

冷核聚变

是荒诞的幻觉，还是神奇的现实

苏宗洙 程国钧

1989年3月23日，一条爆炸性的特大新闻震动了全世界，这就是英国的费莱希曼和美国的庞斯(以下简称为F-P)宣称：他们已在简单的重水电解装置中实现了冷核聚变！短短的几天时间内，世界各地的科学家就安装了许许多多重水电解装置，进行了一系列实验。迄今为止，从所得结果来看，要完全否定或证实他们的冷核聚变实验，似乎还为时过早。无论最终的结果如何，F-P在恰当的时刻提出了一个恰当的问题，起了解放思想，开阔眼界的作用。那么，为什么他们的实验，在全球科学界引起如此强烈的震动呢？现在让我们在一个更大的时空框架下来考察F-P的冷核聚变实验，对人类来说究竟意味着什么？

一、能源危机威胁着人类

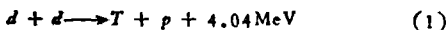
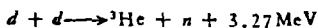
当我们审视现实，回顾以往，展望未来时，不得不承认，地球上的人类正处在前所未有的能源危机之中。能源危机实际上包括两个方面：枯竭和污染。当今人类使用的能源主要是煤、石油等矿物燃料。它们是一次性能源，不能再生。在人类历史的长河中，矿物燃料只是一段小插曲，刚步入人类舞台不久，就即将结束。至于污染问题，越来越清楚地认识到矿物燃料就是今天环境污染的元凶，而由它引起的温室效应已威胁到人类是否能在地球上继续生存下去。今天，人类社会面临着许多重大问题，而能源危机可能是我们面临的最重大和最急迫的问题。

二、新的能源——核能

七十多年前卢瑟福说过：“利用原子能方法的发现将打开人类发展的新的一页。”他所说的原子能就是核能。核能的利用有两条途径：这就是重核裂变和轻核聚变。一个重核分裂成两个中等质量原子核的反应称为裂变，在裂变中释放的能量为裂变能。目前的核电站及原子弹，就是利用此裂变能。然而，现有的估

计表明，全世界的裂变能源只有 575×10^{11} 焦耳，因此裂变能的应用很可能只在有限时期内才是重要的。而裂变中产生大量放射性废物及放射性污染，至今还没有有效办法来解决。特别是美国三哩岛事件和苏联切尔诺贝利事件后，在很多人心灵留下了核恐惧的阴影。

所谓聚变，是指两个很轻的核熔合为一个稍重的核的反应。若聚变后的核结合更紧时，也将释放能量，即聚变能。常见的聚变反应有：



式中列出的聚变能以动能形式释放，其大小和反应后核的质量成反比。以第一反应为例， ${}^3\text{He}$ 和 n 的动能分别为 0.82 和 2.45 MeV。由式(1)中的聚变能可估算，1升海水中所含氘的聚变能相当于 400 升石油，那么海水贮藏的总聚变能约为 5×10^{11} 焦耳。此外，聚变反应产物没有放射性污染。所以说它是一种取之不尽、用之不竭的理想能源。我们知道，太阳的光和热就来源于聚变能。

三、热核反应

近几十年来，许多国家，投入大量人力、物力，经历了多种途径的研究，希望找到有经济价值的聚变能源。但是，这一目标至今还未实现，那么其困难何在呢？

要发生聚变反应，必须使参加反应的两个核接近到强相互作用的力程内。要达到这么近的距离，碰撞核必须克服(或经由隧道效应穿越)相互间的长程静电斥力——库仑位垒。所以当入射能量低于几个 keV 时，聚变反应(1)的截面几乎为零。但随着参加反应的核的动能的增加，截面迅速提高。

利用加速器，很容易得到引起聚变所需的能量，从而实现核聚变。然而，一则能量得失相差太大，二则达

小尺寸、短尺度,所以在加速器上实现的聚变反应不可作为能源。

要获得聚变能源,就必须有自持的聚变反应。为了达到这个条件,应使参加反应的核具有足以克服库仑位垒的动能。比如说,为了使参与反应的核具有10keV(1keV相当于 1.16×10^8 K)的能量,须把它加热到 10^8 K的温度。在 10^8 K温度下,原子完全电离而变成了等离子体。将上亿度的等离子体约束在一定区域内,维持足够长的时间,使其中的轻核发生聚变,这就是热核反应。氢弹是利用原子弹爆炸产生的高温、高压实现核聚变,它是不可控热核反应。作为聚变能源的目标而言,需要实现受控热核反应,而且放出的能量应超过维持该反应所消耗的能量,这就是劳逊(Lawson)判据或得失相当(Break Even)。要实现受控热核反应,劳逊判据对等离子体的密度 n ,温度 T 和约束时间 τ 三者有某些基本要求。概括起来,等离子体必须满足下面三个条件:(1) n 必须足够大;(2)必须加热到所需的温度;(3)所要求的 n 和 T 必须维持足够长的时间。

除上述条件外,实现受控热核反应还有一个困难。在 10^8 K温度下,现有的材料都不能作反应发生的容器。目前,解决容器的最有希望的途径是磁约束和惯性约束。磁约束是用磁场作容器来约束高温等离子体,实现受控聚变反应。当前公认的最接近能源目标的磁约束装置是托卡马克(TOKAMAK)。

七十年代初提出的惯性约束,是利用来自四面八方的激光束(或相对论电子束、或重离子束)同时射向氘和氚的微小靶丸,使其加热、压缩并产生核聚变。虽然,它已不像初时想象的那样简单,碰到的问题也越来越多,但仍是一条有希望的途径。(编者按:有兴趣的读者可阅读本刊1989年第四期“激光惯性约束核聚变”一文,作者王淦昌。)

四、 μ 催化聚变反应

1957年实现了用 μ 子催化的冷核聚变。 μ 子是比较稳定的带负电粒子,比电子重207倍。我们知道,氘分子的两个氘核由周围共有的轨道电子束缚在一起,但相互间的库仑位垒使它们不能熔合。位垒穿透的几率几乎也是零,这是因为电子的玻尔轨道半径

$$r_0 = \frac{\hbar^2}{m_e e^2} \approx 5 \times 10^{-9} \text{ cm},$$

比表征强相互作用有效程的 π 子康普顿波长

$$\lambda_\pi = \frac{\hbar}{m_\pi c} \approx 1.4 \times 10^{-13} \text{ m}$$

大四个数量级。如果用 μ 子代替氘分子中的电子,则相应的玻尔轨道半径就减小二百倍,仅比 λ_π 大百倍。这样,两氘核由隧道效应而熔合的几率就大多了。两氘核聚变时, μ 子并不会损耗,而起催化作用。另

一方面,在反应中 μ 子也不增加,而它的半衰期只有 2.2×10^{-6} s, μ 子不能长时间连续使用。所以 μ 子催化实际上不可能提供有效的能源。

五、电化学聚变

英国 Southampton 大学的 Fleischmann 和美国 Utah 大学的 Pons 在厨房中进行了五年实验,今年3月23日宣称用电化学方法实现了冷核聚变。从他们的论文来看,基本实验是:99.5%的重水加0.5%的普通水并掺入少量的 LiOD 制成电解液,用铂作阳极,不同尺寸和形状的钨作阴极,在室温下进行电解。由于钨是吸氢材料,在阴极电解的氘能大量的透入钨内形成钨氘。实验中,观测了放热,中子, γ 射线和氦。

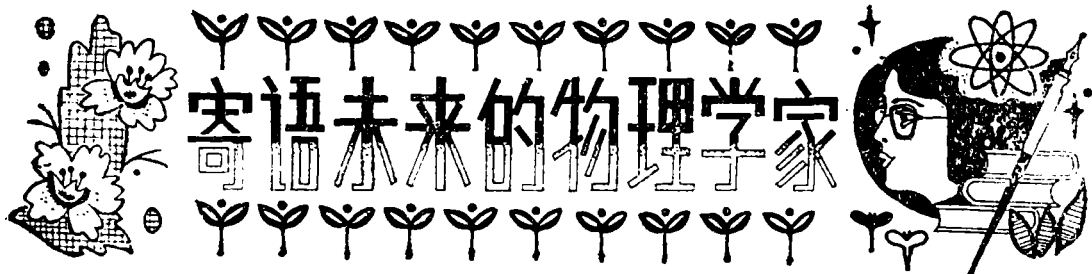
他们用量热法测量产生的热量,发现产生的热量与钨的体积近似成正比,即为体效应。整个反应持续了120小时以上,每立方厘米的钨产热达10瓦特,总热量超过4兆焦耳。实验中曾出现钨被熔化的事例,表明实验达到了很高的温度(钨的熔点 1554°C)。由此推断这是一种核过程,并估算能得失比可达1000%。

$d + d$ 反应的特征标志是产生2.45 MeV的中子。他们用 Harwell 的中子等效剂速率测量了中子;还用 NaI(Tl) 晶体测量 γ 能谱,在2.2 MeV附近发现有峰值,被解释为2.45 MeV的中子引起的(n, γ)反应。上述两种方法测量的中子产额均为 4×10^4 中子/秒,但都无法鉴定中子的能量。

此外,他们还测量了 β 放射性能谱,由此估算氦的产额为 1.2×10^4 原子·秒 $^{-1}$,与中子一致。

几乎同时,美国 Young Brigham 大学和 Arizona 大学的 Jones 等人进行了很类似的实验,只不过阳极改用铝箔,阴极除用钨外,还用了另一种吸氢材料钨。中子是用有能量刻度的中子探测器测量的,在相应于中子能量为2.45 MeV附近有峰值。中子产额是 4×10^{-3} 中子·秒 $^{-1}$,由此推算聚变反应率 $\lambda_p \sim 10^{-23}$ 聚变·(氘核·秒) $^{-1}$ 。它比氘分子的聚变率大了约50个数级。实验中没有测量氦,也没有关于生热的报道。论文还列举了一些地球物理现象,猜测在地球内部可能发生核聚变,并为地球提供部分的热量。

两个组的共同结论是,在室温条件下电解重水时观测到核聚变。对他们的结果稍加分析和对比,就会发现不少问题及实验上的不完善。例如,两个组测量的中子产额,差了7个数级;F-P 测量的中子和氦的产额约 10^4 秒 $^{-1}$,但从他们测量的产热量(Jones 没有报道生热的现象!)估计,中子和氦的产额约 $10^{11} \sim 10^{14}$ 秒 $^{-1}$,也有7—10个数级之差;其次,没有报道以水代替重水的对比实验,它对生热是否来源于核反应可以提供一个判断;此外, γ 射线、中子及氦的测量不是在同一次实验中进行的;对中子的测量,F-P 的实



· 本刊编辑部 ·

去年的九月,正是“不似春光,胜似春光”的季节。国内许多物理学家、教授、研究员欣然应邀,回答我们提出的问题——“使您成为物理学家的原因是什么?”从寄回的解答表中,凝聚着老一辈科学家对未来物理学家的深情、厚望,字里行间浸透着他们登攀科学高峰的艰辛、悲欢,也表露他们对所选定的物理事业和为之奋斗的目标的执着追求。篇篇答卷,言简意赅,语重心长,她将激励成千上万在科学道路上不辞辛苦的后来者,现在的、未来的物理学家们!

综合寄来的答卷,人们找到了物理学家成功的原因:(1)对大自然的好奇心,对物理这门学科感兴趣;(2)是出自对物理的重要意义和作用的认识而愿为之献身;(3)是家庭的启蒙和诱导;(4)是学校和教育者的教育与培养;(5)是受科普宣传的影响;(6)是其它的个人的、社会的原因。本刊将分两部分陆续登出:《寄语未来的物理学家》、《使您成为物理学家的原因是什么?》文中科学家姓名以本刊收到答卷顺序排列。

清华大学教授 谢毓章

“物理学的发展将越来越向交叉学科方面发展,这就需要广泛的各方面的知识。所以不要一开始就把自己陷入一个单独狭窄的领域。”

中国科学院高能物理研究所研究员 席德明

“愿未来的物理学家们更深刻地认识物质世界,把自己的知识转化为力量,造福人民。”

中国科学院物理研究所研究员 李林

“献身科学。”

青海师范大学教授 张百菴

“现在我国的实验设备已具相当规模,希(望)未来的物理学家能在理论和实验中不断有新的发展。”

中国科学技术大学教授 徐克尊

“要脚踏实地的干,不屈不挠的奋斗,才有可能得到收获。”

苏州大学教授 周孝谦

“物理学最明显地呈现自然界的非常和谐而美妙的规律性,因而对于改进人类的生活起着最根本的作用。有良好物理基础的人也是最容易适应做有关物质的技术工作。希望年青的学者不要为社会上对物理学的一时的不够重视而动摇自己正确的信心。”

国际知名的物理学家、我国粒子物理学和核物理学的开创者之一 王淦昌

“希望未来的物理学家比我们有大得多的成就!”

上海原子核研究所研究员 张家骅

“从事科学工作需要勇攀高峰、坚强进取的精

神,而且提出否定的看法。那么,电化学冷核聚变是否属实,还有待今后的实验的验证。如果属实,必将给人类的能源开辟全新的前景。当然,要达到此目标,还有相当长的路程。冷核聚变的机理,对我们还是全新的课题。即使不像 F-P 的结果那样激动人心,也提出了一些很有价值的问题:例如,目前耗费巨资研究的热核反应装置,是否是聚变能源的唯一最佳途径呢?实验观测的显著生热现象,如果不是核过程,那么它又是一种什么过程呢?有无应用价值?如果确能证实实验中 $D + D$ 聚变发生什么原因使得在氘或铁中氘的聚变率要比通常氘分子的聚变率大得多呢?这些问题必将引起人们的思考和研究,并进一步推进这方面的研究。

六、讨 论

我们从人类社会对能源需求的紧迫性,从几十年里科学家研究核聚变的历史背景,讨论了冷核聚变问题。这就是为什么 F-P 的实验极大的震动着全世界。它反映了人们对理想能源的渴望与追求。异常简单的实验装置和出乎预料而又激动人心的结果。在短短的1—2个月内,世界上已有60多个实验组宣称重复和部分重复了他们的实验结果,同时,也有相当多数的实验室和著名科学家不仅没有证实他们的结果,

而且提出否定的看法。那么,电化学冷核聚变是否属实,还有待今后的实验的验证。如果属实,必将给人类的能源开辟全新的前景。当然,要达到此目标,还有相当长的路程。冷核聚变的机理,对我们还是全新的课题。即使不像 F-P 的结果那样激动人心,也提出了一些很有价值的问题:例如,目前耗费巨资研究的热核反应装置,是否是聚变能源的唯一最佳途径呢?实验观测的显著生热现象,如果不是核过程,那么它又是一种什么过程呢?有无应用价值?如果确能证实实验中有 $D + D$ 聚变发生什么原因使得在氘或铁中氘的聚变率要比通常氘分子的聚变率大得多呢?这些问题必将引起人们的思考和研究,并进一步推进这方面的研究。