

理论权威实验大师 —— 费米

Enrico Fermi



1901--1954

等师范学院，在回答弦的振动原理的考题时，列出了振动簧片的偏微分方程并以三十页纸来解这些方程，主考人对此大为吃惊，称他为“天才的考生”。

大学的课程很容易地通过了。1922年21岁的费米获得物理博士学位，他的学位论文是有关X光研究的

论述。在这期间，墨索里尼法西斯政党夺取了意大利政权。费米前往德国知名学府哥廷根大学跟随着著名物理学家波恩教授工作。至1926年，他已经完成了约三十篇论文，主要涉及理论物理方面有关分子、原子、电子、辐射以及各种气体特性的统计力学，其中，费米统计的建立对物理学是一个很大的贡献，这项成就使费米1927年在国际物理学家的会议上被推选为领袖。同年，费米首任在意大利初创的罗马大学理论物理课的教授。在这期间，费米给学生以高水平的训练，培养出了不少著名的物理学家。

随着科学研究的不断深入，物理学家往往只能从事理论或实验的某一方面。一位科学家如果在一生中对理论或实验的任一方面有所建树，那已是一件很不容易的事了，但是，费米，这位伟大的天才物理学家，却对实验和理论都作出了杰出的贡献，这些成就使他无愧为—代科学巨匠。

恩里克·费米(Enrico Fermi)，1901年9月29日生于意大利，1954年11月28日死于美国芝加哥，他是意大利—美国著名科学家，诺贝尔物理奖金的获得者。费米一生在物理学的许多领域都做了不少有意义的工作，其中，他在理论物理上的最大贡献是建立了费米统计和创立了费米 β -衰变理论；他在实验上的主要贡献是研究了慢中子对核反应的影响、实现了自持链式反应，并且领导了世界上第一个核链式反应堆的建立。他对科学的巨大贡献，使他赢得了广大科学家和全世界人民的尊敬。当他年仅27岁时，就被选为林赛科学院院士；1938年由于他在研究慢中子引起的核反应中的出色成绩而荣获诺贝尔物理奖金；他还被授予与美国科学院院士和英国皇家科学院院士的头衔；人们还建立了以他名字命名的科学奖金；把人工产生的100号化学元素(Fm)以他的名字命名；把芝加哥附近的400GeV质子同步加速器研究中心称为费米国立实验室，…，费米对科学上的巨大贡献永远为全人类所纪念。

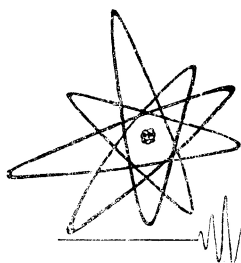
1928年7月费米同意大利海军的一位犹太族将军的女儿劳拉·卡蓬结婚，其时27岁的费米已是一位有名的理论物理学的教授了。他们是在结识四年后才结婚的。因为费米信奉天主教，罗拉信奉犹太教，并且都不是受宗教教育而长大的，他们只举行了普通民间的婚礼，没有走进教堂去，结婚那天，当参加婚礼的客人们都到齐了，却不见新郎踪影。稍后他才赶到，并解释迟到的原因是他穿了一件新衬衫后，发现袖子的长度超过指尖，就在袖口上打了一个大横褶，因而耽搁了时间。由于准备过于匆忙，新郎还忘了依照礼俗携带花束送给新娘，一位细心的亲戚即刻跑到就近的花店买了一束鲜花，才避免了一场过失的发生。费米是不关心这些生活小节的。在小家庭中，因为费米只对直腿的桌椅感到兴趣，其他的东西都很随便，因此，罗拉就负责掌管一切家务，不让他操心了。他专心致力于大学里的研究工作，每天作息都依一定的时间表。费米考虑各种问题总离不开数学，即使在冬天要装挡风窗时，也会坐下来拿出纸笔计算一番，看看有多少冷空气经由窗口跑进室内，并对气温产生怎样的影响，而

费米生于罗马的一家普通职员家庭，父亲是一位铁路职员，母亲是位小学教员，家庭管教很严。费米从小学起就显示出寻常的记忆力，在他求学的年代，很强调文学修养，需要学习意大利、拉丁和希腊的语言和文学，他一直得到最好的成绩，在诗歌方面显示出异常的记忆力。他喜欢独立思考，爱想问题，十岁时就思考为什么方程 $x^2 + y^2 = R^2$ 表示了一个圆的问题。学校的课程对他来说是太容易了，他有足够充分的时间阅读大量各种有趣的科技书籍，当他17岁还在中学学习的时候，就学了大学研究生才学的经典物理学。费米对物理实验很感兴趣，在中学时代就用自己制造的简陋仪器测量了罗马的重力加速度值，罗马水的密度以及地球的磁场值。高中毕业后，费米投考比萨高

等师范学院，在回答弦的振动原理的考题时，列出了振动簧片的偏微分方程并以三十页纸来解这些方程，主考人对此大为吃惊，称他为“天才的考生”。

大学的课程很容易地通过了。1922年21岁的费米获得物理博士学位，他的学位论文是有关X光研究的

论述。在这期间，墨索里尼法西斯政党夺取了意大利政权。费米前往德国知名学府哥廷根大学跟随着著名物理学家波恩教授工作。至1926年，他已经完成了约三十篇论文，主要涉及理论物理方面有关分子、原子、电子、辐射以及各种气体特性的统计力学，其中，费米统计的建立对物理学是一个很大的贡献，这项成就使费米1927年在国际物理学家的会议上被推选为领袖。同年，费米首任在意大利初创的罗马大学理论物理课的教授。在这期间，费米给学生以高水平的训练，培养出了不少著名的物理学家。



科学家



费米的估算往往是正确的。严谨的科学态度在费米身上真是无处不在。

1934年初开始,费米一直继续做中子轰击金属产生人工放射性的实验,这项工作最后导致了第一个原子反应堆的建立。费米在工作中一丝不苟,非常认真,同事们认为在费米身上不会发生错误,就象罗马教皇一样,同事们都亲昵地称他为“教皇”。费米于1938年就因慢中子引起的核反应研究成就而获得诺贝尔奖金。

1938年,德意法西斯开始疯狂迫害犹太人,许多有成就的科学家纷纷逃往美国工作和定居,费米也因其犹太妻子而受到歧视和迫害,1938年年底,费米一家趁去瑞典接受诺贝尔奖金的机会离开了意大利并移居美国。

到了美国,费米的主要科学成就是与其它一些科学家利用哥伦比亚大学加速器实现了铀核的自持链式反应。几乎同时,巴黎的约里奥-居里夫妇也确认了这项结论的真实性。费米在美国另一项的主要成就是负责建成了世界上第一个原子核自持链式反应堆,该反应堆是应康普顿教授之请,于1942年在芝加哥大学的校园中建成的。在以后几年,费米曾在美国的原子弹制造中心——洛斯阿拉莫斯工作。二次大战结束后,费米又回到芝加哥,继续从事中子和介子的实验工作。下面简单介绍费米的几项主要贡献。

费米统计

统计物理学是物理学的一个基本组成部分,它研究由大量微观粒子所组成的系统。它的目的是根据这些微观粒子的运动来解释所观测到的物质的宏观性质,即对这些微观粒子的微观量求统计平均值。

经典统计物理学解释了大量的热力学现象,但在解释热辐射现象中遇到了困难。当辐射频率很高时,经典统计物理学认为总能量趋于发散。1900年,量子论应时而生,普朗克假设简谐振子的能量不是连续的,而只是一个最小能量整数倍。

把这样的假设运用到统计学中,克服了高频时总能量趋于无穷的困难。

量子统计学是在量子力学的基础上建立起来的。量子统计力学与经典统计力学的主要区别在于对于微观运动状态的描写,而在统计的方法,在经典统计中,微观运动状态是用相字来描写的,其中基本的要素是广义坐标和广义动量。而在量子统计中,微观运动是用量子态来描写的,这些量子态是由各种可能的不连续的能级所组成的。1924年,玻色和爱因斯坦建立了玻色统计法,这种统计法成功地解释了热辐射的普朗克公式,但把它用到自旋为 $1/2$ 的粒子,例如电子,这种统计法是不合适的。1925年泡利提出了“不相容原理”:某些质点,例如电子、质子、中子,……,这些自旋为 $1/2$ 的粒子,处于同一量子态的数目至多为1个。这一原

理是十分重要的,并且对量子统计也就提出了新的要求,即对于自旋为 $1/2$ 的质点还必须考虑泡利不相容原理。服从泡利不相容原理的新型统计是1926年首先由费米发现的,所以人们把自旋为 $1/2$ 的粒子称为费米子(而把自旋为整数的粒子,例如 π , K , ν 光子,称为玻色子,它们服从玻色-爱因斯坦统计),费米所发现的统计称为费米统计。

费米统计首先应用到金属中自由电子的统计,这种统计解释了金属中的比热问题,指出在通常温度下电子对金属比热的贡献可以忽略,但在极低温度时,电子对金属比热的贡献就不能忽略。此外,也得出了金属的热离子发射的公式,即里查逊公式。把费米统计用到自由电子的输运过程也取得了很大的成功,导出了电导率、导热率的表达式。

费米-狄拉克统计法广泛地运用到电子、质子、中子和所有半整数自旋的粒子,大家知道原子、原子核物理,固体物理和基本粒子物理的理论都是通过对微观粒子的统计研究中得出宏观可测的诸如作用几率、截面以及其它物理参数的,也就是说,这些理论是以统计力学为基础的,而玻色统计和费米统计正是提供了这样一种基础。

β -衰变的费米理论

1896年,法国物理学家贝克勒尔从铀盐中发现了天然放射性,不久,人们根据所观察到的辐射的贯穿本领,将天然放射性分为三类即 α , β 和 γ 射线,其中 α 的射程最小,通过研究,1908年卢瑟福证明了 α 粒子是氦原子核 He^4 。 γ 射线具有最强的贯穿本领,它不被磁场所偏转。实验证明,和原子中发射光子一样, γ 射线是在原子核由一较高能级跃迁到较低能级或基态时发射出来的,它的能量 E_γ 等于这两个能级间的能量差 ΔE_γ 。而 β -射线则是由通常的电子所组成,研究表明 β -射线具有连续的能谱,它既可以是电子,也可以是正电子(β^+ -衰变)。并具有一定的最大值这一点与 α 和 γ 谱都不同,为了正确解释 β -衰变,物理学家摸索了很长的时间。 β -衰变在理论上的困难是,能量和动量在衰变过程中不守恒。还存在着角动量与核的统计之间联系的其它困难。最早正确解释 β -衰变现象的是泡利,他在1934年提出了中微子的假设,根据这个假设,在 β -衰变中,从原子核中发射出两个粒子,即电子和中微子。这样,原子核衰变能量就由电子、中微子和反冲核三者分配:由于原子核质量很大,反冲核能量就很小,可以忽略,主要只有中微子和电子参与跃迁能量的分配。而中微子很难探测到,这就解释了 β -谱连续分布的特点,同时也解决了 β -衰变中的角动量守恒问题。

中微子的假设虽然成功地解释了 β -衰变中的所有特点,但不能定量地解释 β -谱的各个细节以及 β -衰

变的各种规律,为此需要建立定量的 β -衰变理论;正是费米,1934年在中微子假设的基础上建立了 β 衰变理论。

费米的 β -衰变理论的最主要的实验依据是:

1. 电子和中微子是在原子核 β -衰变的过程中产生并发射出来的,跃迁的前后不属于同一原子核,而且所发射的量子是电子和中微子,因此这是一种新的相互作用,核子可以看作是 β -衰变场的源泉。

2. β -衰变具有比其它类型长得多的寿命,实验测得的寿命在 3×10^{-2} 秒到 4×10^{10} 年,甚至更长。由此可以推断,电子-中微子场与核之间的相互作用是一种弱相互作用,量子力学中的微扰论将会给出很好的结果。

在费米的 β -衰变理论中,他还引入了一个新的自然界的基本常数,即费米常数 G ,它起了在电磁作用中电荷相类似的作用。

β -衰变理论的建立,不仅可以指导原子核衰变问题的研究,而且还把粒子间的相互作用延伸到弱相互作用,开辟了弱相互作用研究。

慢中子对金属的激活

1934年1月法国物理学家约里奥-居里宣布发现了人工放射性现象。他们用高速 α 粒子轰击铝,他们发现衰变产物是不稳定的,在几分钟内就发射出小粒子(正电子)。不仅是铝,而且还有一些轻元素在 α 粒子轰击下也会转变成放射性物质。但对较重的元素, α 粒子则不起作用。费米获悉这个消息后,决定用中子产生人工放射现象。中子不带电,它在物质中的路程就比 α 粒子长得多,因此,中子与原子核作用的机会就大得多。虽然用中子轰击有它的优点,但也有它的缺点,因为中子在当时是用 α 粒子轰击某些元素产生的,产额比较低。中子是否是良好的核“炮弹”,这还需要由实验决定。当时费米虽然做过不少实验,但还未做过核衰变方面的实验,费米为此必须学习新技术,获得中子源和一种衰变产物的探测器。这种探测器就是盖革计数器。但盖革计数器在当时刚发明,无成品提供,费米自己动手制造了盖革计数器,并设法搞到了中子源。费米是一个严谨的人,他按顺序用中子按元素周期表的序列轰击氢(水)、锂、硼、碳、氮,但那一种也没被激活。其间,费米曾一度动摇。后来,氟被激活了,氟以后的元素也被激活了,这些成果使费米和他的同事受到极大的鼓励。

费米希望用中子轰击地球上92种元素,但有几种元素是罕见的,不容易得到,为此费米想了许多办法。当激活了一种物质后,就需要确定所得产物为哪种元素,为此,他们也设计了专门的方法。在做这类实验时,由于中子是在氢和铍的反应中产生的,氢的寿命很短,此外,在实验中产生的物质寿命也很短,为了抓紧

时间测量,在实验室中实验人员常常需要飞跑。费米长期喜爱运动,在这里充分发挥了他的长处,他总是跑得最快。

用慢中子激活金属的实验研究产生了巨大的深远意义。事情是这样的:在金属激活的研究中,他们把被试验的金属都做成同样大小的空圆筒形,内部可装入中子源,然后测量金属的放射性。有一次他们用一大块石蜡,在中间挖了一个空穴,把中子源放在空穴里照射银圆筒,然后拿到盖革计数器那儿测量它的放射性,结果表明,石蜡竟把银的人工产生的放射性增加了100倍。1934年10月,费米给出了解释上述现象的理论:石蜡中含有大量的氢,氢核是与中子质量相同的质子,中子在到达银之前便击中石蜡中的质子,中子在与质子碰撞时,损失掉一部分能量。一个中子在出石蜡之前,连续与许多质子相碰,因此,速度大大降低。当然慢中子就具有多得多的机会被银原子核俘获,因此,这些俘获中子的银原子核数目大增,这就导致了银的放射性大增。为了试验费米的上述假设,他们也使用了含氢比较丰富的水代替石蜡做试验,水也把银的人工放射性增加了许多倍。这个发现,使费米和他的同事欣喜若狂。就在当天晚上,他们就给“科学研究”写了研究通讯。由于他们是那样激动,以致费米家的女仆好奇地探问这些客人是不是全喝醉了。

费米的慢中子引起的核反应研究成就使他荣获了诺贝尔物理学奖金。1938年11月10日,瑞典的斯德哥尔摩给费米打了电话,瑞典科学院的秘书在电话中宣读了奖状:“奖金授与罗马大学恩里克·费米教授,以表彰他证实了由中子轰击所产生的新的放射性元素,以及他在这一研究中发现了由慢中子引起的核反应”。

自持链式反应

1938年年底,费米带着全家趁着去斯德哥尔摩领取诺贝尔奖金的机会,逃离了法西斯意大利,移居美国。就在他去美国的期间,德国的两位化学家哈恩和斯特拉斯曼继续进行用慢中子轰击铀的工作。得悉慢中子的铀裂变消息后,费米和一些核物理学家都以激动的感情寻找在裂变中产生的中子,费米意识到:“打碎一个铀原子核要用一个中子,我们必须首先制出、随后用掉那个中子。然后,如果铀原子在裂变时释放出两个中子。这两个中子能击中另外两个铀原子,同时使它们每一个都又发射出两个中子。在这第二个裂变过程结束时,就会有四个中子……”换句话说,开始仅用很少几个人造中子来轰击一定数量的铀,就可以得出一连串反应,它们会自发地持续下去,直至全部的铀原子都被分裂为止”。这就是自持链式反应的基本思想。费米等人利用哥伦比亚大学的加速器加速的氘核打击

铍，可以产生比在罗马实验时强十万倍的中子强度。因此，他们很快就证实了铀核链式反应的实验。

在铀核的链式反应研究中，费米曾一度努力利用常规的同位素混合的普通铀来获得链式反应。不久就确认，在天然铀中的两种同位素，仅仅 U^{235} 可由慢中子引起裂变。链式反应当时就被一些科学家建议用作原子武器，1939年下半年，一批科学家联名写信给美国总统罗斯福。1941年年底，美国总统下令进行原子能研究。当时，费米应康普顿的邀请去芝加哥工作。费米领导了一批科学家在芝加哥大学的校园内，建成了世界上第一座自持链式核反应堆。1942年12月2日，人类利用这个反应堆首次完成了自持链式反应的实验，实现了可控核能的释放，揭开了人类利用原子能的序幕。

在美国建造原子弹期间，费米在洛斯阿拉莫斯工作。战后，费米又回到芝加哥。当大型质子回旋加速器于1951年建成时，费米又把他的兴趣转到了介子方面，并以巨大的毅力学习相应的新技术。

费米在科学上的贡献，还有对原子、分子、核及粒子物理学，宇宙线，相对论等领域的贡献，这些都增添了整个物理学的新篇章。当然，对这样一位科学巨匠，正确地评价他在物理学史上的历史地位还为时太早，但毫无疑问，把他称为理论权威、实验大师是当之无愧的。

(敬 业)