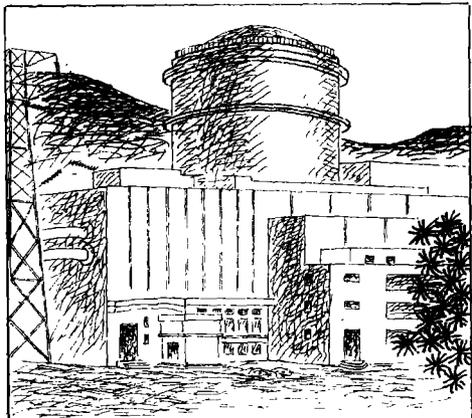


第一座自持核链式反应堆的建立

许海波 侯新杰

(河南师范大学物理系 新乡 453002)

1933年卢瑟福(E. Rutherford)曾断言,核能的利用是空谈的幻想。然而,西拉德(L. Szilard)在1934年获得了与核链式反应有关的专利。1942年,在美国芝加哥大学体育场的大看台下面,费米(E. Fermi)论证了第一座自持铀反应堆,标志着核能时代的诞生。



到他原子能何时能被有效地实际利用时,爱因斯坦打了一个比喻说:“只不过是黑夜里在鸟类稀少的野外捕鸟”。

但是,具有丰富想象力的匈牙利青年物理学家西拉德预见到了核能利用的前景。西拉德早年读过一本科幻小说——《自由世界》,小说中提到,核弹

一 核链式反应的创始人——西拉德

原子科学的奠基人卢瑟福曾经错误地断言:“人类永远也做不到利用原子中的能量”,这个问题“只不过是纸上谈兵而已”。近代最伟大的物理学家爱因斯坦(A. Einstein)也没有想到原子能会释放出来加以利用。1934年当记者问

可以用来摧毁整个城市建筑和生命。对此,西拉德很有启发,他很希望核弹为人类的和平与进步作出贡献。他与卢瑟福就有关大规模释放核能的可能性问题进行了激烈的争论。为了证明自己的观点,1934年西拉德跑到专利局,取得了从事大规模核反应的专利权。西拉德深知

计算恒星内部结构的客观基础,并阐明了超新星爆发和大质量恒星演化的关系。

“ B^2HF ”理论提出后,福勒和他的合作者继续探讨恒星演化问题,他一直是太阳中微子流研究的热情支持者,并且指出,如果太阳温度足够高,用 ^{37}Cl 放射化学中微子探测器有可能探测到 8B 太阳中微子流。

合在一起研究。从这一年开始,由于受到开劳格实验室和其他实验室快速发展的实验成果的推动,福勒和他的合作者发表了一系列评论性论文,为恒星演化和核合成研究的新进展提供了核物理基础。

1960年福勒和霍尔提出了说明超新星的理论,他们把第一类超新星归因于低质量简并星的热核爆炸,把第二类超新星归因于大质量恒星内部铁心的瓦解。同一年福勒和霍尔把 B^2FH 理论推广到用放射性物质的丰度来鉴定化学元素合成的年代。据此福勒不断地修订他所创建的宇宙年表。

福勒具有旺盛的创造力和热忱的合作精神。他是一位令人钦佩的学术带头人,在广泛地与助手和学生合作时,他总是慷慨地把荣誉让给别人。他还帮助许多人找到职业。他自愿地把自己的时间贡献给许多科学和学术机构以及政府组织。他具有把大家团结在一起的非凡能力,并用他的热情和幽默感去感染别人。不管他在谈论天体物理学、蒸汽发动的火车、加州的冲浪竞赛或匹兹堡海盗棒球队的前景,他对生活的乐趣总在照耀他周围的世界。

1967年福勒和霍尔等人提出了一个更综合的理论,他们把宇宙膨胀动力学和核合成结

核能利用的后果,为了防止这一军事后果严重的情报公开,他将专利权交给英国海军部. 1936年,西拉德建议用中子引发核反应可导致足够多的中子的释放,从而完成链式反应. 他一直在寻求发展这一假想过程的财政支持,并动员和安排其他物理学家开展有关核反应的实验.

1939年1月,当玻尔(N.Bohr)带着哈恩(O.Hahn)和斯特拉斯曼(F.Strassmann)关于铀裂变的发现参加在华盛顿举行的第五次理论物理会议时,西拉德已经准备利用裂变反应去实现原子核链式反应的设想,关键问题是,裂变铀核能够释放足够多的中子. 因此,西拉德来到哥伦比亚大学找到正在做中子实验的津恩(W.Zinn). 西拉德借钱买到两克镭作为中子源,利用中子探测器,他们发现铀裂变真正能产生中子,每个裂变铀核大约产生两个中子.

费米当时也在哥伦比亚大学工作. 他是1938年12月到斯德哥尔摩领取诺贝尔奖后携全家离开了意大利. 西拉德就邀请费米和安德森(H.Anderson)一起工作和研究. 因此,从1939年到1940年,哥伦比亚研究小组包括费米、西拉德、津恩和安德森. 值得一提的是,费米参加了华盛顿举行的第五次物理会议,会议没开完就匆匆赶回自己的实验室,开始铀核裂变的实验,并且证实了有足够多的中子释放.

在用中子轰击铀时,为什么没有发生链式反应呢? 这里存在几个问题. 第一,铀由不同的同位素 ^{235}U 和 ^{238}U 构成,它们的核对中子的反应不一样,只有在自然界中占1%的 ^{235}U 才能发生裂变反应;第二,裂变反应释放的是快中子,而快中子的有效反应截面远比慢中子小;第三,其他反应过程对中子的吸收. 为此,西拉德和费米采用石墨作为减速剂使快中子的速度变慢. 为了减少中子的共振吸收,他俩分别提出将铀(主要是 U_3O_8)和石墨分成不同区域. 费米建议石墨层和铀层交错叠起,西拉德则主张将氧化铀放置在石墨层的栅格上,后来的实验正是采用了西拉德的主张.

第一次用石墨堆测量中子反应截面的实验

是失败的,问题出在石墨不纯. 西拉德到国家碳公司和其他工业公司讨论制造过程的详情,在他的努力下,石墨的纯度得到了大幅度改进,特别是减少了杂质硼,硼具有很强的中子吸收能力. 1939年末,西拉德提出了在石墨和铀反应堆中发生链式反应的理论.

西拉德敏锐的想象力又一次赶在了事实的前面. 他清楚地意识到了将来可能展开一场原子武器的竞赛,而且害怕德国利用它制成原子武器,故没有正式发表他的理论. 并且劝其他科学家共同保守研究成果的秘密. 他在给约里奥·居里(F.J.Curie)的信中说:“但愿中子根本不能释放出来,或者就是释放出来也是微不足道的,这样我们就不必为这一问题而担心了”. 信中请求居里自愿不泄露研究成果.

第二次世界大战后,西拉德才将他的理论公开化. 但是,“曼哈顿计划”的组织者不承认他的理论,他对此事非常气愤,写下了回忆录——《我对事实的说明》. 他对物理学家贝特(H.Bethe)说:“我并不想发表这些回忆录,只是要让上帝知道事实的真相”. 贝特问他:“你不认为上帝已经知道了这些事实吗?”西拉德答道:“但上帝不知道是我的见解”.

可以说,西拉德是唯一一位自核裂变发现以来,对核能的利用和发展前景了如指掌的物理学家. 西拉德的开创性工作和社会活动,与费米在实验上的精湛技巧相互补充,为原子核链式反应的实现做出了巨大贡献.

二 费米的指数反应堆与科学风格

1941年7月,费米、津恩等人在哥伦比亚开始研制可实现链式反应的装置. 最早的铀和石墨构成的用来测量中子增殖的反应堆,氧化铀是装在金属罐中的. 由于金属罐吸收中子,因此,费米及其同事将氧化铀压制成圆柱形,并在石墨块中钻一些孔将其放入.

反应堆的长和宽均为8英尺,高为10英尺多. 充当中子源的铍和镭放入底部的石墨垫上,整个反应堆被镉箔覆盖. 镉对中子有很强的吸收能力,使中子不能从墙上反射或从空气中进入,以创造一个良好的反应环境.

在这样的栅格反应堆中,中子的通量服从二阶不含时扩散方程.中子的通量在水平面内服从余弦分布,随着高度的增加指数下降.因此,这个结构叫做指数反应堆.如果中子增殖很大,指数下降就很慢.

通过测量作为高度的函数的指数分布就可得到中子的增殖系数.为了测量中子通量,在反应堆的侧面钻一些孔,以便将铝箔插到中心轴处,在铝箔中诱发的放射性正比于中子通量.将铝箔制成完全相同的形状,可在实验中互相核对结果.铝箔在指数堆里被照射一定时间,通过盖革计数器就可测出计数率.

费米制订了一个严密细致的实验规则.事先估计可能的结果,实验前后都要对环境进行检查核对,仔细检查仪器的可靠性.如果有问题,他就与研究小组成员一块探讨问题的根源,找出原因,及时改进,确保实验准确无误.

费米是一个非常细致、一丝不苟的人,他让自己的一切都服从于工作.同事们给他起了一个外号——“教皇”,意思是说,他总是正确的.著名物理学家蓬泰科尔沃曾写道:“费米的生活过得就像有一种什么荷尔蒙在支配着他的感情和生活方式,使其自动地保证有最佳条件从事科学研究”.费米还是一位全能的物理学家,他不仅具有很强的物理直觉和敏锐的洞察力,而且有精湛的实验技巧,并将二者完美地结合起来.杨振宁说过,战后美国高能物理的成功在于同时做了两件事:实用的和不实用的,并且配合得非常之好,体现了美国物理的真正精神,而这种精神是费米带来的.费米夫人也说过:“费米的一生总是摇摆于理论物理学和实验物理学之间,很方便地适应着变化中的需要”.费米一生的重大发现与他的科学研究风格是分不开的.

1942年1月,哥伦比亚研究小组补充了三人:费尔德(B.Feld)、韦尔(G.Weil)、沃特伯格(A.Wattenberg).目标是进行可控链式反应,最终制成不可控制的核装置——原子弹.许多实验小组都参与了这项活动,包括芝加哥和普林斯顿小组.德高望重的康普顿(A.H.

Compton)被美国政府任命为该项计划的主管,工作集中在芝加哥.因此,同年4月哥伦比亚和普林斯顿研究小组转移到芝加哥,成立了“冶金实验室”.冶金实验室是一个掩护名称.

三 第一座自持核链式反应堆的建立

在芝加哥,康普顿所能找到的建造核反应堆的最好地方就是芝加哥大学体育场西看台下面的一个网球场.费米带领两个实验小组开始建造工作.一个小组由津恩负责,主要任务是建造反应堆;一个小组由安德森负责,主要任务是控制反应堆,并测量结果.

在芝加哥进行的实验,继续改进石墨和氧化铀的纯度.纯的石墨和氧化铀可以使指数反应堆的中子增殖系数大于1,保证了反应堆能维持链式反应.在哥伦比亚大学用密封反应堆进行的实验已经表明,用从石墨孔隙中排除空气的方法,可以提高中子的增殖系数.因此,费米决定将整个反应堆装入一个方气球中,必要时可将空气抽出,充入二氧化碳.

考虑到获取石墨和氧化铀的局限性,费米用球形反应堆代替立方体的.根据计算,球形反应堆的体积要小一些,它由一个方形木架支撑着.

反应堆的第一层是11月16日放入方气球中的.首先铺上一层石墨块(边长33/8英寸),在石墨块上面铺上氧化铀和石墨块的混合层,随后又是石墨层,接着又是一层混合层,如此连续堆砌.

金属铀比氧化铀具有更大的中子增殖系数,而且用金属铀,反应堆的体积可比原来预想的小.费米把最纯的物质放在反应堆的中央,不太纯的物质放在四周.放入几层后,费米就开始预防反应堆过早反应.在石墨中挖出许多孔道,供隔棒(能强烈吸收中子)插进和抽出,当隔棒插入反应堆后,中子增殖系数立即降低.

最初是用镭和铍作为中子源引发链式反应的,最后发现铀自发裂变可产生足够的中子.另外,除了铝箔,还可用三氟化硼(BF_3)正比计数器直接测量中子通量.

12月1日晚,反应堆垒到第56层时,根据

测量结果,中子通量开始无限度的增加,即达到临界体积.费米告诉安德森垒到57层,以便进行更准确的测量.如果12月1日晚,安德森一拉控制棒,他就成为第一个完成链式反应的人.虽然他很想去拉控制棒,但道义上的责任感使他没有这样做.那样做对费米是不公平的,费米是领导人,他指导研究工作,基本理论和方法都是他想出来的,因此,指挥最后这次实验并控制链式反应的特权和责任应归于他.

还有一个重要的小组,就是威尔逊(V. Wilson)领导的仪器组.他们制成了很多检测器,例如空气电离室检测 γ 粒子, BF_3 正比计数器测量中子通量.他们还制成一些由硼钢材料构成的控制棒,可由电动机进行遥控操纵.另外,津恩和威尔逊还安装了几个安全棒.每根棒都与绳索相连,绳索跨过滑轮与重物连接,遇到意外情况,便用斧子将绳索砍断,使镉棒滑入反应堆.其中一个安全棒与磁性螺线管连结,螺线管通过继电器与电离室相连,当电离室电流超过规定值或切断电源,安全棒就会自动释放,滑入反应堆.万一上述安全措施都不顶事,即都不能防止反应堆的爆炸,还有一个三人小组随时准备把大量镉盐溶液放出,倾泻在反应堆上.

四 试验成功

12月2日早上,费米和建立第一座自持链式反应堆(又称芝加哥一号)的物理学家们来到实验场地.费米首先检查了所有的仪器,然后大家分工协作,有的读数据,有的作记录,威尔逊还将中子电离室与绘图仪连在一起.

十点一刻,费米命令将自动控制棒撤出,只留下韦尔操纵的那根控制棒.费米让韦尔先把棒拉到13英尺处,即这根棒还有13英尺留在反应堆里.电离室中的读数不断上升,表明中子强度不断上升,然后稳定下来.再抽出一点,中子强度又增加,然后再稳定下来.这一步骤重复多次,费米在他的计算尺背面记下这些数据.用估计反应堆层次同样的方程,他知道控制棒拉到什么位置,反应堆达到临界状态.

正当实验进行中,突然一声巨响,使在场的人大吃一惊.原来是电离室电流超过规定值,控制线圈释放安全棒发出的声音.到了吃午饭的时候,虽然没有人做出肚子饿了表示,但费米是个遵守习惯的人,他宣布了已垂史册的那句名言:“咱们去吃午饭”.

饭后,他们各自回到自己的岗位.首先,重复上午的步骤,以便确定情况有无变化,然后试验继续进行.韦尔操纵的控制棒一步一步地抽出,这时费米对身旁的康普顿说:“这次就行了,马上就要发生自持链式反应,这枝笔划的线将不断上升,而没有稳定下来的趋势”.

每过一分钟,费米都要计算中子强度上升的速率.记录仪上的笔平稳地在方格纸上画出一条稳定上升的曲线.此刻,费米脸上露出了兴奋的微笑.他迅速灵巧地合拢计算尺,正式宣布:“现在正是自持链式反应”.由于高兴,他的声音都颤抖了.时间是下午3点42分.

3点43分,费米让津恩将安全棒插入反应堆中,中子强度和辐射强度立即降了下来.这时,物理学家威格纳(E. Wigner)赠给费米一瓶基安提(Chianti)酒.整个试验过程,威格纳始终把它藏在身后.在场的人用纸杯子默默地喝着,没有碰杯,没有祝词.有人建议费米在酒瓶的包装皮上签名,费米签名后,当时在场的人都签了名.由于每星期工作100多小时,大家都感到从未有过的疲倦,恨不得立刻回家睡一大觉.

在费米的领导下,第一座自持链式反应试验成功了.这是一个定量的精密实验,它成功地进行了一系列精确的物理学测量.正如费米夫人所说:“整个反应堆的操作就像瑞士表那样准确”.不仅如此,整个反应还能得到很好的控制.

1942年12月15日,费米在每月一次的报告中,愉快地,但有所保留地宣布了这一世纪性的事件.

(题图 张树祥)