

(3) 先后负责了核武器研制所需的第一批中子数据——重核对裂变谱中子的平均截面测量,核武器点火中子源所需的异形 $\alpha$ 源强度测量;生产堆用国产石墨性能检验;核武器小型化所需Pu-239的快中子裂变瞬发中子平均数测量和1966年两次核试验燃耗测定现场取样铀含量的测量等,提供了高水平的数据。

(4) 精确测量了铀-252自发裂变的平均中子数,提供了高精度裂变中子产额的初级标准,其结果是国际核数据委员会认可的13个数据中精度最高的4个数据之一;对国内可获得的铀-252等超铀核的自发裂变瞬发中子的平均数及数目分布作了精确测量;对铀-252自发裂变瞬发中子与碎片质量、电荷和总能量的关联作了系统研究,实现了 $4\pi$ 与 $\pi/3$ 两种几何的精确测量,丰富了关联数据,提出了一些比前人更完整的规律,纠正了前人的错

误,并澄清了文献上单碎片发射裂变中子数是否存在奇偶效应的矛盾结论。

(5) 80年代,开拓了垒下重离子熔合裂变反应的碎片角分布的研究,首次发展裂变碎片折叠角技术,实现熔合裂变与转移裂变事件的区分,发现了碎片各向异性的异常现象;提出一个预平衡裂变模型来解释碎片各向异性的异常,成果处于国际领先地位。

发表了《Pu-239瞬发裂变中子平均数随入射快中子能量的变化》(与他人合作)、“Pre-equilibrium fission for low angular momentum”(与他人合作)等学术论文数十篇,曾获国家自然科学基金三等奖、全国科学大会重大科技成果奖、国防科工委重大科技成果奖二等奖、中国核工业总公司科技进步奖一等奖等多种科技奖励。

(中国科学院数学物理学部办公室 唐廷友)

## 费米——理论和实验完美结合的物理大师\*

范 炜

(武汉大学物理系,武汉 430072)

摘 要 简要介绍了费米的科学生涯和主要成就,讨论了他的科学研究方法。

关键词 费米,科学生涯,研究方法

费米1901年9月29日出生于罗马,17岁进入比萨皇家高等师范学院,21岁获博士学位。1926年,费米任罗马大学第一任理论物理教授,提出费米-狄拉克统计。1929年,他被选入意大利皇家科学院。1934年,费米发现中子诱导人工核衰变现象,并因此获得1938年诺贝尔物理学奖。由于对墨索里尼反动统治的不满及受到法西斯的迫害,1938年费米移居美国,在芝加哥大学主持了第一座原子反应堆的设计、建造和试验工作。随后他又在曼哈顿工程中参加了第一颗原子弹的研制和试验。为纪念费米的卓越贡献,第100号元素被命名为Fm。

1954年美国原子能委员会设立费米奖,费米被提名为第一位获奖者。同年11月28日,费米因癌症在芝加哥病逝。

### 1 求学时代

幼年时期,费米就开始显露出他的聪明才智和对知识的渴求。他常常贪婪地阅读各种书籍,遨游在知识的海洋中。除了认真学习规定课程外,费米还对诗歌有着浓厚的兴趣。父亲的同

\* 1997-10-06收到初稿,1997-12-29修回

事阿米达是发现费米具有惊人天才的第一人。他常借一些数学、物理学书籍给费米，费米如饥似渴地阅读，他的学习已远远超出了学校规定的内容，泊松的《力学》和卡拉法的《数学物理基础》都在他钻研之列。到 17 岁时，尽管还是个高中生，但他掌握经典物理学知识的程度已不亚于学业成绩出色的大学生。课余时间，费米常常以极大兴趣同伯西科一起制作仪器，进行实验。他们利用自己的简陋设备，精确地测定了重力加速度、罗马的自来水密度和地球磁场强度，从而对实验物理学有了深刻的了解，这为他后来成为一名出色的理论和实验物理学家打下了良好的基础。

1918 年，阿米达建议费米报考比萨皇家高等师范学院。他的那篇题为《声音的不同特性》的论文轰动了全校，以致令一位主考官困惑不解——他无法解释费米这样的年轻人竟有那么丰富的知识。于是他吧费米叫到自己办公室作了一番谈话。费米的出类拔萃赢得了主考官的赏识，校方保证费米可以拿到助学金，享受免费教育。

在比萨生活的 4 年，对费米来说是快乐和充满生气的。当时，年轻的费米成了学校里量子理论的“权威”，教授们在讲授刚刚兴起的现代物理学时，不时地向他请教。他还给一些老师介绍爱因斯坦的相对论。1922 年，年仅 21 岁的费米发表了关于 X 射线折射的论文，获得了博士学位。

此后，费米回到罗马，结识了罗马大学物理实验室主任柯比诺。柯比诺教授时任参议员，在政府中是一位显赫人物，担任过部长职务。他很欣赏费米的才能，经常与费米讨论物理学以及未来工作计划，后来成为费米终生的朋友和保护人。

为了获得更多的现代物理学知识，费米感到必须放眼世界，广泛地同国外科学家交流，以便能更直接、更迅速地接触物理学发展的前沿。为此，他争取到教育部的奖学金，去德国哥廷根大学跟随著名的物理学家玻恩学习。以后，费米又来到荷兰莱顿大学，与埃伦费斯特一起工作，

并建立了真诚的友谊。埃伦费斯特和索末菲将费米介绍给其他知名科学家，使他和各国科学家建立了广泛联系。

## 2 青年院士

1924 年，费米回到意大利就任佛罗伦萨大学理论物理讲师，主要研究广义相对论，先后发表过 30 多篇论文，在国内外享有一定的声誉。当时意大利物理学家分为两派，一派已经掌握爱因斯坦的相对论并且接受费米的成果，另一派却不相信相对论。这使得费米在卡利阿里大学讲席的竞争中，遭到保守派的抵制，从而失去了这个席位。

1925 年，泡利发现了“不相容原理”，费米从中领悟出从前统计力学中长期忽略的一个重要因素：一种气体中没有两个原子恰好处于同样状态。次年，他和狄拉克分别独立地提出受“泡利不相容原理”限制的粒子所服从的统计规律，称为费米-狄拉克统计。这充分显示出费米对新的物理观念的敏锐感悟力，以及他对各种问题的概括归纳能力。他的统计方法适用于电子、质子、中子等具有半整数自旋的所有粒子，在原子物理、核物理和固体物理中有其广泛的用途。这种统计的发现使得解释电子在金属中的性质和规律成为可能。它是“费米核模型”及“托玛斯-费米模型”的理论基础，同时也是研究量子电动力学不可缺少的理论工具。此外，费米还研究拉曼效应的理论、精细结构、宇宙线效应、虚量子的概念和统计等，显示出他是一位能在多个领域驰骋的物理学家。

1927 年，由于柯比诺的努力，罗马大学开创了意大利第一个理论物理讲座，费米被选为首席教授。于是费米来到罗马，参与了柯比诺主持的研究工作。在这里，他同其他科学家共同努力，创立了一个现代物理学派，宾格勒、阿迈迪、塞格里等 20 多名有才干的年轻人被吸收进来。后来他们大都成了科学界的中坚力量。由于费米的声誉，吸收了许多有才干的物理学家聚集到了罗马，其中著名的有拉塞蒂、贝蒂、F. 伦

敦、德拜和施特恩。这些年轻有为的科学家经常聚集在一起探讨问题、交换信息、分工协作，形成了世界闻名的物理研究中心，促成了意大利物理学的复兴。费米在罗马的杰出工作和他在物理学界的成就，使他在 28 岁时被选入意大利皇家科学院，成为当时最年轻的院士。

虽然费米担任院士拥有很高的荣誉和地位，但他却从不以此炫耀。他讨厌院士华丽的制服，也反感“阁下”的称谓。一次滑雪旅行，费米全家住进一家旅馆。登记姓名时，经理问道：“您是费米院士阁下的什么亲戚吗？”“是远亲，”费米淡淡地回答。“费米阁下时常光临小店。”经理自豪地说。对于费米来说，他追求的只是恬静的工作和生活环境，而不愿吸引别人的注意。

在巨大的荣誉面前，费米没有停步，而是以更加充沛的精力把研究的重点转移到了原子核物理上。他根据 1930 年泡利提出的中微子假说，第一个提出了  $\beta$  衰变的量子理论。这是近代基本粒子相互作用理论的开创篇。在他的理论中，首次假设了一种完全新型的力，即弱相互作用。

1934 年，约里奥·居里夫妇发现了人工放射性——用  $\alpha$  粒子轰击产生稳定核的放射性同位素。这一研究成果决定了费米后半生的科学生涯。费米认为，中子在产生放射性元素过程中应该比  $\alpha$  粒子更有效，因为它们不会被核电荷所排斥，因此进入靶核的可能性更大。于是，费米从理论研究转向实验探索。

### 3 费米小组

那时，意大利的实验物理处于十分落后的境地，费米既缺乏必要的设备，又没有所需的经费，一切都要靠白手起家。为了探测衰变产物，需要盖革计数器。这种仪器，当时很少有人知道，也无处可买。于是费米亲手制作了这种仪器。另外，中子源也是必不可少的。费米小组借用了卫生部的一克镭和一套从镭中提取氡的设备。他们将收集的氡与铍粉混合，氡衰变放出的  $\alpha$  粒子轰击铍发射出中子，用来辐照各种元素。

然后用自制的盖革计数器检验放射性。费米按照元素周期表的顺序依次对已知的 92 种元素逐个进行辐照。开始，用中子轰击氢、氦……一直到氧，都没有放射性迹象。费米没有动摇，他坚持试验下去。终于氟被强烈地激活了，这使他们大为振奋，继续不懈地试验，结果表明氟以后的元素都能与中子发生核反应，产生新的放射性同位素。这项成果为人类一下子提供了一百多种放射性物质。

用中子激活一种稳定元素之后，人们最关心的是产生了哪些放射性元素。因为被激活的放射性元素在样品中含量很少，用精密的化学方法也不可能将它与未被激活的物质分离。于是费米采用了一种十分巧妙的办法：如中子轰击铁后，少量铁被激活，生成周期表中与铁相邻的铬、锰、钴等元素中的某一种的放射性同位素。因此，将铁溶于硝酸中，并加入铬、锰、钴等元素，采用通常的化学分离法，将各种元素分离，再用盖革计数器检验哪种分离元素带有放射性，则铁产生新的放射性元素就是该元素的同位素。费米利用这套独创的分离方法检验了各种元素。但当他们用中子轰击周期表中最后一个元素 92 号铀时，发现产生不止一种元素，至少有一种放射性产物不是靠近铀的已知元素。理论考虑和化学分析似乎都指出，铀的衰变产物中有一种原子序数为 93 的元素，而该元素在地球上并不存在。一时间，国内外新闻媒介都发表费米小组发现 93 号新元素的轰动性报道。但是，费米严谨的治学作风使他对研究结果采取了慎重的态度。他认为在新元素得到实际承认之前，尚须完成一系列精密试验，过早下结论只会使自己陷入窘境。为此，他对报界发表了一篇简短的声明，阐明自己的观点。后来的事实证明费米此举的明智。1938 年底，德国几位科学家用化学方法确定出中子轰击铀产生的一些碎片是混合物，而不是什么新的 93 号元素。铀在中子轰击下分裂成两大部分——钡原子和氪原子，并伴随着释放出很大的能量，这个过程称为核裂变。事后，费米不无遗憾地评论道：“我们当时没有足够的想象力来设想铀会发生一种与

任何其他元素都不一样的转变过程。况且，我们没有足够的化学知识去一个个地分离铀的转变产物。”这样费米与核裂变这项震撼世界的发现失之交臂。

费米小组在做中子照射银圆筒实验中，偶然发现圆筒放在铅盒的中央和角落产生的放射性不一样。接着他们又发现银圆筒放在木桌上辐照产生的放射性比放在金属上更大，而放在石蜡空穴中可使圆筒放射性提高一百倍。一连串的怪现象困惑着年轻的科学家们。费米分析了各种现象的共同点，提出了独特的见解。他认为，中子在与木头或石蜡中的氢原子核发生弹性碰撞过程中，速度变慢，当慢中子从木头或石蜡中返回后，就能更容易地被银原子俘获。也就是说，慢中子能够大幅度提高人工放射性的产率。由此费米预言，水也可以提高中子轰击产生新的放射性。他们将中子源和银筒放入实验室后的喷泉池中，实验结果证实了费米的理论。

由于用中子轰击产生的放射性元素以及发现原子核吸收慢中子所引起的有关核反应，费米被授予 1938 年诺贝尔物理学奖。

## 4 链式反应

墨索里尼登台以后，意大利的政局日益恶化，直接妨碍了费米小组的研究工作。法西斯种族主义更直接威胁到费米妻子的安全（因为她是犹太人）。所有这些都使费米感到苦恼，最终他决定离开意大利。1938 年 12 月，费米利用到瑞典领取诺贝尔奖的机会携全家逃离法西斯统治下的意大利，来到大洋彼岸的美国，接受了哥伦比亚大学的教职。

费米刚移居哥伦比亚时，玻尔将发现核裂变的消息带到美国。这一发现轰动了物理学界，因为它不仅是一种全新的核反应，而且核裂变伴随着巨大能量的释放。出于对新事物的敏感，费米通过与玻尔讨论，猜测铀原子裂变时可能释放出更多的中子，这些中子又会分裂别的铀原子。依照这种方式，可能会发生一种自行传播的反应，并释放出大量能量，如同一枚鱼雷击中

运送军火的船只，将会引发剧烈的爆炸。这种反应称为链式反应。费米立即与年轻物理学家安德森、西拉德等合作，致力于核裂变链式反应的研究。

鉴于最早的核裂变是在法西斯德国发现的，这种新式反应可能导致原子武器的产生，一批美国科学家致信罗斯福总统，呼吁政府重视这方面的研究。终于美国军方开始资助并组织原子武器的研制。这时，费米关于裂变过程中会释放出中子的假设已被实验证明，但是要实现链式反应还有两个困难：一是裂变释放的中子太快，不能有效地引发新的铀裂变；二是大多数中子在使铀分裂之前，就已逃逸到空气中或被周围物质吸收掉。经过反复试验，费米和西拉德设计出一种链式反应装置：用石墨作减速剂，把铀块和石墨块分层叠放，形成一个反应堆。

1941 年，日本偷袭珍珠港前一天，美国政府决定全力以赴加速原子弹研究，并于 1942 年组织了研制原子弹的曼哈顿工程。康普顿教授主管链式反应的基础研究工作，在芝加哥大学建立了冶金实验室，费米和许多科学家被召集到这里，在芝加哥大学体育场看台下的地下网球场，建造反应堆。按照费米的设计，反应堆为直径 7.9m (26 英尺) 的大球，用一个正方形的木架支撑。各种材料源源不断地运抵运动场，包括装着浓缩铀的铅罐、精炼石墨砖、木板和一个用来罩住反应堆的巨型气囊。物理学家成了建筑工人，他们将石墨砖按方格堆砌，铀块放在方格中央。建造过程中，经历了无数次理论上的推导、讨论、修改，石墨砖层也经过了无数次的堆砌、拆除、再堆砌。经过 6 个星期的紧张工作，反应堆封顶了。1942 年 12 月 2 日上午，在科学家、军方代表和企业代表的注视下，费米指挥启动反应堆。一切都在费米计算之中，反应堆产生了链式反应。这是人类第一次建成了核反应堆，释放了受控的原子能，开创了人类利用原子能的先河。

反应堆的研制成功，有力地推动了曼哈顿工程的进展。一座原子弹实验基地开始在新墨西哥州洛斯阿拉莫斯附近动工修建。很快，工程

兵部队将这片荒芜的台地变成世界上设备最精良的物理实验室。理论物理学家奥本海默被任命为负责人,他将全国物理学界最优秀的人才荟聚在洛斯阿拉莫斯,全力以赴研制原子弹。费米举家迁来这里,担任实验室的副主任,负责F部的研究工作。F代表费米,他们的任务是用物理学家的才华和想象力去解决其他部门所遇到的各种困难。

1945年7月16日,在新墨西哥州南部的阿拉莫戈多爆炸了第一颗原子弹。不久另两颗投放到广岛和长崎,给日本造成巨大的破坏和伤亡。

1945年底,研究人员开始撤离洛斯阿拉莫斯,费米回到芝加哥大学的冶金实验室,继续从事核物理研究。他领导成立了核研究所和研究生院,并亲自给研究生授课。他的学生许多成了著名的科学家,如张伯伦、马歇尔、李政道、杨振宁等。芝加哥大学发展成为物理领域中非常活跃的学术中心。

此时,费米热衷于研制回旋加速器。4年后,芝加哥大学的巨型回旋加速器落成了。这台加速器的磁铁重2200t。费米用这台加速器进行了有关介子与核散射实验,并用来探索未知的粒子和核的世界。

1954年11月16日,费米被提名为美国原子能委员会设立的“费米”奖的第一位获得者。12天后,费米因癌症在芝加哥逝世,享年53岁。

## 5 科研方法

费米英年早逝,他以短短30年的科学生涯在20世纪物理学的许多前沿领域取得了重大成就,其中包括:遵从不相容原理的粒子统计,并把这些统计应用于托马斯-费米原子、重整化量子电动力学、 $\beta$ 衰变理论、由中子诱发的人工放射性实验研究、慢中子的发现、核链式反应的实验、介子-核子碰撞的实验研究等。此外,他对原子、分子、原子核、粒子物理、宇宙射线、相对论等方面也都有重大贡献,其中有些是开

创性的工作。费米是本世纪仅有的在理论和实验两方面都有非凡才能并获得杰出成就的伟大物理学家。

费米取得的成就是与他优秀的科学家素质和成功的科研方法分不开的。

### 5.1 对新事物的敏锐

费米的一个突出特点就是善于接受新事物,掌握新思想,他永远站在当代物理学前沿,这样的事例贯穿了费米的一生。且不说他年轻时对刚产生的相对论和量子理论的迅速掌握,泡利发现了“不相容原理”,他随即提出了费米-狄拉克统计。泡利提出了中微子假说,他发展了 $\beta$ 衰变理论。由于他对约里奥·居里夫妇发现人工放射性的敏感,使得他发现了中子诱发人工放射性。由于及时了解德国核裂变的发现,费米第一个提出了链式反应并且在反应堆上实现了它。新事物、新概念往往有悖于传统思想,开始不被世人所接受,但它们却常常导致某些重大的发现,这就需要科学工作者的迅速了解、掌握并深入研究各种新发现,推动科学的发展。在科学技术日新月异的今天,各种新事物层出不穷,这种能力显得尤为重要。

### 5.2 善于把握机遇

“机遇只垂青有准备的头脑。”科学发现和技术发明的一个显著特点就是具有探索性。人们认识和利用自然规律是一个十分艰难和复杂的过程,不可能遵循某条预定的、意料之中的道路实现预定的目的。它既有目的性,又有意外性,但这种意外性有时恰恰提供了机遇,提供了重要的线索,导致新发现或新发明。这其实是对科学工作者洞察力的考验。如果费米忽略了中子轰击银原子产生的辐射强度与环境的相关性,或者以为这仅是实验误差所致,恐怕慢中子就不会被发现。一个反面教训就是,当中子轰击铀发生裂变时,费米仍旧固守过去激发-衰变的核反应模式,使他坐失了第一个发现核裂变的良机。

### 5.3 创造性思维方法

人们在科研活动中探索未知的世界,往往一些传统思维和方法不能奏效,这里就需要发

挥人的聪明才智,从实验指导思想或设计思想上另辟蹊径.如中子轰击各种元素后产生的放射性同位素含量极少,用通常的化学方法根本无法分离.费米利用同位素的化学性质相同的特性,采用加入可能元素,进行化学分离,再测量放射性的方法,成功地分析出了绝大部分放射性产物.

#### 5.4 演绎推理能力

在物理学研究中广泛应用演绎推理方法.它一般以一些基本规律或观点作基础(大前提),对个别的事物或现象(小前提)进行推理,从而确定这些事物或现象具有的特性或规律(结论).只要大前提正确,推理过程也符合逻辑规律,推理的结论就是真实的.费米发现慢中子对提高核反应产率的作用,正是这种演绎推理的结果.他设想由于木头和石蜡都含有氢原子,中子在与氢原子核的弹性碰撞中损失能量,而慢中子正具有更高的核反应几率.接着费米从理论上计算了这种能量损失,并且进一步推测如果周围换上水,结果也会一样.现代核动力常用的沸水堆和重水堆都证实了费米的推论.

#### 5.5 在理论指导下有明确目的地进行实验

没有理论的指导,实验往往是盲目的,即使发现什么现象也无法从理论上加以解释.在设计建造第一座反应堆时,费米就是事先从理论上计算出反应堆的大小、形状、结构.虽然中间出现多次反复和修正,但总体上是在理论计算基础上有目的地建造.若只凭经验办事,盲目地

(上接第 290 页)

低频声波采油技术适用于提高深度较浅油层的采收率,现场操作简单,施工时不影响油、水井正常生产,可大面积、多口井见效,处理范围最大.该项技术可望成为改造整个油层的首选方法,在提高油层采收率方法中,是一种比较有应用前景的新方法.据国外报道,热采时进行人工地震处理可使采收率提高 6%,进行酸化的同时,利用声波处理,达到的增产效果可为单纯酸化效果的 3—4 倍<sup>[1]</sup>.在国内,除了继续利用非常规声波采油技术增产、增注外,应积极开展利用声波采油技术和常规的采油技术配套使用的

建了拆、拆了建,反应堆是不能成功的.在研制原子弹这样庞大的工程上,理论指导更为重要.费米领导的 F 部在曼哈顿工程中起到了神经中枢的作用.

#### 5.6 自己动手,丰衣足食

费米做中子人工放射性实验所用的盖革计数器就是自己制造的.后来在反应堆、加速器的研制中,他又亲手制造了不少设备.科研经费的短缺、实验设备的匮乏,往往困扰着科学工作者,许多杰出的科学思想因此无法实现.自己动手设计制造仪器、设备,不但可以解决燃眉之急,而且自制的设备有着设计新颖、维修方便、易于改进、造价低廉等优点.自己动手也是体现一个科学工作者研究能力的重要标志.

费米是 20 世纪的一位伟大科学家,他的科学成就是人类的宝贵财富,他的高尚品格和科研方法也是值得我们借鉴和学习的.

#### 参 考 文 献

- [1] 费米夫人著,何芬奇译,原子在我家中,科学出版社,(1979).
- [2] 吴芝兰、郑钦贵著,诺贝尔物理学奖金获得者,福建教育出版社,(1982),167.
- [3] M. J. Klein 等著,欧阳羚等译,近代物理学家传记,科普出版社,(1985),281.
- [4] 蔡华文等著,诺贝尔奖金获得者传,第二卷,湖南科学技术出版社,(1983),104.
- [5] 张瑞琨等著,物理学研究方法和艺术,上海教育出版社,(1990).

研究,如热采、酸化处理等,可以明显的增加处理后的效果.

#### 参 考 文 献

- [1] 黄序韬、梁淑寰,石油学报,9-4(1993),110.
- [2] 宋建平、陈建华,石油钻采工艺,16-6(1994),31.
- [3] 李伟、谢朝阳,断块油气田,3-3(1996),64.
- [4] 白希尧、孙光祖,油田地面工程,15-3(1996),8.
- [5] 邵长金、沈本善、严炽培,石油勘探与开发,20-3(1993),75.
- [6] 任荣、鲁高峰等,新疆石油科技,2(1996),35.
- [7] He Shenghou, Li Yongming, Proceeding of SPE, SPE30255, 19-21 June, Calgary Alberta, Canada, (1995), 147.