

# “冷聚变”浅说

李兴中

(科技日报 1990, 1, 12-2, 9, “科海览贝” 专栏 5 篇连载)

## 扑朔迷离的“冷聚变”现象

1989年12月初,中央人民广播电台关于中日学者合作在低温核聚变实验中,测到大量中子的报道,一下子又引起了许多关心此事的同志的询问——究竟是怎么回事?前一阵对冷聚变似乎已冷了下来,以为已经过去了。其实从1989年3月23日宣称犹他大学发现冷聚变现象以来,争论就没有停息,实验和理论工作也没有停息;只是在3月~6月的热潮之后,人们认识的深化,使得一些工作都是在悄悄地进行——进行更认真的研究。例如去年9月15~16日就在意大利的凡仑那举行了“理解冷聚变现象”的研讨会。该会由意大利物理学会发起,与会者主要从理论上探讨对冷聚变进行各种解释的可能性。该会的会议文集将发表在今年1月出版的著名期刊(Nuovo Cimento)(新试验)杂志上,去年10月16~18日在美国首都华盛顿举行了“充气金属中的反常效应”的讨论会,该会由美国国家自然科学基金会和电力研究所联合召开,庞斯和弗莱希曼出席了会议。近50名与会者中多数是相信冷聚变的,也有少数著名的持怀疑态度的学者,如加州理工学院的刘易斯(N. Lewis)和德州大学的巴特(A. Bard)。被美国称为“氢弹之父”的泰勒也出席了此会。纽约时报记者11月7日从盐湖城报道了庞斯和弗莱希曼两个月来埋头工作于新成立的国家冷聚变研究所,仍持乐观态度而回避记者;这次日本大阪大学中日学者合作研究的报道正是这一系列研究工作之一。从新闻报道中可看到,中国学者张月嫦和日本荒田吉明教授所采用的钨电极比较粗(直径2厘米),他们在重水电解实验中观测了钨电极内部温度,发现:随着温度升而复降,钨电极先是吸附重氢继而又放出重氢,并称之为“开合效应”。他们观察到的中子数最高时达每秒1亿个,为天然本底的250万倍,并连续40小时内出现大量中子。其实就在前不久,日本(朝日新闻)还报道了不用电解池,而用钨电极在真空中放电10分钟,再充气,然后测到中子发射的实验结果。日本名古屋大学讲师和田仲彦与助教西泽邦秀将两根3.5厘米长的钨丝,相距4厘米插入直径8厘米,容量为0.3升的烧瓶中,抽走空气,放电10分钟,然后充入一个大气压的氘,这样每隔一小时就能观测到比本底高几倍的中子发射,两天后再放电10分钟,结果可观测到比本底高2万倍的中子发射。且不问这些实验作何解释,作何结论。人们要问的是为什么世界上这么多学者会对此扑朔迷离的冷聚变现象发生如此浓厚的兴趣?

## 能源的危机与希望

英国人在苏伊士运河危机期间用马拉汽车的照片曾被人们用来形象地说明能源危机。今天人们已经可以从自己的生活中体会能源危机的含义。就在我们首都北京的1000条电力线路中,一度平均每天要拉闸限电1500次以上。由于停电限电,中国工农业总产值每年要损失2000亿元。再把眼光放远一些,下世纪中叶,我国人口至少15亿,如果按50年后中国能源消耗只是达到今日全世界的平均水平(人均三马力),则我国每年就需要能源50亿吨标准煤。这就是当前全世界一年的煤产量,比中国当前煤产量翻两番还要多。如果再考虑全世界发展中国

家在今后 50 年中能量的需求，而预计：全世界石油和天然气的蕴藏在今后 50 年要濒临枯竭，那就更会意识到一场严峻的能源危机就在前面。这就是为什么人们要不停地探索新能源的基本原因。而在种种可能的新能源中，聚变能源独受青睐。这是因为其资源就是遍及全球的海水。每立方公里海水中的重氢(氘)所释放的聚变能就相当于今日已知的全世界的石油总蕴藏量。而地球上约有 10 亿立方公里的海水！难怪人们要说：一旦聚变能得以受控释放，人类的能源问题就算是“一劳永逸”地解决了。这也就是面临能源危机的人类所看到的一个希望。其实：聚变能早已进入人类生活。因为地球上的植物和动物所赖以生存的阳光就是靠太阳内的聚变能才得以维持的。太阳就是一个巨大的聚变反应炉。在煤和石油中的化学能也正是当年储藏的来自太阳的聚变能。甚至今日我们所用的水电也是靠阳光搬运的水力。然而，当我们企图在地球上建起这样一个小太阳——受控的聚变反应炉时，事情就不是那么简单了。

### 遥遥在望的聚变能

聚变能是两个较轻的原子核聚合在一起变成一个较重的原子核时所放出的核能。早在人们发现重核裂变之前，科学家就已提出了太阳能量的来源是轻核聚变的理论，并在 1932 年发现了重氢。可是人工控制的核聚变却远远落在核裂变后面。1938 年才发现了核裂变，4 年之后就已建成了第一个裂变反应堆。可聚变呢，直到 1950 年才第一次出现了实现热核聚变的氢弹。从 1958 年起受控核聚变研究解密，全世界进行了 30 余年的努力，预言的受控核聚变装置却是迟迟不能实现。虽然乐观者普遍认为在 20 世纪末一定能实现点火，但是一般的估计都是到 21 世纪中叶，才可供工业应用。是什么原因使聚变能量如此难以释放呢？难就难在主要的聚变反应中反应物都是带正电荷的原子核。要它们发生聚变反应，首先必须要让它们靠拢到核力可以发生作用的距离，这大概是十万亿分之一厘米( $10^{-13}$  厘米)。然而，两个带正电荷的原子核，同性相斥。这个库仑斥力却是一个远距离就起作用的力，早在两核靠拢之前就已经把它们推开了。好比是两位挚友要握手言欢而中间却隔着一座库仑山，遥遥相对达 100 公里之远。如果原子核有足够的动能，是可以“越山而过”的。但这要原子核的动能高达几十万电子伏，通常以为电子伏是一个很小的能量，对应的温度不会很高。其实不然。太阳表面的温度那么高( $6000^{\circ}\text{C}$ )，但是太阳表面带电粒子的平均动能还不到一个电子伏。可以想象要在地球上造成一个环境，使其中带电粒子的平均动能达到几十万电子伏，并不是一件容易的事。好在微观世界之中除了“越山而过”，还有“穿山而过”这一招。打个比方说：声波遇到砖墙并不完全被挡住，而是可以“穿墙而过”。带电粒子的波动性表现在它也能从库仑山中透过去。好比是打了一个“隧道”穿过去，人们称之为“隧穿效应”。这样就不一定要求带电原子核的动能高达几十万电子伏，即使温度低一些也可以有发生聚变反应的机会。当然，即使是“隧穿效应”也总希望“山墙”薄一些，才容易穿透。一种办法是原子核的动能别太低(比太阳表面还热)，仍比较靠近库仑山顶，感受到的“山墙”比较薄，这就是热核聚变；另一种办法是原子核动能很低(已接近室温)而削薄“山墙”，这就是冷核聚变。当年有人提出用 $\mu$ 粒子来代替氘分子中的电子，可以使库仑山变薄以增加聚变反应的机会。这种反应被称为 $\mu$ 粒子催化聚变反应。这种催化反应是在实验上已得到证实的冷聚变，只是由于 $\mu$ 粒子的寿命太短，在实验上从未达到有用的功率释放。

总而言之，聚变作为一种能量来源，其理论模型是清楚的，也是有实验依

据的。但要成为一种实用的能源，却是困难重重。无论是热核聚变，还是冷核聚变，都呈现一种虽然是可望，却是日期遥远的态势。

### 热核聚变 “贵” 而生畏

近 40 年的热核聚变研究促使我们不断地探索究竟还有没有其他更容易的途径？虽然沿着热核聚变道路走下来，已经走到了马上就要证实“科学可行性”了（1989 年 11 月 13 日在美国物理学会年会上宣布，欧洲的联合环已达到了接近“得失相当”的水平，即可输出的聚变能已等于输入能量的 0.8 倍），但科学家也深知其中的困难所在。

首先是约束这么高温的带电粒子所需要的磁场就是一项困难的高技术。在地球上还找不到一种材料可以制成容器来盛放比太阳温度还高的带电粒子的气体。人们想到了磁场，在强大的磁场中带电粒子的轨道被弯曲而约束在一定的体积内。众所周知，磁场要靠电流来产生，而电流要靠能源来驱动。为了节省驱动能源必须采用超导技术，而用超导材料来包围这样一个庞大的热核聚变堆就使其投资贵到了难以承受的程度。运用今日已知的理论来预测，未来的热核聚变堆的尺寸将是长、宽、高皆达十余米的庞然大物，而相应的超导材料等包裹物质却是平均每公斤达上千美元的昂贵材料。每个热核聚变电站的投资将是几十亿美元之巨。且不说发展中国家难以承受这样的经济负担，就是发达国家，今日也不得不考虑联合投资来兴建第一个实验性热核聚变反应堆(ITER)。对于发展中国家来说他们在未来的经济发展中是最需要聚变能源的国家，而他们是负担不起这种巨额费用的。

### 冷核聚变 应运而生

正是在这样的背景下，冷核聚变的出现一下子轰动全球。因为它不仅仅可能隐含着科学的创新，也可能会打开一条通向聚变能源的新路。然而，按照庞斯和弗莱希曼本人的愿望来说，现在发表为时过早，只是不得已而为之。现年 46 岁的庞斯，早年就学于美国密歇根大学。在他快要得博士学位的时候，却在其父的怂恿下弃学经商。十年之后，他又想继续学业，由于密歇根大学不再承认其学分而必须重修，才使他远渡重洋成了英国南安普顿大学弗莱希曼教授的学生。弗莱希曼现年 62 岁，素以智谋出众而受人称道。两人从师生而成为挚友。1984 年，当他俩在盐湖城附近的峡谷地区作徒步旅行时忽然萌发了一个想法：既然钡能吸附大量的氢，而且化学家们早就注意到氘在电场作用下能在钡的原子晶格点阵中不寻常地作自由运动，那么原子核会不会靠得足够近而发生核聚变呢？旅行结束一到家，他俩就在厨房内桌上边喝边画草图，第一步的电解池实验方案就此诞生了。这个方案就是在重水中插入钡丝作阴极进行电解。1985 年的一个晚上，电解池的电极居然意外地烧融乃至有一部分都汽化了。庞斯立即打电话把此意外事件通知已回到英国的弗莱希曼，因为庞斯感到从电解池中得到的能量已远超过了化学反应所能释放的能量。弗莱希曼却告诫他最好不要在电话中讨论此事。两人用私人积蓄投资 10 万美元以继续探索这一被“认作”是冷聚变的现象。当他们感到私人投资已难以维持下去而向政府申请研究基金时，1988 年 9 月申请书转到了同在犹他州的杨伯翰大学的物理学家琼斯手中。政府要求他审议庞斯和弗莱希曼的申请。原来琼斯也在作冷聚变实验。本来琼斯是专门研究 $\mu$ 粒子催化聚变反应的，两年前他也转向研究电解池方案，并且也发现了聚变的迹象。他是一位核物理学家，在发明一台高质量的中子探测器上下了功夫，并用普通水作了对照试验。因此他之所以相信他看到了聚变，是因为他确信已看到了聚变中子，而根

本不是用化学反应解释不了的热量。但琼斯却想用此冷聚变反应来解释地球内部热量的起源和夏威夷观测站上测到的氡量异常。两所大学相距不过 50 英里，竟在从完全不同的角度分析着同样的钚电极电解重水实验，于是琼斯建议双方合作。1989 年 3 月 6 日在两所大学校方出席下协商如何向公众报道。庞斯和弗莱希曼仍希望再等一下，而琼斯却已接到了美国物理学会的邀请，预定于 1989 年 5 月初正式报告其研究结果。最后商定，1989 年 3 月 24 日双方同时各投寄一篇论文于“自然”杂志。然而，庞斯和弗莱希曼却于 1989 年 3 月 23 日在校方召开的记者招待会上宣布了他们的“突破”，这显然是一个不成熟的竞争的产物。所以此后庞斯和弗莱希曼在洛杉矶美国电化学学会年会和在欧洲各种场合受到诘问而支支吾吾是可以想象的。他们也已料到，一旦发表所招来的问题会比所解决的问题多。值得注意的是从此之后弗莱希曼与琼斯都分别与各地的学者合作。英国哈威尔实验室，在弗莱希曼参与下种种检测中子的实验都得出了零结果之后，弗莱希曼仍坚持他的结论（即“过量的热”现象依然存在）。而琼斯与意大利的学者在格兰·萨索(Gran Sasso)的深山隧道中重复了电解池实验之后明确排除了是宇宙线 $\mu$ 粒子引起核聚变(因为隧道中 $\mu$ 粒子数量比海平面处还低一百万倍)。后来又有一些支持冷聚变现象的实验，其中最值得一提的是意大利夫拉斯卡蒂(Frascati)的无电解池实验。他们注意到了在琼斯的实验过程中电极材料可以不是钚，而是其他吸氢材料(如钛等)。电解质也不一定非用氘氧化锂不可。但是琼斯提到了“非平衡态”可能是关键因素之一。因此意大利的学者们干脆不用电解池而是在不锈钢瓶中，放几十克钛片或海绵钛，在 50 个大气压下，用液氮冷却后升温又重复冷却，企图以此来造成空间和时间上的非平衡过程。果然，他们在高压下看到了猝发式的中子发射，其发射量比本底高出 35 倍(达每小时 70 个计数)。而在放气之后，在室温下又连续十余小时内观察到中子的发射，其发射量比本底高 500 倍(每小时 1000 个计数)。这个现象在意大利的热那亚大学和另一个国家实验室也都看到了，而且美国的洛斯阿拉莫斯国家实验室也声称重复了这一实验。

也还有重复电解池实验而得到了正结果的地方，如美国斯坦福大学和德州农机学院。他们还用普通水作了对照试验，证实了过量的热只出现在重水电解的实验之中。

### 疑云密布 结论难下

然而，事情并不是那么简单。作为一名化学家，可以把看到的、解释不了的“过量的热”归结为由“核反应过程”产生。但是物理学家同样也解释不了为什么会有这样的“核反应过程”？在一种情况下，实验看到了过量的热，却没有看到中子和核聚变过程的其它产物(氦、质子或氦的一种同位素等)；在另一种情况下，实验看到了中子却并没有见到明显的热量产生。按照传统的氘-氘聚变反应，应该同时有两种反应结局：一种是产生质子和氦；另一种是产生中子和氦。同时伴随着几百万电子伏能量的释放。所以，主流科学家们普遍认为：应该同时测到聚变能量和中子，才能确证是冷聚变反应。庞斯和弗莱希曼一度宣称同时看到了“过量的热”和聚变中子。但是用以论证聚变中子的伽玛射线能谱被核物理学家否定了。在麻省理工学院等离子体聚变中心的验证实验面前，弗莱希曼宣布他们的伽玛射线能谱有问题(但同时又重申“过量的热”不仅确切无疑，数量上远比过去更多)。退一步说：即使弗莱希曼看到的是中子，其产额也比从聚变反应热算出的产额低了 10 亿倍，而且琼斯在同类电解池中看到的中子又比庞斯和

弗莱希曼低了 1 万倍。

这个疑点至今还没有解开，但是还有更大的疑团。迄今为止多数重要的实验室没有测到任何正结果。包括麻省理工学院的等离子体聚变中心，国际商用机器公司的研究中心，美国电话电报公司的贝尔实验室，劳仑斯贝克莱实验室，橡树岭，罗彻斯特大学，俄亥俄州立大学，多伦多大学，佛罗里达州立大学，加拿大恰克河核实验室，瑞士洛桑高工。他们都说没有看到弗莱希曼和庞斯所报道的中子产生率。由于他们所用的探测仪器的灵敏度比不上琼斯的仪器，因此对于琼斯所报道的中子产生率(约每对氘核每秒产生  $10^{-24}$  个中子)尚无发言权。然而，耶鲁大学和布鲁克海汶国家实验室的联合实验已确定中子发生率不会高于每对氘核，每秒  $10^{-25}$  个聚变中子。

面对着这难解的事实，有人拿出了“病态科学”的症状来类比，认为所谓冷聚变不过是一场病态科学的瞎折腾。有人甚至还说是美国科学的耻辱。

### 理论的困惑

在扑朔迷离的实验结果面前，人们看着理论工作者的态度。然而，理论工作者同样是困惑不解。为什么聚变反应的热量与聚变反应的中子如此不相称呢？姑且认为这是聚变中子，理论也解释不了所宣称的中子产率——每对氘核每秒产生约  $10^{-24}$  次聚变反应。(使用“隧穿效应”来估计氘分子内两个氘核聚变反应的几率是  $10^{-70}$ /分子一秒)。最近，加州理工大学的理论工作者重新验算了此几率，发现可提高到  $10^{-64}$  / 分子一秒，仍远低于琼斯实验的数值。前面已说明如果氘分子中的电子被换成  $\mu$  粒子，则此几率可以提高 80 个数量级。但为了解释琼斯的实验，每个  $\mu$  粒子必须催化 700 次聚变才行。遗憾的是  $\mu$  粒子的寿命却太短而达不到理论家的期望值。 $\mu$  粒子的作用是使库仑山变薄，那么是否也可以用其他方法来使库仑山变薄呢？固体物理学家告诉我们，在金属氢化物中确实可以有一些空位，每个空位内可累积多达 6 个氘核。可是计算表明：这些氘核之间的间距仍比氘分子内的间距还大 2 倍。如果可以找到一种机制使氘核间距迫近到只有氘分子内两个氘核间距的  $(1/3) - (1/5)$ ，则琼斯的中子产生率就可能得到解释。

另一方面也可以寻找使氘核加速的机制。因为一旦被加速，氘核爬升到靠近库仑山顶，则隧穿的厚度也会大大下降而提高聚变反应率。这种加速电压可以来自金属中的裂隙，在裂隙两侧的电荷可以形成一个电场来加速氘核。早在 1976 年就已观察到充气或充氢的金属内会产生裂隙。也确实有苏联学者在 1986 年发表过撞击氘化锂晶体可以产生中子的实验结果(撞击中产生的裂隙每条可以发出约 10 个中子)。

理论的现状使化学家把目光投向核物理学家，而核物理学家又寄希望于固体物理，指望在固体晶格中， $\mu$  粒子寿命会变长，或在固体晶格里会出现只释放能量而不放出中子的新型聚变反应……。1989 年 4 月初“氢弹之父”泰勒曾说，“在刚一听到这消息时，我的看法是它决不可能发生”，“我现在非常高兴，因为我看到：非常大的可能性是我完全错了”。泰勒因病动了一次外科大手术。在全身麻醉前他说的是：“但愿我能知道冷聚变究竟是怎么回事？”1989 年 10 月，他还出席了有关的讨论会。这可以说是对理论家的心愿和困惑的最好写照。

### 世界各国的对策

到目前为止，实验或理论都还未能对冷聚变作出最后的结论，但是看一看各国对策不无裨益。美国能源部在犹他大学冷聚变实验消息出来之后，即要求能源

部所属各实验室在 90 天内弄清楚是怎么回事，并指定洛斯阿拉莫斯国家实验室在 5 月 22~25 日召开国际讨论会。还命令十个主要的国家实验室每周向能源部报告一次有关冷聚变的实验情况，那怕实验结果是初步的还是不确定的也要报告。同时，能源部马上成立了一个由电化学、固体物理、核物理、工程技术等诸方面 20 位专家组成的专家小组，由他们独立地评估、并要求他们于 1989 年 7 月写出阶段报告。那次国际讨论会果然如期举行了。那个阶段报告也于 7 月份写出。其中说：“专家小组认为，迄今为止所报道的实验，都未能提出令人信服的证据以说明那个被称为冷聚变的现象能导致有用的能源。事实上，要说发现了一种称之为冷聚变的新的核过程，其证据也是没有说服力的”。该专家组原定于 1989 年 11 月提出最终报告。但是庞斯和弗莱希曼对于专家小组的组成持异议，甚至拒绝他们访问犹他的实验室。因为庞斯和弗莱希曼认为专家小组中的成员都偏向怀疑派。庞斯和弗莱希曼表示，只有改变专家小组成员，才会做出公正的结论。也只有那样；他们才允许专家小组参观犹他的实验室。

尽管去年 7 月份的报告说了大泼冷水的话，美国能源部内仍有一套政策来扶持和评价这种近乎“异想天开”的研究，这的确是值得借鉴的。在美国能源部中有一个专门支持这种高风险，高潜在收益的研究基金（基础能源科学办公室的先进能源研究）。这项基金平均每年要支持 12 项类似的高风险，高潜力的创新研究，平均每项每年约 28 万美元。已闻名于世的自由电子激光就是此项基金扶植起来的。当年琼斯的 $\mu$ 粒子催化冷聚变研究也是此项基金支持的。通常这项基金只支持三年左右。因为一个想法如果基本上是正确的，就会得到能源部其他基金乃至工业界的支持。如果行不通，三年之后也可见分晓了。唯独琼斯的项目有些特殊。从 1982 年开始获资助，过了三年还是无法得到能源部的其他资助，琼斯只好转向研究高性能的聚变中子探测器用以寻找其他的聚变途径，最后发现了钨电极电解重水会产生聚变中子。而庞斯和弗莱希曼也正是在申请这项研究基金时碰上了琼斯来评议申请书。并获准 32 万美元用于 18 个月的研究经费。如今在犹他州议会的支持下，庞斯和弗莱希曼得到了 450 万美元的基金，筹建了有 30 名研究人员的国家冷聚变研究所。

欧洲共同体为提高其工业的国际竞争能力而制定的《第三个科研总体规划》中也明确列入了能源研究中要开展“冷核聚变”研究。日本也与英国协议要利用英国的加速器从 1993 年起共同进行 $\mu$ 粒子核聚变实验。

### 我们要有所作为

在改革开放的大潮中，我国学者对冷聚变的反应是及时的。远在海外的学者、学生纷纷投书国内，并及时传来了第一批文献资料。中国科学院和国家自然科学基金委员会还及时召集了有关专家的座谈会，在会上我国的核物理学者就曾经提出过庞斯和弗莱希曼的伽玛谱不合标准。我国的化学家也曾提出过不用电解池的验证方案。在祖国的首都、大西南，东北和大西北，有很多白发如霜的老专家与年轻人一起研究冷聚变。他们度过了一个又一个的不眠之夜。他们认为，我们如果不做工作，就有可能错过这个良机。在国家科委、教委的支持下，我们的一些高等院校、中国科学院，迄今仍有一些甘冒风险的探索者在试验着种种不同的方案。探索者的道路是艰难的，但是只有不畏艰险的人才有望登上科学的顶峰。