cond. Matter Nucl. Sci., 2010. **3**: 50-58.
- [98] Kim, Y.E. *Bose-Einstein Condensation Nuclear Fusion: Theoretical Predictions and Experimental Tests*. in *15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2009. Rome, Italy: ENEA, Italy. pp. 288-296.
- [99] Kim, Y.E., *Bose–Einstein Condensate Theory of Deuteron Fusion in Metal*. J. Cond. Matter Nucl. Sci., 2011. **4**: 188-201.
- [100] Cornell, E.A. and C.E. Wieman, *The Bose-Einstein Condensate*. Sci. Am., 1998. **278**(3): 40-45.
- [101] Zwierlein, M.W., et al., *Observation of Bose–Einstein Condensation of Molecules*. Phys. Rev. Lett., 2003. **91**: 250401.
- [102] Piantelli, F., *Energy generation and generator by means of anharmonic stimulated fusion*. 2010: World Property Organization.
- [103] Campari, E.G., et al. *Nuclear reactions in Ni-H systems*. in *6th International Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium Loaded Metals*. 2005. Siena, Italy.
- [104] Campari, E.G., et al. *Surface analysis of hydrogen-loaded nickel alloys*. in *11th International Conference on Cold Fusion*. 2004. Marseilles, France: World Scientific Co. p. 414.
- [105] Campari, E.G., et al. *Photon and particle emission, heat production and surface transformation in Ni-H system*. in *11th International Conference on Cold Fusion*. 2004. Marseilles, France: World Scientific Co. p. 405.
- [106] Focardi, S., et al. *Evidence of electromagnetic radiation from Ni-H systems*. in *11th International Conference on Cold Fusion*. 2004. Marseilles, France: World Scientific Co. p. 70.

- [107] Campari, E.G., et al. *Overview of H-Ni systems: Old experiments and new setup*. in *5th Asti Workshop on Anomalies in Hydrogen / Deuterium loaded Metals*. 2004. Asti, Italy.
- [108] Campari, E.G., et al. *Ni-H systems*. in *8th International Conference on Cold Fusion*. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy. p. 69.
- [109] Battaglia, A., et al., *Neutron emission in Ni-H systems*. *Nuovo Cimento*, 1999. **112 A**: 921.
- [110] Focardi, S., et al., *Large excess heat production in Ni-H systems*. *Nuovo Cimento*, 1998. **111A**(11): 1233.
- [111] Focardi, S., et al. *On the Ni-H system*. in *Asti Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium Loaded Metals*. 1997. Villa Riccardi, Italy: Societa Italiana Di Fisica. p. 35.
- [112] Focardi, S., R. Habel, and F. Piantelli, *Anomalous heat production in Ni-H systems*. *Nuovo Cimento*, 1994. **107A**: 163.
- [113] Rossi, A., *Journal of Nuclear Physics*. 2012, <http://www.journal-of-nuclear-physics.com/>.
- [114] Rossi, A., *Method and apparatus for carrying out nickel and hydrogen exothermal reaction*. 2011: USA.
- [115] Badiei, S., P.U. Andersson, and L. Holmlid, *Fusion reactions in high-density hydrogen: A fast route to small-scale fusion?* *Int. J. Hydrogen Energy*, 2009. **34**(1): 487.
- [116] Badiei, S., P.U. Andersson, and L. Holmlid, *Production of ultradense deuterium: A compact future fusion fuel*. *Appl. Phys. Lett.*, 2010. **96**: 124103.
- [117] Arachi, Y., et al., *Structural analysis of nano-sized-Pd/ZrO₂ composite after H(D) absorption*. *Solid State Ionics*, 2006. **177**: 1861.
- [118] Takahashi, A., et al. *Deuterium Gas Charging Experiments with Pd Powders for Excess Heat Evolution (II). Discussions on Experimental Results and Underlying Physics*. in *The 9th Meeting of Japan CF-Research Society*. 2009. Shizuoka, Japan: www.lenr.org. p. 29.
- [119] Celani, F., et al. *High temperature deuterium absorption in palladium nano-particles*. in *International Conference on Con-densed Matter Nuclear Science, ICCF-13*. 2007. Sochi, Russia: Tsiolkovsky Moscow Technical University. p. 181.
- [120] Mansoori, G.A., P.L. Barros de Araujo, and E. Silvano de Araujo, *Diamondoid molecules*. 2012: World Scientific, Imperial College Press.
- [121] Dmitriyeva, O., et al. *Deuterium & hydrogen loading into nano-Pd on zeolite and alumina matrices at low pressures*. in *ICCF-16*. 2011. Chennai, India.
- [122] Frisone, F., *Theoretical model of the probability of fusion between deuterons within deformed crystalline lattices with micro-cracks at room temperature*. *Fusion Sci. & Technol.*, 2001. **40**: 139.
- [123] McIntyre, R. *Proposal for an experiment designed to seek evidence for cold fusion*. in *Tenth International Conference on Cold Fusion*. 2003. Cambridge, MA: World Scientific Publishing Co. p. 611.
- [124] Liaw, B.Y., et al., *Elevated-temperature excess heat production in a Pd + D system*. *J. Electroanal. Chem.*, 1991. **319**: 161.
- [125] Harris, P.J.F., *Carbon nanotube science*. 2009, New York: Cambridge Univ. Press.

- 301.
- [126] Mills, R., *The grand unified theory of classical quantum mechanics*. 2006, Ephrata, PA: Cadmus Professional Communications. 1450.
- [127] Frisone, F. *Probability of deuteron plasmon fusion at room temperature within microcracks of crystalline lattices with deuterium loading*. in *8th International Conference on Cold Fusion*. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy. p. 443.
- [128] Bockris, J.O.M. and P.K. Subramanyan, *The equivalent pressure of molecular hydrogen in cavities within metals in terms of the overpotential developed during the evolution of hydrogen*. *Electrochim. Acta*, 1971. **16**: 2169.
- [129] Vigier, J.P. *New hydrogen energies in specially structured dense media: capillary chemistry and capillary fusion*. in *Third International Conference on Cold Fusion, Frontiers of Cold Fusion*. 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan. p. 325.
- [130] Chien, C.-C., et al., *On an electrode producing massive quantities of tritium and helium*. *J. Electroanal. Chem.*, 1992. **338**: 189-212.
- [131] Schwinger, J., *Cold fusion: a hypothesis*. *Z. Naturforsch.*, 1990. **45A**: 756.
- [132] Fiarman, S. and W.E. Meyerhof, *Energy levels of light nuclei $A=4$* . *Nucl. Phys. A*, 1973. **206** (1): 1-64.
- [133] Mosier-Boss, P.A., et al., *Comparison of Pd/D co-deposition and DT neutron generated triple tracks observed in CR-39 detectors*. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2010. **51**(2): 20901.
- [134] Swartz, M.R. and G. Verner, *Bremsstrahlung in hot and cold fusion*. *J. New Energy*, 1999. **3**(4): 90-101.
- [135] Sinha, K.P. and A. Meulenber, *Lochon-mediated low-energy nuclear reactions*. *J. Cond. Matter Nucl. Sci.*, 2012. **6**: 55-63.
- [136] Kim, Y.E. and T.E. Ward, *Bose–Einstein condensation nuclear fusion: Role of monopole transition*. *J. Cond. Matter Nucl. Sci.*, 2012. **6**: 101-107.
- [137] Chubb, S.R., *Resonant electromagnetic interaction in low-energy nuclear reactions*, in *ACS Symposium Series 998, Low-Energy Nuclear Reactions Sourcebook*, J. Marwan and S.B. Krivit, Editors. 2008, American Chemical Society: Washington, DC. p. 99.
- [138] Storms, E.K., *A study of those properties of palladium that influence excess energy production by the Pons-Fleischmann effect*. *Infinite Energy*, 1996. **2**(8): 50.
- [139] Bockris, J.O.M., D. Hodko, and Z. Minevski, *Fugacity of hydrogen isotopes in metals: degradation, cracking and cold fusion*. *Proc. Electrochem. Soc*, 1992. **1992**: 92.
- [140] Kopecek, R. and J. Dash, *Excess heat and unexpected elements from electrolysis of heavy water with titanium cathodes*. *J. New Energy*, 1996. **1**(3): 46.
- [141] Klopfenstein, M.F. and J. Dash. *Thermal imaging during electrolysis of heavy water with a Ti cathode*. in *The Seventh International Conference on Cold Fusion*. 1998. Vancouver, Canada: ENECO Inc. p. 98.
- [142] Dash, J. and Q. Wang. *Anomalous Silver on the Cathode Surface after Aqueous Electrolysis*. in *15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2009. Rome, Italy: ENEA, Italy. pp. 38-41.

- [143] Bashkirov, Y.A., et al., *Observation of neutron emission from electrolysis of heavy water*. Pis'ma Zh. Tekh. Fiz., 1990. **16**(19): 51 (in Russian).
- [144] Lipson, A.G., et al., *Reproducible neutron emission by the combined effect of cavitation and electrolysis at the surface of a titanium cathode in electrolyte based on heavy water*. Pis'ma Zh. Teor. Fiz., 1991. **17**(21): 33 (in Russian).
- [145] Izumida, T., et al., *A search for neutron emission from cold nuclear fusion in a titanium-deuterium system*. Fusion Technol., 1990. **18**: 641.
- [146] He, J.Y., et al. *Experimental study on anomalous neutron production in deuterium/solid system*. in *Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems, "AIP Conference Proceedings 228"*. 1990. Brigham Young Univ., Provo, UT: American Institute of Physics, New York. p. 193.
- [147] Bruschi, L., et al., *Search for neutron emission from a deuterium-titanium system*. Europhys. Lett., 1989. **10**(4): 303.
- [148] Mizuno, T., et al. *Anomalous heat evolution from SrCeO₃-type proton conductors during absorption/desorption in alternate electric field*. in *4th International Conference on Cold Fusion*. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304. p. 14.
- [149] Biberian, J.-P., et al. *Electrolysis of LaAlO₃ single crystals and ceramics in a deuterated atmosphere*. in *The Seventh International Conference on Cold Fusion*. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT. p. 27.
- [150] Oriani, R.A., *An investigation of anomalous thermal power generation from a proton-conducting oxide*. Fusion Technol., 1996. **30**: 281.
- [151] Patterson, J.A., *Method for electrolysis of water to form metal hydride*. 1994: US Patent # 5,318,675.
- [152] Miley, G.H., et al. *Quantitative observations of transmutation products occurring in thin-lm coated microspheres during electrolysis*. in *Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy*. 1996. LakeToya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan. p. 629.
- [153] Celani, F., et al., *Development of a high temperature hybrid CMNS reactor*. J. Cond. Matter Nucl. Sci., 2012. **6**: 24-33.
- [154] Stringham, R., *When bubble cavitation becomes sonofusion*. J. Cond. Matter Nucl. Sci., 2012. **6**: 1-12.
- [155] Szpak, S., P.A. Mosier-Boss, and J.J. Smith, *On the behavior of Pd deposited in the presence of evolving deuterium*. J. Electroanal. Chem., 1991. **302**: 255.
- [156] Gozzi, D., et al., *Erratum to "X-ray, heat excess and ⁴He in the D/Pd system"*. J. Electroanal. Chem., 1998. **452**: 251-271.
- [157] Karabut, A. *Research into powerful solid X-ray laser (wave length is 0.8-1.2 nm) with excitation of high current glow discharge ions*. in *11th International Conf. on Emerging Nuclear Energy Syst*. 2002. Albuquerque, NM. p. 374.
- [158] Karabut, A.B., E.A. Karabut, and P.I. Hagelstein, *Spectral and Temporal Characteristics of X-ray Emission from Metal Electrodes in a High-current Glow Discharge*. J. Cond. Matter Nucl. Sci., 2012. **6**: 217-240.
- [159] Khajavikhan, M. and Y. Fainman, *Thresholdless Nanoscale Coaxial Lasers*. Nature,

2012.

- [160] Iwamura, Y., M. Sakano, and T. Itoh, *Elemental analysis of Pd complexes: effects of D₂ gas permeation*. Jpn. J. Appl. Phys. A, 2002. **41**(7): 4642-4650.
- [161] Miley, G.H. and J.A. Patterson, *Nuclear transmutations in thin-film nickel coatings undergoing electrolysis*. J. New Energy, 1996. **1**(3): 5.
- [162] Biberian, J.-P., *Biological Transmutations: Historical Perspective*. J. Cond. Matter Nucl. Sci., 2012. **7**: 11-15.

译者后记

在冷聚变研究领域，Storms 是一位很重要的总结者，他写的综述文章深入浅出，既包含了最新的进展和思考，也容易为入门者所理解，所以他的观点有很大影响。译者在 1998 年翻译过他的综述《再看冷聚变》，近日在查阅文献时发现这篇综述，反复阅读，觉得值得翻译，适值长假得以完工。

Storms 在《再看冷聚变》中就已提出“核活性区”的概念，后来进一步把它拓展为“核活性环境”。虽然具体名称可能还会变化，但这些年确实有越得越多的证据表明冷聚变发生在近表面层的局域空间内，除了本文中提到的实验证据外，冷聚变领域中现在仍然存活（指有人坚持）或新提出的很多理论都与这个概念有或远或近的联系，如金英一的 BEC、George Miley 的 H/D 团簇、Edward Lewis 的 Plasmoids 等等。当然，作者的很多说法还可进一步讨论。作为一个研究领域的冷聚变是高度开放的，作者的讨论正是这种探索的可贵努力之一。

一般而言，大多数冷聚变实验工作者们关注于自己感兴趣系统的深入探索，理论工作者们关注于支持自己模型的实验结果，虽然也有其他圈内人写过各式综述或书籍，但很少有像 Storms 这样从唯象角度对冷聚变实验结果给与梳理，并对理论探索进行甄别的文章。译者以为这对实验和理论的开展都有重要意义。

与译文相比，原文更生动有趣得多。如 2.4 节最后一段地开头为“*No single observation provides a smoking gun.*”其中的 *smoking gun* 直译为“冒烟的枪”，为不引起误解，只能意译为“确切的证据”，这类处理令译文减色不少。其它如说到 NAE 或理论探索时原文常用“*identify*”，这个词常用意思为“识别”，用于此处指通过识别而确定，但为行文顺畅，只好翻译为“确定”，有点以辞害义式的省事。正如所有的译文一样，翻译的最大问题是寻找合适的汉语表达方式，使译文既符合汉语习惯，又不至于损害作者的原意，对此译者只能尽力而为。当然，因自己水平有限，虽经反复校阅，问题肯定仍很多，祈望读者能不吝批评指正。