

重核裂变的发现——从费米到哈恩

郭奕玲

二十世纪三十年代,中子、正电子和氘的发现以及回旋加速器等仪器的发明标志着核物理学的诞生,而重核裂变的发现,则是又一项重大事件,从此人类打开了释放原子能的大门。这一发现经历了曲折的过程,既有偶然的机遇,也有思想的冲突,它是人们长期奋斗的必然结果,里面凝聚了好多位著名科学家的心血和汗水,其中最突出的两位是费米(F.Fermi)和哈恩(O.Hahn)。

费米

费米是意大利人,1901年出生于罗马。他从小就对数学物理有极大兴趣,酷爱读书,从广泛的书籍中获取知识。他的父亲是铁路雇员,有一位同事叫阿米第(A.Amidei)。阿米第发现14岁的小费米具有非凡的才能,就把自己许多数学书和工程书借给他,并指导他阅读。费米从这位启蒙导师接受了坚实的数学教育,他在学校功课超前,教师们觉得没有什么可教,就让他就在实验室里自由做实验。他利用这个机会自制仪器做了许多实验,从这里他很好地掌握了实验物理学,17岁时,费米以优异成绩获取了比萨(Pisa)的皇家高等师范学院的奖学金,这是一所培养尖子的学校。指定他做的论文题目是《声的特性》,他先以半页作了一般介绍,接着用20页的篇幅对振动棒作了详细的数学分析,写下了偏微分方程,求得本征值和本征函数,并用福里哀分析讨论其运动。如此复杂的答卷竟完全没有靠书本,中间没有任何错误。这样的水平甚至连博士生都难以达到。评审的教授对他的答卷大为惊讶,决定破例和他面谈。那位教授对他说:“我从来没有见过你这样的年青人”。入学后,费米得到了优良的学习条件,一年内就掌握了量子理论和相对论。

1922年,21岁的费米就获得了比萨大学的博士学位,次年得奖学金到德国等地学习。回国后,在25岁上当了罗马大学的理论物理学教授。1927年提出一种统计理论,被称为费米-狄拉克统计理论,在微观世界有广泛的运用,是核物理学的理论基础之一。1933年底,费米又提出了 β 衰变理论。他成了国际闻名的理论物理学家。

约里奥-居里发现人工放射性

1934年1月,巴黎的约里奥-居里夫妇宣布发现

了人工放射性。他们当时是在研究 α 射线对铍的作用,他们让从钋发出的 α 粒子从极薄的铝箔窗由容器中穿过。出乎意外地发现铝箔也具有放射性。他们把铝箔从容器上取下来,将放射源取走,测出这种放射性的半衰期大概是3分钟。他们再把有放射性的铝溶于苛性钠,进行快速化学分离,又发现放射性并不在铝中,而是与元素磷有联系。于是他们发现了磷的新同位素磷-30。最后磷-30又变成了稳定的元素硅-30。

这时,世界各国许多科学家正在广泛开展放射性同位素的应用。

靠人工在实验室里就可以产生各种放射性同位素的喜讯极大地鼓舞了他们,因为从此就可以不再限于自然界存在的天然放射性。同位素的应用展现了广阔的前景。

用中子作炮弹

但是,罗马的费米想得更深也更远,他的脑海里闪现了一道光辉的思想火花。用中子作“炮弹”!它要比 α 粒子优越得多。因为 α 粒子是带正电荷的氦核,它作为入射粒子的有效性,由于自身带正电荷会受到限制。它既会受原子周围的负电子吸引,又会受原子核的正电荷排斥,所以 α 粒子打到原子上,往往速度大大减弱,碰撞的几率微乎其微,约里奥-居里的实验虽然获得了新的放射性同位素,但其效率极低,一百万个 α 粒子打到铝原子上只有一个起作用,对重元素则毫无效果。而中子不带电,既不会受电子吸引,也不会被原子核排斥,它在物质中的路程要比 α 粒子长得多,用中子轰击原子,效果肯定比 α 粒子好得多,这些想法早在1920年卢瑟福就预言过。当然,利用中子也有困难的地方,中子不会由物质自发地发射,必得靠 α 粒子“轰击某些元素,这一过程大约只有十万分之一的几率,即要有十万个 α 粒子才能激发一个中子。这样低的效率,使人担心中子的方案是否可行。

唯一的依据就是实践!一向从事理论工作的费米决心自己动手来干,他的周围那时已有一些合作者,包括西格雷(E.Segre)、阿马尔迪(E.Amaldi)、拉塞第(F.Rasetti)。他们从1932年开始就已经着手做一些核物理实验研究。费米本人也参加实验,并和拉塞第合作制作一台 γ 射线光谱仪。1934年初,这时他的理论工作刚刚告一段落,可以抽出时间做些实验。

开始时，费米邀请拉塞第一起做实验。拉塞第是实验行家，他制备了钋-铍中子源。盖革计数器那时没有现成的仪器可购，只能自制。

前几星期，他们用中子辐照各种元素，都不见效果，显然中子源太弱了。这时，拉塞第休假走了，留下费米一人继续做实验。有一天，费米突然灵感上心，想道：何必用钋-铍源呢？用镭射气和铍作中子源不是可以得到强得多的中子束吗？这样的中子源在γ射线光谱仪中曾经用过的。

于是，他和小组成员一起制备了新的中子源。这种中子源是一根长玻璃管，末端夹着一段小玻璃管，里面封装着镭射气——氦，和一些铍粉。氦会自发地不断释放α粒子，α粒子打到铍上，再放出中子。

费米是一位很讲究方法的人，他不是漫无目的地轰击各种物质，而是从最轻的元素——氢开始，然后按元素周期表的顺序进行。氢没有给出结果。当他用中子轰击水时，也没有出现任何迹象。下一步试验锂，Li，也没有交好运。他继续轰击铍、硼、碳、氮。那一种元素都没有被激活。费米都有点泄气了，几乎到了要放弃试验的地步。但是他的顽强性格使他坚持了下来。下一个元素是氧，因为已试过水，不需再试，因此他就辐照氟。就在这时，氟被激活了。他终于得到了好结果。后面是铝，也出现了人工放射性。这就验证了约里奥-居里的发现。于是，费米在1934年3月25日写了第一篇通信给“Ricerca Scientifica”杂志。

接着费米动员了全组进行了这项实验。大家分工协作，费米管测量和计算，西格雷保证待测材料受到辐射，阿玛尔迪负责计数器和电子线路，惟独缺少化学专业人才。正好这时有一位在巴黎进修的化学家叫达哥斯廷诺(D'Agostino)在罗马休几天假。费米向他介绍了自己的工作，竟把他说动了心，留下来一起工作，再也没有回巴黎去。

在以后的几个月中，费米小组发表了一系列实验结果。他们用中子辐照了大约68种元素，其中有大约47种产生了新的放射性产物。这些同位素的生成，大大丰富了核物理学的信息资料，也为化学等学科的应用提供了更多的放射源。

费米小组的工作是很艰苦的，只是靠了集体的力量才有可能顺利进行下去。中子源每周必须重灌氦气，这是一项复杂而细致的工作。实验在一座大楼通道两头的两间实验室进行，一间放中子源，各种元素的化合物样品，就放在中子源旁边，接受辐射，然后依次送到另一间实验室去检测。两间实验室相距很远是为了避免中子源干扰析测仪器，有的样品半衰期极短，他们就靠小跑运送。据说，有一位西班牙的科学家前来访问费米，只见费米和阿玛尔迪“两个人都穿着肮脏的灰色外衣，手里都拿着一个怪东西，从他身边发疯似的跑了过去”。这个场面使来自西班牙的客人大大为惊讶。

费米就是在这样的条件下进行实验的。

超铀元素之谜

1934年夏天来到之前，费米小组依顺序用中子轰击当时所知的最重的元素——铀 ^{238}U ，得到了放射性产物。他们测出这种产物的半衰期和化学性质，发现它不属于从铅到铀的那些重元素，和用中子轰击其它重元素的结果不一样。这是一种异常情况，很使费米等人吃惊。应该说，这就是重核裂变的最早证据。可惜，费米在这个问题上作出了错误的判断。他们那里会想到这是重核在中子的轰击下分裂成了几大块，每块相当于一种新的放射性产物，是原子序数比铀小得多的某种元素的同位素，他们猜想铀被轰击后产生的新物质可能是 ^{93}U ，再经β衰变转化为原子序数为93的新元素。不过，这种猜想还没有充分根据。1934年5月，费米发表了论文，报道实验有这样的迹象，并未作定论。可是，当时身为参议员的罗马大学物理研究所所长柯比诺(O.M. Corbino)在意大利国王出席的林赛科学院会议上发言时，却肯定为发现了第93号元素。结果引起新闻界大肆宣扬，吹捧这是法西斯主义在文化领域的胜利。费米对此极为不安，郑重声明，尚须做许多精密实验，才能肯定93号元素的生成。

费米小组没有能及时纠正93号元素的错误判断，主要原因是一直没有找到充分的证据。相反，更多的事实对所谓“超铀元素”的假说有利。欧洲好几个研究机构，特别是巴黎的居里实验室和柏林大学的化学研究所都肯定了费米的实验。从比钷、铀原子序数小的重元素类推，也支持超铀元素的说法，所以几乎没有人对这个说法怀疑。后来，他们还进一步“发现”好几种新的物质，并“判定”它们是“超铀元素”。及至1938年，原子序数比铀大的94号、95号、96号和97号元素都已“发现”，超铀元素的说法已经得到科学界的公认，甚至被当作新成就列进某些教科书的内容。

有趣的是，早在1934年9月，德国有一位女化学家叫诺达克(F. Noddack)曾对费米的超铀元素说法表示怀疑，发表文章说：“可以想象，当重核被中子轰击时，该核可能分裂成几大块，这些裂片无疑将是已知元素的同位素，而不是被辐照元素的近邻”她和她的丈夫在1925年以发现第75号元素——铼——闻名于世，可是这番话却没有人相信，因为她也只是一种猜测，既没有亲自动手做实验，也没有认真分析他人的结果。

直到1939年1月，93号元素之谜才由柏林的一个研究小组予以澄清，这个研究小组的核心人物就是哈恩。

哈恩和迈特纳

哈恩是德国人，1879年生于法兰克福。他从小就

对化学很有兴趣，竟把家里的洗衣房当成自己的实验室。大学期间受业于著名的化学家秦克(T.Zincke)，后来就留下当这位化学家的助手。1904年哈恩有机会去英国向拉姆赛(Ramsey)学习，拉姆赛曾发现过好几种惰性气体，这时正在研究放射性。拉姆赛让哈恩也作放射性的研究。一开始，哈恩就作出了惊人的成果，出乎意料地在铀盐中发现了放射性比钍强几十万倍的一种新元素，他称之为射钍。1905年，经拉姆赛介绍，哈恩到加拿大与卢瑟福合作，次年发现了射铀，再一次显示了实验才能，深受卢瑟福喜爱。他和卢瑟福有共同的志向，都善于用最简单的设备解决深奥的问题，得出可靠的科学结论。他们合作的时间不到两年，在这段时间里，哈恩向卢瑟福学到了许多宝贵的经验，但最重要的，是哈恩从此下定决心研究放射性化学。

1907年，哈恩回到柏林，在柏林大学化学研究所工作。他利用一间细木工房作实验室，开始他长期的研究工作。在这里，他遇到了奥地利来的年青女物理学家迈特纳(Lise Meitner)。两人在这里长期合作，一起研究放射性，三十年中间，他们作出了多项发现，其中包括1917年共同发现了镤。

迈特纳是犹太血统的奥地利人，由于受到种族迫害，在他们的研究到了最关键的1938年，被迫离开了德国。几个月后，哈恩和他的助手斯特拉斯曼(F.Strassmann)成功地获得了重核裂变的实验证据。

这是一项有历史意义的事件，在叙述它之前，先让我们了解另外两件与之有关的发现。

慢中子的作用

1934年10月，费米小组偶然地、但却是在精心观察下发现了一件有深远意义的现象。彭特柯伏(Pontecorvo)和阿玛尔迪正在辐照一块银制的圆筒，这个圆筒中间放着中子源，整个装置又放在防护用的铅盒内。他们发现，银的放射性随装置在铅盒中的位置而变动。他们把大块石蜡挖了个洞，把中子源放在里面，然后辐照银圆筒。没有想到，由于石蜡的在场，银的放射性竟增大了上百倍。他们又放到水下做实验，证实水也有类似的作用。接着，费米正确地解释了铅、石蜡和水的作用，是使快中子减慢了速度。他们又发现，含氢物质特别有效，是因为氢核(即质子)与中子的质量相近，碰撞后速度减小的比率大。速度低，被原子核俘获的机会增多，因此放射性的生成也增加了。

认识到慢中子的作用不但加速了放射性同位素的应用，而且对重核裂变的发现提供了重要的方法。

镭的“奇怪”出现

另一件与重核裂变的发现有关的现象是巴黎的居里实验室找到的。刚才说了，约里奥-居里夫妇也支持

“超铀元素”的假说。他们正在研究中子对重核的轰击作用。

1937年，伊伦娜·居里和沙维奇(P.Savitch)在用中子辐照铀盐时，发现了一个新现象，分离出来一种半衰期为3.5小时的成分，其化学性质很像镭。镭是稀土族元素中的第一名，原子序数为57。与它化学性质相近的重元素是锕⁸⁹Ac。他们初步判断，3.5小时的放射性应属于锕。可是再进一步追踪，经过结晶分离，分离出了镭，出乎他们意料，3.5小时的放射性不在镭中，镭的放射性倒是加强了。他们本来可以从镭的出现得出重核裂变的结论，因为已经接近解决问题的边缘，然而，他们没有迈出关键的一步，而是将实验结果作了客观报道，并且加了有倾向性的猜测。说这一放射性元素或许也是一种超铀元素。

后来查明，在铀裂变产生的裂片中还有一种元素，叫钷，其半衰期也正好是3.5小时，居里小组没有能够完全把3.5小时的放射性提炼出来，所以无法作出准确的判断。

重核裂变终于发现了

伊伦娜·居里报道镭的出现，引起了哈恩的强烈反应。当他收到居里的文章时，立刻叫了起来，喊道：“这不可能。居里和沙维奇一定是搞混了”。于是他就和助手斯特拉斯曼立即重复居里的实验。当时迈特纳因躲避纳粹迫害不得不开德国，只剩下斯特拉斯曼帮哈恩工作。

他们用慢中子轰击铀。

经过一系列精细的实验，在铀的生成物中找到一种放射性物质，其放射性的半衰期为4小时，接近3.5小时，不过，化学性质却与镭不同，而与钍类似。但是钍的原子序数是56，也是处于元素周期表中间的位置。他们当然无法确认它就是钍。从他们已经形成的判断准则来看，这只能是与钍属于同一族的镭，所以他们想这或许是镭的一种尚未发现的同位素。可是，费尽九牛二虎之力，就是无法从钍中分离出带那种放射性的镭来，那种放射性总是伴随着钍沉淀。他们只好承认它存在于钍中而不在镭中。后来，又经过多次实验，证实了居里的结果。也就是说，从化学分析的结果看，无可辩驳地肯定了中间化学元素的出现。

哈恩对实验结果实在无法理解，他不敢设想铀在慢中子的轰击下竟会碎裂，但他是一位严谨的实验家，如实地报道了实验结果。1939年1月德国的《自然科学》杂志发表了哈恩和斯特拉斯曼的论文，在结尾中，他们写道：

“作为化学家，我们真正应将符号Ba、La、Ce引进衰变表中来代替Ra、Ac、Th，但作为工作与物理领域密切相关的‘核化学家’，我们又不能让自己采取如此剧烈的步骤来与核物理学迄今所有的经验相抗。也

许一系列巧合给了我们假象”。

一个月后，哈恩和斯特拉斯曼在另一篇文章中口气完全变了，从试探和怀疑变成完全坚定而自信，这也许是他们跟迈特纳在这期间通信的结果。

迈特纳这时在斯特哥尔摩的诺贝尔研究所工作，她接到了哈恩在发表1939年1月论文之前寄来的信，信告诉她最近得到的惊人结果。她正准备利用圣诞节假到瑞典南部去与侄子弗利胥（O. Frisch）会面。弗利胥也是优秀的物理学家，此时35岁，1934年就流亡到国外，在玻尔的理论物理研究所工作。迈特纳和弗利胥见面后，把哈恩的信给他看。起初，弗利胥也表示怀疑，但迈特纳坚信哈恩的能力和无可击的技术，他绝不会搞错！迈特纳和弗利胥展开了热烈的争论。可是，原子核由许多质子和中子组成，它们互相强烈地吸引着，怎么会因为增加了一个中子就一分为二呢？中子并没有带来多少动能呀！

迈特纳和她的侄子在白雪覆盖的丛林中漫步，弗利胥想起了玻尔不久前提出的“液滴核模型”。这个模型是说，在某些情况下，可以把核想象成液滴，核子——质子和中子——就象真正的水分子。强相互作用造成的表面张力使核平常保持球形，但在某些情况下，液滴可以由于振动而拉长。他们想，如果这时被中子打中，也许会以巨大的能量分裂。

他们用了两天时间思考这一新的见解。两人分手后，弗利胥返回哥本哈根，正值玻尔准备离开去美国。弗利胥告诉他哈恩的化学结论和自己与迈特纳的想法。

弗利胥后来回忆道：“我刚开始告诉他（这些消息）时，只见他用手敲打自己的前额，惊呼‘啊！我们好笨啊！这真有趣！正应该这样！’”

应玻尔的请求，弗利胥写了一篇论文，寄交《自

然》杂志，同时，他和迈特纳联名也写了一篇简短的通信，论证重核裂变的产生。“裂变”（fission）一词就是首先在这篇文章中提出的。弗利胥还设计了进一步实验的方案并立即着手进行。

1939年1月26日玻尔在华盛顿参加理论物理讨论会，费米也正在那里。这次会议本来是要讨论低温物理的，由于玻尔讲到重核裂变的新进展，引起会议极其热烈的讨论。

华盛顿卡尔内奇（Carnegie）学院的三位科学家立即安排实验来寻找这些能量极大的粒子。在1月28日会议结束时，特邀玻尔教授和费米教授观看表演。同一天约翰·霍普金斯大学的福勒（Fowler）和道德逊（Dodson），1月25日哥伦比亚大学的唐宁（Dunning）及其合作者，以及弗利胥在哥本哈根都分别观察到了这个粒子。

消息传开，群情激奋，重核裂变的现象在短时间内得到世界各地科学家的证实，并进行了研究，就在1939年内，发表了一百多篇这方面的论文。

从此开始了利用原子能的新时代

亲爱的读者，上面讲的是重核裂变的发现经过，从这一段史实，您能不能提出，在提到的这些科学家中，那位该是重核裂变的发现者？是费米？是哈恩？是诺达克？是弗利胥？是迈特纳？还是伊伦娜·居里？应该说他们都有贡献。我们不必纠缠于争论谁的功劳大，但至少可以由此得到一条信念：科学是人类集体的事业；是人们以各种方式，有形的和无形的，进行协作的产物；在科学探索的道路上，失败和挫折是难免的，只要不怕艰难，严谨踏实，以科学态度从事工作，就有可能对科学发现作出自己的贡献。