

哲人石
丛书

Philosopher's Stone Series

当代科普名著系列



瓶中的太阳

核聚变的怪异历史

Charles Seife

**SUN IN
A BOTTLE**

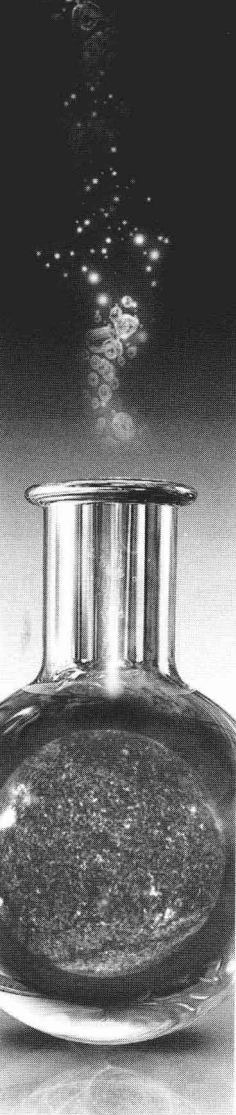
THE STRANGE HISTORY OF
FUSION AND THE SCIENCE OF
WISHFUL THINKING

查尔斯·塞费 著

隋竹梅 译



上海科技教育出版社



哲人石
丛书

Philosopher's Stone Series

当代科普名著系列

瓶中的太阳

核聚变的怪异历史

查尔斯·塞费 著

隋竹梅 译



上海科技教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

瓶中的太阳:核聚变的怪异历史/(美)塞费
(Seife, C.)著;隋竹梅译. —上海:上海科技教育
出版社,2011. 12

(哲人石丛书·当代科普名著系列)

ISBN 978-7-5428-5325-7

I. ①瓶... II. ①塞...②隋... III. ①热核聚变—普
及读物 IV. TL64-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 246558 号

对本书的 评价

内容翔实且生动……塞费以一贯的清晰思维进行写作。

——《纽约时报书评》

(*The New York Times Book Review*)

获奖科学记者塞费,对于核聚变,对于把它变为一种持续能源的计划为何屡屡受挫,给予了长期的、细致的观察……这部通俗易懂的作品会吸引每一个关注替代能源之人的目光。

——《出版者周刊》(*Publishers Weekly*)

作者以独特的解说技巧解释了核聚变如何进行,解释了为什么难以从核聚变中获得能量……阅读本书令人愉悦……耗资数十亿美元、力图将“太阳”装入瓶中的尝试正在进行着,对于任何一个想知道其内幕的人来说,此书必读。

——《科学通讯》(*Science News*)

正如塞费先生的前几本书一样,本书正是科学读物应该达到的一种典范。它没有篡改事实,也没有把事实过于简化。它没有以盛气凌人的口吻对读者宣讲,而是以一种人人都可以理解的、精辟的、清晰的方式解释了科学研究方面的重要规则与复杂争论。

——《华盛顿时报》

(*The Washington Times*)

内容提要

近几十年来,人类对能源的需求不断增加,但同时又面临着化石能源资源日益枯竭的局面。当科学家想到太阳具有几乎无尽的能量时,他们便梦想着在地球上制造出微型太阳,从而一劳永逸地解决人类的能源问题。本书紧扣这个主题,通过大量翔实的历史资料,结合作者本人的亲身经历,以精辟明晰的语言,将科学家为实现将太阳装入瓶中的梦想所付出的努力与遭受的挫折,核大国之间的核武器竞赛及各种政治力量的影响,天才的睿智和洞见与小人的阴险和卑鄙等一个个精彩故事,向我们娓娓道来,从而展开了一幅科学、人性、政治相交织的宏伟画卷。

作者简介

查尔斯·塞费(Charles Seife),美国纽约大学新闻系副教授,耶鲁大学数学硕士。《科学》(*Science*)、《新科学家》(*New Scientist*)、《科学美国人》(*Scientific American*)、《经济学家》(*The Economist*)等多家杂志的撰稿人。著有《零》(*Zero*)、《解码宇宙》(*Decoding the Universe*)、《阿尔法与奥米伽》(*Alpha & Omega*)等作品,曾获美国笔会玛莎·阿尔布兰德奖。

致 谢

我从做科学记者时起就一直报道核聚变,因此对于曾经帮助我了解核聚变的物理学原理及政治影响的每个人,我无法一一致谢。我要衷心感谢所有的人,即便有些人可能会对本书的结论持不同的意见。

我还要感谢我的编辑沃尔夫(Wendy Wolf),以及雷德蒙(Hilary Redmon)和霍穆尔卡(Don Homolka)在文稿方面给予我的帮助。我非常感谢我的经纪人布罗克曼(John Brockman)和卡特森(Katinka Matson)。我在纽约大学新闻系的朋友与同事一直对我非常好,对他们的支持我也要道声谢谢。最后要说的是,我的朋友和家人给了我莫大的帮助。对我的双亲伯特(Burt)与塔马(Tama),我的兄弟马克(Mark),当然还有我的妻子梅莉迪斯(Meridith),我要说:谢谢你们所做的一切。

序 言

喀耳刻(Circe)*警告我避开神圣的太阳神之岛屿,她说,因为正是在这里,我们会有极大的危险。

——《奥德赛》(*The Odyssey*),
勃特勒(Samuel Butler)译

这个梦想与人类一样古老:有无限的威力。这个梦想驱使着一代又一代科学家走到疯狂的边缘。

在经过数个世纪企图制造永动机的努力之后,1905年,科学家发现了一种基本上是无限的能源。爱因斯坦(Albert Einstein)用他著名的方程 $E=mc^2$ 发现,很小的一个质量块在理论上就能转换成巨大的能量。实际上, $E=mc^2$ 就是描述太阳为什么发光的方程;太阳的核心在一种叫做核聚变的反应中不断地把物质转换成能量。如果科学家能够在地球上做同样的事情——如果他们能够用一种受控聚变反应把物质转换成能量——那么,科学家就能够永久地满足人类对能量的需求。

过去半个世纪以来,大批物理学家一直拼命地想要创造一种装在瓶中的微型太阳,以便把恒星的核聚变威力在地球上发挥出来。对核聚变的探寻是那些科学家为了控制太阳的能量而编织的一个日益纠缠在一起的、秘密的、不可思议且妙计迭出的故事。这些科学家被卷进了一个错综复杂

* 喀耳刻是希腊神话中的一个女巫。——译者

的事件,其中包括政府参与的机密实验,耗资数十亿美元的
科学规划,还有拜占庭式的阴谋论。对核聚变的探寻,是
一个无论好与坏都改变了世界上那些天才物理学家的故
事,是那些把秘密泄露出来的揭发者的故事,是心存妒意
的研究人员的故事,是才华横溢的堵漏洞者或者暗箭伤人
的政客的故事。

这要冒很大的风险——而且赌注还在日益增加。世界
上的石油供应不再能够保证满足人类对能源的需求;更糟
糕的是,全球气候变暖,这个威胁正在迫使政府去寻找除
了化石燃料以外的能源。从长远看,核聚变是唯一的出路。
如果研究人员不把这个问题解决,人类将会遭受苦难。

科学家在压力下崩溃了。也有人被迫作出令人心痛的
决定,放弃了自己的梦想,否定了自己所做的工作,或者被
轰出了主流科学圈。聚变能的梦想一而再、再而三地驱使
科学家说谎,使他们违背自己的诺言,欺骗自己的同行。核
聚变甚至能把最优秀的物理学家推到悬崖的边缘,但并非
所有的人都肯回头。

目 录

致谢	
序言	
第一章 米迦勒之剑	1
第二章 铁之谷	31
第三章 犁头工程与铽单位	53
第四章 扭曲性、不稳定性及 “胡说八道”核弹	69
第五章 热与光	97
第六章 冷遇	121
第七章 秘密	153
第八章 气泡的麻烦	165
第九章 无与伦比的太阳	197
第十章 一厢情愿的科学	217
附 录 实验台上的核聚变	227
注 释	233

第一章

米迦勒之剑

日间,耶和华在云柱中领他们的路;夜间,在火柱中光照他们,使他们日夜都可以行走。日间云柱、夜间火柱,总不开百姓的面前。

——《出埃及记》(Exodus)13:22

当杜鲁门(Harry S. Truman)总统向全世界宣告有关一种新武器的情况时,大火继续在广岛燃烧着,被烧得面目全非的受害者无精打采地向浅野公园走去。总统宣告说:“太阳本身从中汲取动力的那种力已经被释放,对准了为远东带来战争的那些人。”人类从原子内部的深处把前所未闻的能量释放了出来,并用它毁灭了一座城市。

从原子时代最早期开始,美国人便被这种不可思议的威力迷住并为之深深震撼。通过分裂铀原子和钚原子,科学家利用使太阳发光的同样原理,即 $E=mc^2$,制造了一种武器。

为“曼哈顿工程”这个世界上制造第一枚原子弹的绝密工程而工作的科学家,以一种畏惧加惊恐的复杂心态回顾了自己的成就。对于曼哈顿工程的领导人奥本海默(J. Robert Oppenheimer)来说,原子弹代表了一种清白的丧失,代表了从标志着文明终点的神坛上跌落了下来。然而,其他人,如曼哈顿工程的物理学家爱德华·特勒(Edward Teller)则认为,原子弹只是核武器竞赛的开始。特勒明白,比原子弹强大得多、甚至强大数千倍的武器,即将出现。

这种新武器,即“超弹”,将会展现出地球上前所未见的

威力：核聚变。这种超弹不是通过原子分开（裂变）来释放能量，而是把原子结合（聚合）来释放更多的能量。虽然这种差别看起来很微妙，但是聚变不同于裂变，它具有产生真正威力无穷之武器的潜力。仅仅一枚超弹，便能够彻底摧毁一座最大的城市——其威力远远超过摧毁广岛和长崎的那两枚核弹。热核炸弹将会是终极武器。

这种武器还将科学界一分为二，并将人类带到毁灭的边缘。在地球上释放太阳能量的问题，至少是出师不利。

摧毁广岛和长崎的原子弹发挥效应是通过核裂变，而不是通过核聚变。核裂变和核聚变是双生子，两者都是通过将原子的质量转化为能量而获得力量。

1898年，随着皮埃尔·居里（Pierre Curie）和玛丽·居里（Marie Curie）组成的夫妻档发现了一种具有奇特性质的物质，科学家第一次领略了那种威力。他们把这种物质称为镭。镭的能量的产生似乎是无中生有。当然，这不可能。物理学中最严格的定律（即热力学定律）禁止能量自发产生。然而，居里夫妇对于自己所观测到的现象十分肯定。一个镭块像一个小火炉一样不断地产生热。一小时又一小时，一天又一天，一年又一年，它就做着这件事。没有任何化学反应可以支撑这么长的时间，产生这么多的能量。每当居里夫妇冷却一块镭的时候，这个镭块就会把自身加热。实际上，即便没有外部热源，镭总是比周围环境更热一些。玛丽·居里自己也想不通。她怀疑在镭原子中心发生了某种变化，但又不知道那可能是什么变化——她也不知道这样一个小小的物质块如何能够产生那么多的能量。

几年后，随着年轻的爱因斯坦（Albert Einstein）用公式表达了他的相对论，答案揭晓了。相对论使科学家感知空间、

时间和运动的方式发生了变革。来自相对论的方程之一是 $E = mc^2$, 这是有史以来最著名的科学方程。 $E = mc^2$ 表明, 物质(m)能够转换为能量(E)。这就是镭那似乎是无穷无尽的能量源泉的秘密。

如果你把 1 克镭放入一个密封的安瓿瓶中, 许多年以后, 镭(一种发白的金属)就会逐渐消失。实际情况是, 镭原子自发分裂, 从视野中消失了。不过它们并没有完全消失。当一个镭原子分裂时, 往往分裂成为较小的两部分。其中较重的那部分是一种叫做氦的气体, 较轻的是氢; 而居里夫妇发现, 他们的镭样本释放出来的既有氦又有氢。

镭(大而重的原子)分裂成氦和氢。当科学家仔细地研究那些原子的质量时, 他们意识到了热源所在。镭的一些质量不见了。如果你把一个氢原子的质量和一个氦原子的质量加在一起, 它们便构成了这个镭原子质量的 99.997%, 两者都来自镭。另外的 0.003% 的质量完全不见了。当镭分裂时, 分裂出来的部分比原来的原子要轻。

这就是额外能量之谜的答案: 整个原子的质量比各部分质量之和大。当镭原子自发分裂时, 它的部分质量转变成能量, 正如爱因斯坦公式所允许的那样。那个质量(m)变成了能量(E)。不见了的质量只是构成原子的微小的那部分。然而, 即便微小的质量也可以转换成巨大的能量, 且这种能量比人类过去曾经取得的能量大得多。

随着第二次世界大战一触即发, 科学家开始认识到, 这种能量能够变成强有力的武器。在德国于 1939 年入侵波兰之前一个月, 爱因斯坦警告罗斯福(Franklin Delano Roosevelt)总统说, 有可能用金属铀(像镭一样, 铀在分裂时也会释放出能量)制成一种炸弹, 这种炸弹威力极大——而且有不祥的迹象表明, 纳粹已经在动手制造这种炸弹了。例如, 德国已经

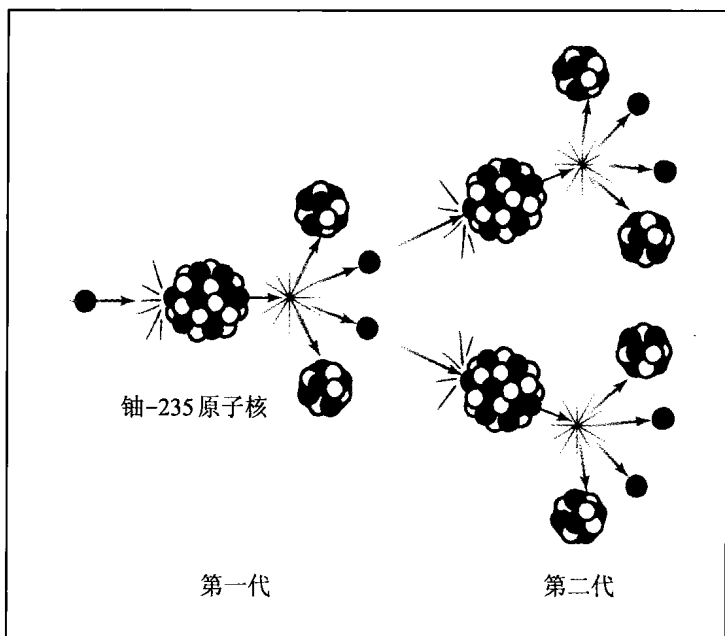
在占领的捷克斯洛伐克禁止铀的贸易。

铀——尤其是铀-235——是制造这种武器的理想材料。它的原子异常敏感；用一个亚原子粒子撞击它，就会分裂为几个碎片。镭衰变时往往会干净利索地一分为二，与此不同，铀原子会分裂成若干小块，其中包括几个叫做中子的中性粒子，这些中子随后就从破碎的原子中飞出。

在真空中，中子会轻轻松松地上路，它们在途中不会碰到任何障碍物。然而，一块铀不是真空；那是一个挤满了亿万万个铀原子的空间。一旦某个铀原子分裂，刹那间分裂出来的中子就有可能碰撞到两三个其他铀原子，并引发那些原子分裂，而在这个过程中，每个原子又会释放出两三个中子。所有这些中子又都会撞上其他原子，使它们分裂，从而释放出更多的中子。如果条件合适——如果有足够多的铀原子在一个足够小的空间中——那么这个过程就会在瞬间如滚雪球一般失去控制。1个原子裂变了，它的中子会引发2个原子分裂，然后引起4个或更多的原子分裂，接着是8个、16个、32个、64个……10个回合之后，就有2000多个原子分裂，释放出中子和能量；20个回合之后，就是200多万个原子分裂；30个回合之后，就是20多亿个原子分裂；40个回合之后，就是超过1万亿的原子分裂。这就是我们所说的链式反应。

如果某个链式反应足够大，就能够把一座城市夷为平地。每当一个铀原子核分裂，就会释放出能量。像镭一样，一个铀原子在分裂时会丢失一些质量。在极短时间内，质量转换成能量，正如 $E = mc^2$ 所预测的那样。在链式反应中，分裂的原子越多，所释放的能量就越多。经过40个回合的铀原子分裂，所释放的能量足够把一个白炽灯泡点亮大约1秒钟。80个回合之后（这仅仅是链式反应开始后的瞬间），所释放的能

量将超过 1 万吨 TNT 炸药爆炸时的能量,大致相当于最终摧毁广岛的那次核爆炸的当量。



裂变链式反应: 当一个中子撞击一个铀-235 原子核时, 原子核分裂, 释放出更多中子, 这些中子又撞击更多原子核, 如此等等。

不过, 在 1939 年, 裂变的想法——以及会释放出巨大能量的链式反应的想法——仅仅是一种理论。在第二次世界大战爆发之前, 科学家并不能确定那种理论是否正确——还有, 如果理论正确, 如何才能把理论转换为制造实用武器的现实。经过两年的深思熟虑和实验, 人们才达成共识: 有可能利用铀-235 或者钚-239 (实验室中通过用中子轰击铀而产生) 制造一种有威力的炸弹。原子核理论进展迅速; 到 1942 年, 物理学家费米 (Enrico Fermi) 在芝加哥大学的一个壁球馆¹ 建

造了第一座核反应堆。费米的计划成为朝着释放原子能的前进道路上迈出的重要的一步——并最终把太阳的盛怒撒向地球。

核反应堆的核心只不过是一个受控链式反应区,这里放置着尚未完全进入失控爆炸阶段的一堆裂变原料。科学家对反应堆进行设置,使分裂原子产生的中子的数目基本上能精确地达到最恰当的量,既保持反应的进行,又不至于变得越来越快;每一代原子裂变大致上都与前一代原子裂变的数目相同。用物理学的术语来说就是:反应堆保持在接近临界状态。通过插入或抽出某种材料,以便吸收、反射中子,或使中子速度减慢,科学家就能够操控反应速率。把吸收中子的材料棒抽出,就有更多的中子来分裂原子并释放出更多的中子,使反应堆达到临界状态。把棒插入,吸收的中子就比释放的中子多,从而使反应在噼啪声中停下来。

1942年12月2日下午3点36分,费米和他的同事从一座石墨和氧化铀反应堆中把一根中子吸收棒拉出来。辐射计数器咔哒咔哒地响着,费米就此实现了第一次自持核反应。这时,反应堆超过临界点;链式裂变中的每一代都比前一代产生的中子多,反应堆产生了越来越多的能量。大约过了半小时,费米决定把控制棒放回反应堆中,反应停止了。高峰时反应堆产生了大约半瓦功率,几乎可以点亮一个暗淡的圣诞树灯泡。然而,它的潜在价值却是巨大的:费米反应堆表明,从理论上说,核动力能够点亮一座城市,亦能摧毁一座城市。

正是为了这后一个目的,曼哈顿工程出台了。它的领导人是一位性格孤僻、不好相处的科学家奥本海默,一个即将因核裂变而赢得盛名,却在核聚变面前栽了跟头的人。

在美国制造原子弹的竞赛方面,奥本海默并非理所当然

的领导者。他是一位优秀的物理学家,但却是一位理论家——而曼哈顿工程归根结底是一项工程。奥本海默远非那种典型的身先士卒、亲自动手的设计师。

一身贵族气的奥本海默成长在一个富裕的家庭,他特别吸引人的地方是他思路敏捷。他掌握了6种以上的语言,包括梵文。他擅长理论,但在科学较为实用的方面却苦苦挣扎。就连一些基本的活儿,如铜线焊接,他都会感到困难。从哈佛大学毕业后,他去了英国的剑桥大学,在著名实验学家J·J·汤姆孙(J. J. Thomson)的实验室工作。这时候,已经处于高度紧张状态的奥本海默开始觉得心里没底了。

奥本海默在剑桥大学期间过得很艰难;在他的心目中,自己的实验统统是失败的,他想到过自杀。他还有过杀人的念头。1925年,他突然试图掐死一位儿时的朋友,而且此后,他的行为变得更加古怪。有一次他同两位朋友在科西嘉岛度假,他突然宣称:“我干了一件不得了的事。”他说他在一个苹果中下了毒,还把苹果放在剑桥大学另一位杰出的科学家布莱克特(Patrick Blackett)的办公桌上了。当大家回到学校后,发现布莱克特安然无恙。奥本海默的朋友事后在想,那个苹果是确有其事呢,或者说仅仅是奥本海默狂热想象力的一个虚构而已呢?

自从奥本海默转到德国格丁根大学后,他的行为不再显得那么怪异了。20世纪20年代,德国在理论物理学方面处于世界领先地位——德国是爱因斯坦、普朗克(Max Planck)、海森伯(Werner Heisenberg)、玻恩(Max Born)以及多位其他重要人物的故乡——而且奥本海默已经使自己成长为一名杰出的年轻物理学家。不过,他仍然十分忧郁。他爱慕虚荣、傲慢自大,有时候很凶。他有个习惯,要让别人感到自己渺小、无足轻重;他憎恶自己的“兽性”却无法控制它。然而,在他