

# 最近的中子探测实验和声空化\*

王 龙

(中国科学院物理研究所 北京 100080)

**摘 要** 评述了2002年3月8日美国 Science 杂志发表的橡树岭国家实验室 Taleyarkhan 等在产生在微小气泡反应中探测到中子的实验.还介绍了声空化和声致发光的历史,以及与热核聚变和“冷聚变”的关系.

**关键词** 中子,核聚变,声空化

## LATEST EXPERIMENT ON NEUTRON DETECTION AND ACOUSTIC CAVITATION

WANG Long

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract** The latest experiment on neutron detection in microsize bubbles [R. P. Taleyarkhan et al. Science, 2002, 295:1868] is reviewed. The brief history of acoustic cavitation and sonoluminescence is described, and their relationship with thermal nuclear fusion and “cold fusion” are also discussed.

**Key words** neutron, nuclear fusion, acoustic cavitation

自从 Science 杂志发表关于气泡聚变实验的文章<sup>[1]</sup>以后,就出现了两个意思一样的新名词:声聚变(sonofusion)和气泡聚变(bubblefusion).它们马上就使人回忆起13年前那场热潮以及当时出现的新名词:冷聚变(cold fusion).没有仔细阅读 Science 原文的人往往误以为这次说的还是冷聚变.其实 Science 的文章和冷聚变没有任何直接关系.在文章中作者判断反应是普通的热核聚变.当前争论的焦点自然是中子测量问题,但实质上是怀疑在这样的气泡中能否达到聚变温度.其物理内容则更多围绕着另一研究领域,称声空化(acoustic cavitation)或声致发光(sonoluminescence).

声空化和声致发光已有几十年的发展历史.早期英国人发现舰船螺旋桨总因不明原因损坏.他们请了著名的物理学家瑞利解决这个问题.瑞利发现螺旋桨转动时产生大量气泡并认为正是这些气泡腐蚀了螺旋桨.后来认识到是超声激发了这样的气泡,而且发现溶液中的气泡可催化一些反应,因而产生了声化学(sonochemistry)这样一门学科.1934年,科伦大学的 H. Frenzel 和 H. Schullter 发现超声波激发的大量气泡的发光现象<sup>[2]</sup>.第二次世界大战期间,人们观察到当潜水艇在黑暗的夜里驶过后,留下一片闪光的尾迹,经久不灭.声致发光是既奇异又很普通的现象,可能在自然界广泛存在.去年, Nature 杂志

曾报道对一只虾的观察.这只虾蹬一下腿就在水中产生一个小气泡<sup>[3]</sup>.这个气泡发出很短的光脉冲.光很弱,用肉眼看不见,但由此估计泡中气体温度至少5千度.于是又产生了一个新词:虾发光(shrimpoluminescence).还有人认为,由于可催化通常条件下不可能的化学反应,自然界的气泡发光现象可能在地球生命的早期孕育中起了重要作用.

90年代以前,所有的声致发光现象都是后来所说的多泡声致发光.这样一群不能准确定位的气泡很难精确测量和研究.1990年,美国密西西比大学的博士生 D. F. Gaitan 和他的导师、华盛顿大学的 L. A. Crum 等人首次实现和研究了单泡声致发光<sup>[4]</sup>.他们将一水槽中的微小气泡用超声场约束在中心,并周期性压缩,观察到气泡发出同步很好的光脉冲.单泡声致发光有准确的时空定位,便于测量和研究.它的发射光谱是一个连续谱,而多泡声致发光有一个OH谱线.这显示它们可能有本质的不同.

单泡声致发光有非常独特的性质.其驱动声场的压强在1.2—1.6个大气压区间.超过此范围则气泡不稳定.气泡最大半径为几十微米,可压缩至少两个数量级.因为一般认为气泡是球对称的,所以其体

\* 国家自然科学基金(批准号:19934001)资助项目

2002-03-26收到

积压了  $10^6$  倍. 气泡被压缩至接近最小时发光. 光脉冲宽度为几十至 300ps. 其强度对于驱动压强、频率、液体介质、气泡气体、液体温度非常敏感. 当水温从室温降到摄氏零度时, 发光强度可增强近百倍. 虽然一些其他液体介质也观察到发光现象, 水仍然是最佳介质(发光最强). 辐射光谱为连续谱. 其紫外部分因水的吸收而不知最短波长在何处. 惰性气体泡可发出很强的光. 空气泡的发光也很强, 但纯氮气泡的发光极弱. 为解释这一现象, 有人提出一种“整流”假设: 在气泡压缩过程中, 空气的主要成分都通过化学反应溶解到水中, 只剩下惰性气体氩<sup>[5]</sup>. 所以空气泡发光实际上是氩气泡发光. 这一假设已被广泛接受. 当然最使人惊异的是局域性不强的声子如何产生高度局域的光子, 使能量密度增加了  $10^{12}$  倍. 由于气泡内的参量不能直接测量, 泡内究竟发生了什么就成了一个谜.

可用不同模型来模拟计算气泡压缩过程. 由于原来主要是声学界从事这一研究, 最初采用的是绝热压缩模型, 后来用中性流体方程, 称为 Rayleigh - Plesset 方程. 后来, 将等离子体方程加进去, 可计及气体电离和电荷分离. 研究初期, 计算的压缩后的气泡内温度可能很高. 近年来, 计及了各种能量耗散过程, 特别是发现水蒸汽的蒸发和分解会吸收大量能量, 使压缩后气泡内的温度没有原来计算的那样高, 最低估计只有几千度. 这样一来, 原来估计的激波就不能存在, 而且作为主要发光机制的韧致发光也成了问题, 可能为复合辐射或分子振动能级的激发所代替.

近年来的又一实验进展是 J. B. Young 及其合作者对弱的单泡声致发光的观测<sup>[6]</sup>. 他们故意把光变弱, 然后连续几天测量其光谱, 发现极弱的单泡声致发光的光谱也包含 OH 线谱, 和多泡声致发光一样.

声致发光和核聚变. 单泡声致发光的特异性质刚发现时, 用简单的模型计算的泡内温度最高可达 100eV, 即  $10^6$  度. 其能量的惊人汇聚力使人希望能用这样简单的设备产生盼望已久的热核聚变, 以致于美国 Lawrence Livermore 国家实验室的 W. C. Moss 称这样的发光气泡为瓶中之星( star in a jar ), 并具体讨论了这种“台面微聚变”的可能性<sup>[7]</sup>.

但是, 随着各种能量损失机制的引进, 所计算的泡内温度越来越低, 对核聚变的期望也越来越低, 原来的研究热情大减. 虽然今年刚发表的理论文章提出, 泡内气体压缩时非理想气体的排空效应会抑制水的吸热分解反应<sup>[8]</sup>. 由此得到的泡内温度也不过

从几千度提高到几万度, 距离核聚变所需的温度还很远.

在这种低调的空气下, Science 的文章<sup>[1]</sup>发表了. 这一文章自然有它的创新之处. 它的第一项技术创新是使用中子束产生气泡. 而以往的气泡都是从外界注入的, 或电解或局部加热产生, 也有用激光产生的. 这样产生的气泡半径是微米量级, 压缩比是两个量级. 用中子束产生的气泡要小得多, 为 10—100nm. 注入和气泡产生是在声场张力相位发生的, 所以在液体张力作用下, 它长至约 1mm 的最大半径. 这样它的最大半径和初始半径之比就有  $10^4—10^5$ . 所以推测它的压缩比要较通常方法大得多. 自然这可得到更高的泡内温度.

第二项技术创新是用氖丙酮作液体介质而未用重水. 作者解释氖丙酮可承受很大的张力而不动(无中子束)产生气泡. 而且, 氖丙酮有接近 1 的相变系数, 而重水的相变系数很小(0.075). 大的相变系数有利于产生高温.

用中子束于声场张力相位在超声共振腔波腹处产生气泡的方法不能保证只产生一个. 计算表明, 每一脉冲中子束产生约 1000 个气泡. 所以这一实验实际上是多泡声致发光而不是单泡声致发光. 这也是该实验的特点, 说明多泡发光和单泡发光可能在本质上是是一致的.

声致发光和“冷聚变”. 虽然这一实验有若干创新之处, 并能言之成理. 但在文章尚未发表时, 非议之声就不绝于耳, 险些使文章胎死腹中. 其中原因不难理解, 就是人们一看到这篇文章就马上想起了“冷聚变”, 有人甚至预言这篇文章的发表不过是“冷聚变”丑闻的再版, 不久后就将成为“脱口秀”谈论的笑料.

声致发光和“冷聚变”的关系并非从今日始. 已故的诺贝尔奖获得者 Schwinger 就很相信“冷聚变”. 他举声致发光为例, 说明用简单的装置实现能量高度聚集并非不可能. 但他没有说声致发光就是“冷聚变”, 而提出一种量子场论中真空极化的动力 Casimir 效应来解释声致发光<sup>[9]</sup>. 另一些人则认为声致发光就是“冷聚变”. 这次 Science 文章的发表, 不管能否检验核实“冷聚变”研究者肯定感到鼓舞.

回顾“冷聚变”的历史并非没有教益. 1989 年 3 月 23 日, Pons 和 Fleischmann 两位国际知名的电化学家召开记者招待会之后不到十天, 就有几个国家的数个小组声称重复了这个实验. 这时, 他们所相信的“冷聚变”就是教科书中所说的产生 2.45MeV 的中

子、氦 3 或者质子、氘的那两种 D-D 反应。为证明发生了这样的反应,最确凿的证据莫过于中子的探测。所以在“冷聚变”研究初期,大家都致力于探测中子。在理论上,有人用介子催化、隧道效应等机制来试图解释为什么在常温下氘核可克服库仑势垒。但很快,谁也得不到稳定产生的、和其他聚变产物比例匹配的中子。于是“冷聚变”研究者干脆放弃了这种努力,改为去测量“超热”,并相信存在一种“没有中子产物的冷聚变”。所以,常温下不可能发生那种原来意义上的“冷聚变”已成为共识。至于是否存在新的意义上的“冷聚变”姑不予置评。

事实上,早在 1989 年,美国能源部“冷聚变”调查组两主席之一,诺贝尔奖获得者 Ramsay 就对此事作出至今未过时的结论:“本报告所讨论的室温核聚变类型与半世纪以来获得的对于核反应的理解相矛盾。它要求发现全新的核过程。”

“冷聚变”研究的另一教训是对中子探测结果的

解释须十分小心。像 Science 文章所说的现象,如果在今后几个月内不能用重复性的实验证实,就可以认为它被否定。尽管这其中可能存在若干不能解释的现象或事件。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Taleyarkhan R P ,West C D ,Cho J S *et al.* Science ,2002 ,295 : 1868
- [ 2 ] Frenzel H ,Schultes H.Z. Phys. Chem. ,1934 ,B27 421
- [ 3 ] Lohse D ,Schmitz B ,Versluis M. Nature 2001 413 477
- [ 4 ] Gaitan D F ,Crum L A. J. Acoust. Soc. Am. Suppl. 1990 87 S141
- [ 5 ] Lohse D ,Brenner M P ,Dupont T F *et al.* Phys. Rev. Lett. ,1997 , 78 :1359
- [ 6 ] Young J B ,Nelson J A ,Kang W. Phys. Rev. Lett. 2001 86 2673
- [ 7 ] W. C. Moss ,D. B. Clarke ,J. W. White *et al.* Phys. Lett. ,1996 , A211 69
- [ 8 ] Toegel R ,Hilgenfeldt S ,Lohse D. Phys. Rev. Lett. ,2002 ,88 : 034301
- [ 9 ] Schwinger J. Proc. Nat. Acad. Sci. ,1993 90 2105

·信息服务·

## 美国伦斯勒理工学院招生信息



# Rensselaer

Troy ,New York ,U.S.A.

May 2002

JOIN OUR GRADUATE SCHOOL IN PHYSICS

Ph.D. in Department of Physics ,Applied Physics and Astronomy

Areas of research :Astronomy ,Elementary Particles Physics ,Origins of Life ,THz Imaging ,THz Electronics ,Nano-Particles Physics .

Teaching ,research assistantships and fellowships are available .

**Application** <http://www.rpi.edu/dept/grad-services/>

**Information** <http://www.rpi.edu/dept/phys/>

**Email** :gradphysics@rpi.edu