

“冷聚变”研究现状

Present State in the Research of Cold Fusion

王 龙

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

提 要 “冷聚变”研究目前仍处于探索阶段。在实验上,发展了多种研究手段,目前集中于超热测量。实验的主要问题仍为重复性不好。在理论上,尚无可被广泛接受的物理模型,但一般认为,不属于传统的两体核聚变反应。本文对研究现状和有关的物理学问题及研究方法问题进行讨论和评述。

“冷聚变”一词对科学界并不陌生,因为这一课题的研究曾于1989年在全球掀起了一个空前的热潮,其影响远远超出了科学界。这一热潮大约持续了半年多的时间,以后逐渐沉寂下来。但国内外均有一部分人在坚持这一研究,在报纸上也偶尔可看到其取得进展的报道。事实上,从其问世的第一天就引起的争论至今尚未得到公认的结论。究竟应如何回顾这段历史?目前研究工作进展如何?应如何对待这项研究?对争论的一些问题今天应如何认识?对这些问题进行冷静的思考和有益的探索,不仅对“冷聚变”,而且在一般科学研究方法的层次上,都是极有意义的。

一、发展简史

先简单回顾一下“冷聚变”的历史。对于广大公众和大多数科学家来说,“冷聚变”的历史开始于1989年3月23日。在这一天美国犹他大学的电化学家庞斯和弗莱希曼在记者招待会上宣布“冷聚变”实验的成功,他们在用钨电极的电解重水的实验中观察到超热和核聚变反应产物,并认为这证实了在常温下也可产生有可观反应率的核聚变。

实际上,“冷聚变”作为一种科学思想起源很早。1926年,德国科学家潘尼茨和皮特就进行过类似实验,并发表了文章。当时尚未发现氘,他们用氢通过灼热的钨管观察到氦。但一年以后他们撤回了这一文章。1948年,著名的苏联物理学家萨哈罗夫提出 μ 子(以前称作 μ 介子)催化聚变的思想。1956年,伯克利的阿尔瓦兹首先观察到 μ 子催化冷聚变。

μ 子是一种质量为电子的200倍,寿命为 10^{-6} 秒的带电粒子,可用加速器产生。负的 μ 子可屏蔽氦核间的库仑位垒,使氦核能彼此接近而发生反应。后来实验证实,这种 μ 介子催化聚变不可能作为商业能源。

庞斯和弗莱希曼早在1984年就开始了他们的“冷聚变”实验。美国杨伯翰大学的琼斯也很早就开始了这方面的研究,并在某些场合发表过一些结果。但直到1989年3月他们的结果正式发表后,才引起普遍的关注。各国研究机构纷纷重复他们的实验,并制订有关的研究计划。

在庞斯等记者招待会后不到10天,日本和匈牙利的科学家就宣布他们在同样的实验中得到了肯定的结果。一个月以内,在美国的几个地方,以及苏联、印度、巴西的一些研究机构都发表了实验结果,分别声称测到 γ 射线、中子、氦、氢或超热。犹他大学分别从美国能源部和海军实验室得到32万和120万美元的支持,并于7月成立了国立冷聚变研究所。

“冷聚变”热潮席卷世界每一角落。科学家们紧张而热烈地工作,用各种手段打听消息又相互保密。犹他州制订了一项法律,凡泄露“冷聚变”机密者要罚款,并处以一年以下的监禁。澳大利亚则用钨铸造了一种硬币,上面镌刻着“纪念这种宝贵的钨金属用于核聚变实验”。有人开始杞人忧天,为“冷聚变”可能产生的氚污染担心。

举行记者会一个月以后,热度稍减。但验证“冷聚变”的报道仍继续从世界各地传来。4月28日,布鲁海文实验室经三周的实验观察后,首次发表了负结果。5月18日麻省理工学院的科学家指出了庞斯

等得到的 γ 谱中存在的问题。5月23~25日,洛斯阿拉莫斯实验室在圣塔费召集有500多人参加的会议,会上发表的大多数结果为负。1989年11月,美国能源部组织的一个专家小组发表了调查报告,认为尚无证据证实可从这种实验获得有用的能源。此后,在大多数国家里,对“冷聚变”的大规模投资遂告停止,但也尚有一些实验室继续这一研究。研究者每年召开一次国际性会议。

从1989年开始,我国就有一些研究机构进行了有关的实验或理论研究,并有一些结果报道。1989年以后,一些研究组坚持这项研究,并多次参加国际会议,有些研究成果得到重视。

二、主要进展

在这6年多的时间里,研究工作取得的进展可归纳于下:

1. 发展了新的实验手段

除去传统的电解重水实验外,还进行了电解熔盐的实验。在另一些类型的实验装置中也宣称观察到异常核现象。如意大利科学家把金属钯密封在高压氘气瓶中,将气瓶置于液氮中再取出升温,如此反复进行温度循环,可测到中子的产生。此法称为气相法。另一实验途径为不同形式的氘气中的气体放电,称为放电法。后来,实验方案更趋向简单,主要是金属钯如何尽量多地吸氘的问题。至于吸氘材料,除钯外,还广泛使用了钛、钼、钒、镍及一些化合物。此外,为了排除宇宙射线的干扰,一些实验在山洞或地下矿井中进行。

2. 对氢同位素在金属中的行为进行了深入的研究

探索了增加固体中氘与钯原子比例,以及在实验中测量这个比例的方法。一些实验显示,只有这一比例达到某一临界值(约0.86)时才可观察到“异常”现象。

3. 对测量方法和数据分析方法进行了改进

“冷聚变”创始者之一的琼斯把探测手段区分为粗糙的、较好的和技巧型的三类,指出只有第三类才能得出可靠的结果。还对研究方法也不断进行了总结和改进,如指出应注意相关测量。

在实验手段改进的基础上,仍有一些正结果报道。其中有影响者例如:就在美国能源部报告后一个月,1989年12月,日本名古屋大学宣称测到了超出本底2万倍的中子信号;同时大阪大学则宣布在40小时内得到每秒100万个中子。在日本电话电报公司所进行的实验中,在已吸氘的钯板表面镀金以防止氘的扩散逸出,然后加热,观察到氦4的产生。这种方法后被称为“三明治法”。1993年,俄罗斯科学家将钨酸钠晶体置于真空室内的阳极并加热,当

通过氘气时观察到中子和超热。1994年,意大利几位科学家用镍吸氢后得到50瓦的超热,并持续了24天。虽然他们认为是氢中自然混有的氘的作用,但在这工作之前,就曾报道过用轻水(即普通水, H_2O)观察到反常效应。例如,1991年,保加利亚科学家用镍电极在 K_2CO_3 的水溶液中电解时得到超热。

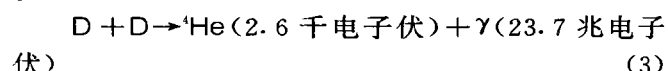
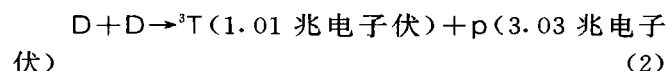
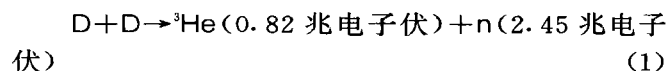
总的来说,有这样一种趋势,在研究初期,主要集中于放射性反应产物的探测,特别是中子,因为这种测量灵敏度高,能指示核反应的类型。但由于宇宙线干扰等问题,测量结果(特别是特征谱寻找的结果)并不理想,中子探测结果越来越少。在1993年底的第四届国际会议上,真正肯定的中子测量结果仅有一例。中子探测不尽如人意以后,又寄希望于氦的探测。弗莱希曼曾说:“1992年是质谱年”。在这方面,也有一些结果。但近年来,主要实验均集中于超热测量。几件有影响的结果均为超热。

另一方面,随着实验技术的进步,对以前宣布过的一些结果也进行了检验。例如,对庞斯、弗莱希曼第一次宣布的实验结果提出了反对意见。除前面所述的 γ 能谱中存在的问题外,还有人指出他们所宣布测到的氘仅为氘中本底的3.5倍。由于氘的质量较大,这一结果是电解富集产生的,并不反常。杨伯翰大学的汉森则仔细研究了庞斯等实验中的超热。他反复进行了同一实验,证明庞斯等的超热来自由于正负电极距离过近而产生的复合。

三、存在的主要问题

然而“冷聚变”遇到的最大挑战来自不存在可以解释这些现象的物理模型。在几年的时间里,这方面无显著的进展。

为了说明这个问题,首先把氘-氘聚合的主要反应式写在下面,其中括号内数字表示该粒子所携带能量:

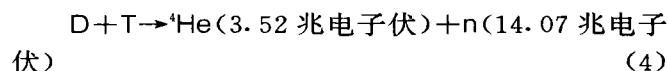


其中前两种反应的几率均为0.5,(3)式几率为 10^{-7} 。如果发生核反应,应能测出几种反应产物。庞斯和弗莱希曼1989年所宣布的,就是这样的几种反应。从那时到现在,又有一些实验室宣布探测到上述几种聚变产物。然而,在用已有知识解释实验结果方面存在巨大的困难。

首先是反应率。带正电荷的氘核间存在着库仑斥力,因而在常温下不能彼此接近,反应率极低。在

气态、液态氘的氘分子中,氘原子间距 0.74 埃,常温聚变率为 $10^{-6}/D-D \cdot \text{秒}$ 。这个反应率有多大,可以说得形象一点,如果有质量与太阳系一样大的一团氘气,则每秒可产生一次聚变反应,产生的聚变功率为 10^{-12} 瓦。如果氘溶于钚,则两钚原子核的间距增至 1.74 埃,即使按照有些人的计算可减小到 0.94 埃,聚变反应率也只能减小,不能增大。

另一困难是反应产生能量和反应产物之比以及反应产物之间的比例。假设由于还不知道的某种原因使氘核克服位垒,在常温下彼此接近而发生反应,那么应按反应式(1)~(3)所表示的比例探测到能量和反应产物。当然还应考虑到可能的二次反应。例如反应(2)产生的氚核可再与氘核作用而产生高能中子:



根据(1)~(3)式的比例,产生 1 瓦聚变功率应伴随着产生 10^{12} /秒的氦 3、氚、中子和质子,以及 10^7 /秒的氦 4 和 23.7 兆电子伏的 γ 射线。这样剂量的反应产物,特别是中子和 γ 射线,应是容易测量到的。历次宣布超热产生时,同时提到曾多次观察到中子产生,但观察到的剂量远比上述值要小,差几个数量级。即使不考虑超热,反应产物之间的比例也远远不符合上述反应。特别是,一直未观察到高能 γ 射线(23.7 兆电子伏)和中子(14.07 兆电子伏)。

还存在着第三个困难,就是从氢或轻水的试验中也观察到异常效应。在“冷聚变”研究初期,氢或轻水是作为参照物引进实验的。如果普通的水也产生异常,那么肯定不是(1)~(3)式所描述的实验。

在以上三个困难中,第一个仅与已知物理规律矛盾;第二个却自相矛盾,因此似更为根本。摆脱这一困境的方法是放弃(1)~(3)式。这样一来,第三个困难也可顺便解决。

摆脱(1)~(3)式的约束,第一步是不承认已知的分支比。譬如,若反应(2)所占比例不是 0.5,而是占绝大部分的话,那么在反应产物中就很少有中子了,与一些实验一致。上述反应(1)~(3)的几率已在高能区得到验证,在“冷聚变”的低能情况下或许不同。已有一些实验和理论工作朝这方向努力。但已知的分支比也是一些基本规律决定的。如前两反应的几率对应了核力与电荷无关,而第三个反应几率较小是由于电磁力较核力小得多。“分支比异常”目前尚无理论和实验依据。

走得更远的理论家则提出了其他一些反应式。已故的诺贝尔奖获得者施温格就是一个。施温格从一开始就比较相信“冷聚变”。他说:“冷聚变的环境不同于热聚变”,并认为是固体晶格的振动参与了核反应。一般认为,晶格振动是一种非局域化的模

式,且声子能量远远低于核反应涉及的能量。施温格则援引一种声致发光现象说明这不是不可想象的。声致发光是当气泡高速通过液体时,由于气泡内气体压缩而升温,在发出超声波的同时有蓝光产生。有人认为,声致发光可直接驱动“冷聚变”。施温格认为,这种现象说明,在存在非线性过程时,宏观运动物体的能量可转化为微观的能量激发。他因此建议如下的“冷聚变”反应:



这显然是一种只放能不产生中子的反应。

至于轻水反应,有人提出如下模型:



综上所述,随着实验的进展和理论上的考虑,“冷聚变”研究者中越来越多的人认为,所观察到的现象似乎不来自(1)~(3)式那样的反应。或许可以说,经过几年的努力,“冷聚变”的支持者与反对者在这一点上达到了共识,即不存在如(1)~(3)式那样的“冷聚变”。这也许是几年来对“冷聚变”认识的最大进展。

其实,达到这样的结论也不奇怪。美国能源部调查组两组长之一,诺贝尔奖获得者拉姆齐早就断言:“本报告所讨论的室温冷聚变类型与半世纪以来获得的对核反应的理解相矛盾,它要求发现全新的核过程”。他的话可谓点到了问题的实质。后来事态的发展只不过证实了他的话而已。“冷聚变”的反对者认为,拉姆齐的话只是委婉地否定了这件事。因为,无论是核物理还是钚中的氢,均经过了长期的仔细研究,全新的核反应是难以想象的。而已提出的理论模型,包括施温格的模型,离解释实验均有若干数量级的距离。支持者则致力于寻找新的类型的核反应,并举高温超导、太阳中微子等问题为例,说明目前我们的物理知识结构可能还有严重的缺陷。

四、对现状的估计

争论当然还会继续下去,但对“冷聚变”的进展似应有一个较客观的判断,以供公众及各方学者、专家参考。特别是,国内有一些同志提出,对于“冷聚变”,“现象已证实,机制待分析”,或者说“现象已经确立”。笔者认为,这种提法不符事实,不能作为决定对“冷聚变”政策的基础,主要原因是实验的重复性不好,谁也不能确切描述所说的“现象”是什么。

说一种现象被实验证实,它必须是可以重复的。也就是说,在同样的实验条件下,它是可以再现的(或许以一确定的几率)。所说的重复,是指不仅在发现者本人的实验室中,而且在任何具有同样条

件的实验室中。很可惜,“冷聚变”并非如此。“冷聚变”的重复性不好由来已久。在同样实验条件下,有些实验者观察到异常现象(正结果),另一些则无(负结果)。在正结果中,所测得的具体现象也极不一致,且本身重复性也不好。正负结果的出现几率也无规律,似与研究机构的权威性、实验设备的精密性无关。这就使一些原来在核物理研究上没有什么名气的学校(如美国德克萨斯农机大学)名扬一时。也有些人认为,这是落后国家赶超先进科学技术的一个机会。

有人用地震、闪电、气象、磁暴、宇宙线等研究为例,认为重复性不好是可以接受的。但这些现象的产生条件是无法人为控制的,不能与实验室中的研究相比。另一方面,这些领域中的规律,也是可以检验的。又有人主张,“冷聚变”的不重复性来源于实验条件的不可完全控制性,例如对材料的表面处理。这种情况当然是可能存在的。正因为如此,对“冷聚变”的实验目前不能完全否定。然而经数年的研究,在控制实验条件上尚无重大进展也是非常奇怪的事。一般来说,对一项重大科学发现,用数月时间就足以肯定或否定了。

有人统计过“冷聚变”实验正结果的几率:在1989年的最初几个月中的“成功率”为10%,到1993年上升为约35%,并说仍在“稳定增长”。这些数字大约没有什么问题,但不一定反映实质,因为一开始时正负结果均发表,而往后负结果就发表越来越少了。

既然正结果是“成功”,那么负结果自然是“失败”了。不少人认为,负结果是实验安排不当的结果。但这样一来,“冷聚变”就成为无从证伪的了。

负结果可能来自实验安排不当,正结果也一样。就拿庞斯等最初宣布的实验来说,这些实验结果也确为客观事实,但正如一些批评意见所说的,它赖以得到计算结果的基本假设根据不足,存在着忽略从两电极分解出的气体的复合,忽略从沸腾的液体中冒出的气体所带走的液滴等问题。

再看看“冷聚变”界的“自我感觉”如何。下面引两段话以说明一种可称之为“觉今是而昨非”的现象。

著名的琼斯在1993年末的第四届“冷聚变”国际会议上说:“我们发现,以这些技术型探测器的标准衡量,对于所有冷聚变实验,包括我们自己的在内,均无从氧化材料中产生中子、 γ 或X射线的权威证据。迄今为止,唯一肯定的冷核聚变形式是 μ 子催化聚变。”

意大利科学家弗卡第等在1994年的《新试验》杂志上说:“我们认为,迄今为止,在所有涉及这些(超热产生)的研究组中,没有一个得到存在可重复、可控制的超热产生的有力证据。”

如果这些来自“冷聚变”实验者的判断属实,那么作为一门科学的“冷聚变”的历史直到1993年尚未开始。在这种情况下,在1993年说“现象已证实”显然过早。至于1994年至今如何,可以等一段时间再作判断。从以上这两段话,我们也可认识到,很多权威杂志拒发“冷聚变”实验稿,是十分明智的了。

我们对“现象已证实,机制待分析”的判断持保留态度,还在于考虑到,如果真能理直气壮地宣布“现象已证实”,那么下一句就未必是“机制待分析”,而应为“马上见效益”了。正如庞斯在1989年所宣称的,他的电解池“不能满足家庭的用电需求,然而肯定可以提供全年的热水”。1992年,弗莱希曼则说,10~20千瓦的电站将在一年内运转。到了1993年底,谁也没有看到这样的电站,因为庞斯又把建“户内电站”的日程推至2000年以前。

五、“冷聚变”研究的意义

当然对“冷聚变”及有关现象进行研究也不是没有意义的。涉及“冷聚变”的许多现象,包括普遍的实验不重复性,确系物理学史上罕见而有趣的现象,应通过客观的实验研究找出原因所在。包括我国在内的许多研究者,正是本着这种态度参与这项研究的。

“冷聚变”涉及许多重要领域,对“冷聚变”的研究将会有助于在这些领域中取得新的知识。一些国家(如日本)投巨资于“冷聚变”或许出于这一考虑。这些领域可举出一些如:

1. 金属中的氢是一个极重要的研究领域。含氢的金属易脆(氢脆)。氢在一些金属如钯中的溶解度和扩散率极高,可用于纯化氢。一些金属和合金可作为储氢材料用于能源领域。在“冷聚变”研究中,发展了各种增加吸氢金属中氢浓度的方法,使氢与钯原子之比可超过1。也发展了多种测量这一比率的实验方法。有人说,在“冷聚变”热潮的几个月中,人们对金属中氢的行为的了解超过了过去100多年。

2. 有关固体表面界面问题。由于重复性不好,目前尚不清楚吸氢材料表面在反常现象中起的作用,但固体表面确实影响材料对氢同位素的吸收。一些人认为,表面过程有某种“混沌因子”造成了“冷聚变”实验的不重复性,另一较广泛接受的观点认为,固体微细裂缝造成电场的集中,因而发生“裂缝聚变”。

3. 作为广义的冷聚变,自从 μ 子催化概念出现以后,就作为一个科学问题提出了。一些人研究宇宙线中 μ 子参与固体内核反应的问题,包括一个 μ 子催化多次聚变和介子被固体吸收的可能性。

4. 直到现在,我们对宇宙间质量最多的物质存

在形态(即恒星内部的物质形态)一无所知,对距我们只有几千公里的地球内部物质的性质也知之不多。研究在这种物态下的核过程是有意义的。这个问题之提出是因为地球、木星等行星的热辐射及地层中的氦3含量与理论有一定差距。一些人用夏威夷的火山灰进行过“冷聚变”实验,并认为在地球及一些行星内部进行着类似的核反应。

国外科学界一些人认为,研究“冷聚变”是一个机会,它以很大的凝聚力把不同领域的研究人员集合在一起,彼此交流,共同研究。这种情况往往会得到意料不到的成果。

正是出于以上考虑,作为一个研究领域,“冷聚变”一词并不很确切,建议更换为“固体中的氢同位素的反常行为”或其他类似名词,似更科学、准确。

至于这项研究的前景,无非如下几种可能:

一是确实存在反常核过程,并释放出可观的能量,可用于能源。

二是确实存在反常核过程,释放出微量能量,不足以用于能源,但在物理学和地球物理学方面意义深远。

三是不存在任何反常核过程,但存在新的化学反应或物理过程,不能用于能源但可用于储能或其他方面。

四是不存在任何反常过程。

六、研究作风问题

必须指出,在“冷聚变”研究中确实存在着不良的作风。始作俑者当推庞斯和弗莱希曼。在1989年,当公布他们的研究结果之前,他们曾和琼斯达成同时发表的协议。但他们抢先召开了记者招待会,公布了结果,并在《电化学杂志》上发表了文章。一个多月以后,他们又在同一杂志上登载了一篇更正,改正了前文的15个错误,包括遗漏了该文的第三个作者——他们的学生浩庆斯。这说明,他们在发表这篇文章时,是多么草率,多么迫不及待,对读者多么不负责任!至于文章内容的问题,正如许多批评文章所指出的,难以设想他们作为电化学界的权威泰斗,经过数年的潜心研究,为什么计算模型

却如此粗糙,如此考虑不周。不管“冷聚变”今后命运如何,他们的这种不科学的作风是必须予以否定的。

当年,在他们的记者招待会刚开不久,《自然》杂志就批评了他们这种首先向新闻界发布研究结果的作法。现在看来,凡是不把自己的研究成果首先在科学界内部检验,而是企图绕过科学界,通过新闻传媒而一举成名者,十之八九要失败的,应引以为戒。

但绝大多数“冷聚变”研究者还是持旨在探索真理的科学态度来工作的。他们尊重事实,不持偏见,坚持真理,修正错误,对实验结果均作客观的报道,而不管其为正结果、负结果,或虽为正结果但重复性不好,这从历次国际学术会议就可看得出来。而持不同观点的人也能坦率地交换意见,进行讨论。如“冷聚变”的著名反对派、欧洲核子研究中心的莫里逊就出席了第四届“冷聚变”国际会议并作了报告,受到会议的欢迎。

总结以前的经验,除需要一定的支持外,只有采取一种科学态度才能推动这一课题的进展。

与此有关的另一问题是,此课题需要不同领域的研究者的合作。因为“冷聚变”涉及电化学、量热学、核物理、表面物理、凝聚态物理,以至地球化学、天体物理,以及多项工艺和技术。以前研究工作中产生的一些问题很可能是研究者缺乏本行以外的知识所致。

综上所述,“冷聚变”经数年研究,目前仍处于探索阶段,实验工作的主要问题仍是重复性不好,但仍为应受重视的课题。在科学方法研究的层次上,“冷聚变”也为重要案例。它涉及对过去100年来所取得的物理学知识和当前物理学框架的评价,以及是否又一次出现世纪末的物理学“乌云”问题。它涉及实验的重复性、可检验性、证伪原则,也涉及科研道德问题。应以理性的态度面对这些问题。在“冷聚变”研究初期,曾开展这种讨论,但不够深入。如仅仅根据“冷聚变”是全新的概念和核科学是“富矿区”就判断“冷聚变”将会有重大突破,这样的“科学学”研究未免太粗糙了。(责任编辑 冷远猷)

读者来信

一个新的冷核聚变实验设计方案

编辑部:

我的短文“不要轻易否定冷核聚变”在贵刊1990年第5期发表之后,美日从事冷核聚变的学者与我进行了一些交流。从固体物理上考虑,室温时金属中的原子是完全电离的,电子公有且能自由流动,好像是一种“电子气”,这种“电子气”对库伦势有屏蔽作用。据托马斯—费米分析, $\varphi(r)=q/r\text{EXP}(-Ksr)$, $1/Ks$ 是屏蔽长度,约等于

0.5埃,没有屏蔽时 $\varphi(r)=q/r$,下降较快。氢的同位素氘进入金属钯的晶格,经计算,即使完全饱和,室温时已完全电离成氘核和电子,也呈等离子状态。实验证明,氘核在晶格中是可动的。且随温度升高而加快。由于电子气屏蔽作用(可能还有介电常数影响),晶格中两个氘核在运动中碰撞机率加大,晶格中产生冷核聚变的机率也加

(下转第30页)