

核世界奥秘的探索

2、发射轰击粒子的“原子炮”

卢瑟福在首次人工核反应中，作为炮弹用的 α 轰击粒子是来自天然放射性元素镭的衰变产物。因它能量较小，故只能与氮、镁和铝等少数轻元素发生核反应。另外在实验中发现许多 α 粒子都毫无目标向四面八方乱射。这就好像劣等炮手操炮时不加瞄准，盲目发射炮弹，结果很少击中目标一样。例如，对氮核而言，需用 30 万个 α 粒子才有一个氮核被击中；同样，如用铝核作靶子，则需用 12 万 5 千个 α 粒子轰击才有一个铝核被击中发生核反应。由此可知，这种天然放射性所发射的 α 粒子命中率实在太低，而且从能量和强度方面看也太弱，因为放射 α 粒子的镭盐实在太少了，当时都是以毫克来计量的。所有这些弱点，都严重地影响核反应实验的进行。

但是，科学家们为了揭开原子核内部的秘密，往往像小孩子为了想知道有趣玩具内部的奥妙，经常把玩具拆开那样，总想把原子核打开来看个究竟。于是他们就设法把更多的粒子(如氢核和氦核等)用来作为轰击原子核的炮弹，并把它们装填在能产生极快速度，又能按照指定方向发射的“原子炮”中，以准确命中更多的原子核，产生各种各样的核反应。

就在 1928 年，生于俄国的美国物理学家盖莫夫提出了用质子替代 α 粒子作为炮弹的设想。由于质子本身所带的电荷少，因此与核相互作用的静电斥力也小。这样即使能量比较小的质子(能量为 50~60 万电子伏)，它也能克服库仑每秒一千万到十亿个，而每秒一个毫安的质子流可获得的质子数就比 α 粒子流要大一百多万倍左右。

另外，质子也比较容易取得，只要把普通的氢原子剥去一个电子后就成为质子。这样带正电荷的质子又能方便地被电场加速，使它的能量能大大地提高。为此，物理学家会同机械设计师一起开始设计制造这种能够加速粒子的机器，人们习惯上称它为“粒子加速器”或“原子炮”。

就在 1930 年前后，英国物理学家考克饶夫和瓦尔顿一起建造了第一台粒子加速器。它是利用高压电极上的高电势，对离子源所发射的质子流，在抽真空的加速管中被加速，最后打在靶子上，同靶原子核发生核反应。这实际上是一台倍压加速器，当时他们在五级加速电极之间加上 80 万伏高电势，获得了能量约为 70 万电子伏特的质子流，最后被打在锂 7 靶上。所产生的核反应仍用硫化锌制成的荧光屏进行观测。结果发现每 10 亿个质子中就有一个质子打中锂核产生反应，形成一个具有 4 个质子和 4 个中子的不稳定中间核。然后，分解成两个氦核。

从上式可看出，核反应的最终结果生成了两个 α 粒子。根据力学定律，它们应该带着相同的能量，向相反方向飞出，这可从威尔逊云室所摄取的照片上所观测到的向相反方向成对飞出的 α 粒子径迹得到验证。另外，根据它们在空气中的射程(为 8.4 厘米)，求得其能量各为 8.8 兆电子伏。

由此可见，核反应结果所得能量竟然是入射质子能量 0.7 兆电子伏的 25 倍。这就预示着人们将可从核反应过程中取得巨大的能量。

而另外一种加速器是在 1931 年由美国物理学家范德格喇夫建造而成的。他突破了倍压加速器在高电压上的限制，首先应用动带式静电起电机获得了高达 1.5 百万伏电势差。后人为了纪念他，就把这种类型的粒子加速器称为范德格喇夫静电加速器。其主要部件高压电极的直径 1~2 米。而到了 1933 年已大到 4.57 米；1936 年达 10 米。但最高电压都不超过 3 兆伏。1940 年后又提高到 5 兆伏。后来在结构上又作了很大改进，在 1955 年发展成为串列式静电加速器，每一级为 10 兆伏，二级为 20 兆伏，三级则为 30 兆伏。质子流强为 4 微安。由于它具有加速能量高、束流品质好、能量稳定度高等优点。所以一直是原子核物理实验研究工作不可缺少的工具。

与此同时，其它各种类型的“原子炮”也得到了飞速发展。其中最著名的是美国物理学家劳伦斯在 1931 年设计制造了第一台用来加速离子的回旋加速器，它的工作原理是被加速的带电粒子在两个扁平的“D”形盒中作圆周运动。D 形盒内部是抽高真空的，被加速粒子的圆周运动是由磁场作用所造成的。只有当带电粒子通过交变电场时才能被不断加速获得能量。

劳伦斯的第一台回旋加速器的磁极直径只有 10 厘米，加速电压为 2000 伏，能把氢离子加速到 8 万电子伏。到了 1932 年，他把直径增大到 27 厘米，质子能量可加达到 1.2 兆电子伏；1933 年，磁极直径已达 1.5 米，磁铁重 220 吨，能把质子核氘核分别加速到 10 和 20 兆电子伏。束流强度可达每秒 6 兆亿个氘核，所以说加速器的效能的确是十分巨大的。

但是，回旋加速器却不能加速质量极小的电子。而世界上第一台用于加速电子的电子感应加速器是在 1940 年建成的，当时只能把电子加速到 2.3 兆电子伏。1942 年建成 20 兆电子伏的电子感应加速器。到了 1945 年，电子能量又提高到 100 兆电子伏。而目前世界上最大的一台电子感应加速器能把电子加速到 315 兆电子伏。

除此以外，在加速器的类型中还有直线加速器。随着微波技术的发展，1947 年已经开始建造行波电子直线加速器和驻波质子加速器，它们分别能把电子加速到 22000 兆电子伏；把质子加速到 800 兆电子伏。

近年来，世界上工业和科学技术发达的美国和苏联，它们把加速器越作越大。其中高能环形加速器的直径达 2 公里；直线型加速器的长度超过 2 公里，被加速质子的能量高达 5000 亿电子伏。这就是英国在 1969~1972 年间建成的世界上最大的加速器。它的磁铁重达 9000 吨。电力消耗峰值为 5 万千瓦。而当今国际上还在倡议建造世界性的大加速器，直径将近 20 公里，加速能量十万亿电子伏。它比目前最大的加速能量大 20 倍，总投资达 20 亿美元。

总之，在建造原子弹的过程中，为了能获得高能量的“炮弹”，其耗资是十分惊人的。而且在加速“炮弹”过程中也要消耗巨大的能量。就被命中靶核的单发“炮弹”而言，它有可能通过核反应把更大的能量释放出来。即使这样，原子弹本身仍然存在着打不准、效率低的问题，千万发“炮弹”中只有一发能命中靶。当然，作为靶子的原子核本身其体积十分微小，确实不易被瞄准。加上靶核所带的正电荷对炮弹有静电排斥作用，即使把靶子做得很厚使靶核数大大增加也无济于事。这是因为被加速器加速的带电粒子所携带的能量，在靶子的表面层内很快被消耗殆尽，仅能深入 1 毫米后就停止不前了。所有这一切，使得科学家们希望能够找到命中率更高的炮弹。1932 年中子的发现，实现了这个愿望。

3、中子的发现

卢瑟福在首次人工核反应中找到质子以后，在 1920 年对原子核内部结构提出一个更大胆的设想。他认为原子核内至少存在着质子和电子两种亚原子粒子，它们聚集在原子核内十分狭小的范围里，单个质子和电子成对地紧抱在一起，形成一个个组合粒子。

这虽然能解释原子核内部并非只是由质子单独构成的事实，但仍无法说明由质子来组成原子核的全部质量。例如，氢原子核有两倍于质子的电荷和四倍于质子的质量。如果认为氢核的质量是由 4 个质子所组成，那末电荷数就相差 2，人们不禁要问多余的电荷哪里去了？显然，若能在原子核里放进两个电子，和多余的电荷平衡，那么电荷数和质量数就能自圆其说了。

由于当时还没有发现过不带电荷的亚原子粒子，故就无法用核内存在不带电荷只有质量的粒子进行揭示。然而，这种只有质量不带电荷的粒子，它们在核内的作用却很像被放在船底的“压舱物”，起着稳定原子核的作用。科学家们为了能彻底揭开核世界结构的奥秘，就要想法早日找到这种不带电荷的中性粒子。

当时，从事这方面研究工作的主要有德、法、英三国，它们对中子的发现分别作出了非常有益的贡献。

1930 年，德国物理学家博特等人，利用天然放射性元素钋所发射的 α 粒子，去轰击一种银白色的轻金属元素铍。结果博特在实验中发现了一些非常有趣的现象，即当用 α 粒子轰击铍、锂、硼时，都产生了一种能使计数管放电的射线，而放电次数和靶核有关，其中铍靶的放电次数最多。一旦 α 粒子停止轰击，放电现象也就停止。如果在射线经过的路途上放置各种不同的物质，则发现这种射线能贯穿几厘米厚的铅。根据当时已知射线的性质，只有 γ 射线能有穿透包括铅在内的各种物质的本领。为此，博特他们断定 α 粒子轰击铍时，所发射的能使计数管放电的射线也是一种 γ 射线。

然而，从能量平衡的观点上看，很快就发现了矛盾，于是人们对这些“ γ 射线”产生了怀疑。那是在 1932 年，法国有一对物理学家夫妇弗雷德里克·约里奥·居里和伊伦·约里奥·居里，当时他们都在他们母亲居里夫人所主持的巴黎镭学院的放射性实验室里做研究工作。他们重复了博特的用 α 粒子轰击铍核的实验，并用一种对 γ 射线和带电粒子都灵敏的探测器进行测量。另外，除了仍用铅作过滤物质外，又采用水、石蜡等含氢物质充入探测器中。结果发现这样的探测器对所发射的“ γ 射线”的探测效率提高很多，电离电流几乎增加一倍。

中公网总站：www.offcn.com

邮箱：offcn.com@163.com

电话：010-62698755，82387776

地址：北京海淀区学清路 38 号金码大厦 B 座 9 层

这样，他们认为，高能量的“ γ 射线”同含氢物质中的氢核作用时，能把能量传递给氢核，而氢核被激发后就像质子那样独立地运动。我们已知质子的电离本领要比 γ 射线强的多，所以电离室的电离电流增加很多。

紧接着，约里奥·居里夫妇又用一种含有氢气的威尔逊云室对质子进行直接观测。结果他们清晰地看到了“ γ 射线”同氢核作用所产生的质子在云室中所形成的径迹。而且径迹的起始点不是从被撞击的铍核开始，而是在云室的各个角落同时发生。他们根据这种质子在空气中的射程(为26厘米)，可换算得它的能量为5.7兆电子伏。再通过质子和“ γ 射线”的能量关系，可算得这些神秘的“ γ 射线”的能量是出乎意外的大，约为55兆电子伏。这就和用“ γ 射线”的穿透本领所算得能量为5兆电子伏相矛盾，对于同一种“ γ 射线”两者相差实在太大了。

这个矛盾更无法用能量守恒进行解释，已知钋所发射的 α 粒子能量只有5.3兆电子伏，那么所产生的“ γ 射线”的巨大能量是从哪里来的？因此，这种根据穿透本领推测的“ γ 射线”实际上是难以成立的。可惜的是约里奥·居里夫妇未能紧紧抓住这个重大矛盾的线索进行跟踪追击，他们虽已到了发现“中子”的门槛，但仍错失良机未能往前再迈进一步。

后来，当英国物理学家詹姆斯·查德威克1932年正式宣告发现中子后25年，也就是1957年，论及约里奥·居里夫妇对科学事业的贡献时，曾特别提到他们夫妇俩的实验确是一个“供给发现中子线索的非常奇妙的效应”。

查德威克在他发现中子以前已是一位才华横溢的著名物理学家，他曾在卢瑟福所主持的卡文迪许实验室进行过多年有关 α 粒子和 γ 射线等放射性研究工作，他一直是卢瑟福的得力助手。即使在第一次世界大战期间，他和其他的德国囚犯被拘禁在鲁勒本时，仍然和大家一起就地建造了一间小小的实验室，专心致力于 β 射线的研究。

从一战后到1923年，查德威克一直担任卡文迪许放射性研究工作的助理指导，并参与了卢瑟福在1919年所作的第一次人工核反应的研究工作。通过这一系列的实验工作，他清楚地意识到，当用带2个正电荷的 α 粒子轰击原子核时，将会遭到强大的静电斥力。为此，他早在1923年就写信告诉卢瑟福说：“我本人认为我们必须对不带电荷的中子做一次真正的研究，现在我已经有了一个迫切的工作计划，但还是应该事前和阿斯顿商量”。从这里人们不难看出，早在他发现中子前十年，已为中子的发现作出了周密计划，所以查德威克作为中子的第一个发现者确是当之无愧的。

至于查德威克用来发现中子的实验装置也是十分简单的。查德威克对实验中所产生的“射线”进行了仔细观察。结果发现它们和已知的 γ 射线和X射线一样，也不会被磁场偏转，这就证明组成它们的确是一些中性粒子。然而它们的行进速率却是太慢了，仅是光速的十分之一左右，而通常 γ 射线的行进速率是和光速相近的。所以它们不可能是属于 γ 射线。

另外，查德威克把这些“射线”同氮气、氦气、锂、铍和硼等发生作用，对它们的性质作更进一步研究。结果在实验过程中找到了这些元素的反冲核，并根据氮和锂的反冲核射程推算得“射线”的能量分别为90和150兆电子伏，这比前面约里奥·居里夫妇算得的能量还要大很多。由此可知，问样是 α 粒子同铍核反应产生的“射线”，如果认为是“ γ 射线”，则实验所得的能量值很不一致。

就这样，查德威克用类似的实验证明原来认为是“ γ 射线”的概念是不符合客观实际的。另外，查德威克根据首次人工核反应中 α 粒子能从氮核中辐射出质子这一事实，认为任何能从原子核中打击质子的辐射，必须是由一些本身就应该相当于质子那么重的粒子所构成。

最后，查德威克把 α 粒子轰击铍核所产生的“射线”，看成是一种不带电的中性粒子流，它的质量数和质子相当，并具有很强的穿透本领。而在威尔逊云室内证明它不能直接产生电离作用，所以它基本上不带电荷，以至于就等于零。至此，查德威克就把曾被哈金斯用过的名称“中子”来称呼它，这也是他在十年以前曾经设想过的工作计划中提到过的名称。

后来，当他把自己的发现写信给《自然》科学杂志发表的，曾在信中更明确地指出：“如果我们假设这种放射性辐射是由质量数为1，电荷数为“0”的粒子，即中子所构成的，那么一切难题都可迎刃而解了。”

到了1934年，查德威克通过实验又弄清了中子要比质子重的事实。根据现代精确测定质子的质量为1.007825原子质量单位，而中子的质量为1.008665原子质量单位。中子作为一种新发现的亚原子粒子，

它和质子、电子一样能够独立存在。孤立的中子放出一个电子后，就衰变成质子。而中子的寿命大约在 10.6 分钟内将有一半被衰变成质子。中子的发现，使核科学的发展进入了一个崭新的时代。为此，查德威克荣获 1935 年度诺贝尔物理奖。

实验证明，除了铍核在 α 粒子轰击下能发射中子外，硼、锂核在 α 粒子轰击下也能放射中子。由此可知，中子确是组成原子核的又一个重要粒子。这样一来，科学家们就能顺利地摆脱当时有关原子核结构上某些假设的困境。

其中德国物理学家海森伯格首先提出了原子核是由质子和中子所构成的学说。根据这一学说，就能容易地解释周期表上各种元素的原子核构造。我们从门捷列夫元素周期表上可以看到，在由中子和质子组成的所有稳定核中，只有氢核是由单个质子组成；而在氦 3 同位素中有两个质子和一个中子；而其余稳定元素的核中，中子数至少和质子数相等，例如氦 4、碳 12、氮 14 和氧 16 等。然而更多的核中，中子数都大于质子数，例如铁 56、铜 64、金 197 等。

另外，我们知道由于物质的质量绝大部分都集中在它的原子核上，而原子核中中子的质量数占一半以上，所以宇宙中的全部物质大约有一半以上的质量是属于中子的。

由于中子不带电荷，所以当它深入到原子内部时，既不会被电子阻拦，也不会受到核电荷的静电斥力的排斥。这样中子就能在原子内部畅通无阻，很可能被某个原子核俘获，产生那些用质子或 α 粒子轰击时所不能发生的核反应。因此中子发现后，物理学家们就能获得一种命中率高的轰击粒子，它被有效地用作轰击各种原子核的炮弹，从而成为科学家们进行核科学研究的重要工具。

4、找到了人工放射性核素

质子和中子的相继发现，不但加深了科学家们对原子核结构的认识，而且他们深深懂得若要改变原子核的性质，必须设法改变原子核中的中子或质子数目。为了达到这个目的，科学家们纷纷借助于 α 粒子、质子和中子等作为炮弹，去轰击各元素的原子核，看看能否通过核反应，产生出某些在自然界尚未发现过的人工放射性核素。

我们知道，二十世纪三十年代是核科学发展的黄金时代。1932 年查德威克发现了中子；同年，美国物理学家安德森在研究宇宙射线时，应用威尔逊云室观测到了一种质量和电子相同，而所带电荷又和电子相反的粒子所产生的径迹。经过实验证明，它是一种尚未发现过的新粒子，被称作为正电子。

当时，约里奥·居里夫妇根据这些发现，并吸取了在寻找中子过程中的教训，又重新开始系统地对那些能够在 α 粒子轰击下发射中子的核反应过程进行实验研究。他们仍然用钋放射的 α 粒子去轰击除了铍以外的其它轻元素（如铝、镁、锂和硼等）。结果从它们的核反应中都观测到了中子，其中特别是铝被 α 粒子轰击后，能发射中子的现象使他们产生了浓厚兴趣。因为在卢瑟福的 α 粒子散射实验中，曾用铝靶测得过质子，而现在约里奥·居里夫妇又从这一反应过程中观测到了中子。这就表明，铝核在 α 粒子轰击下，不仅能放射质子，同对也能放射中子。

如果铝元素是由数种同位素组成，那末当 α 粒子和数种同位素同时作用下，就有可能发生不同的核反应结果。有的放出中子，有的放射质子。但我们已清楚地知道，铝元素在自然界中只有一种单一的同位素。这样中子和质子一定都是从铝 27 的核反应中产生的。约里奥·居里夫妇对这种同一个原子核中能够射出两种性质完全不同的新粒子的奇怪现象产生了浓厚的兴趣。

他们首先假设中子和质子确是从铝 27 核的反应过程中，同时产生后放射出来的。这就是说，核反应所得的产物是硅 29，而不是硅 30。其次，他们假设如果中子的产生与质子无关，而是 α 粒子分别同铝核作用的结果，有的产生质子，有的产生中子。那末，铝核就应该有两种完全不同的反应式。由此可看出，核反应的结果得到了磷 30 和硅 30 两种性质完全不同的同位素产物。

众所周知，任何科学实验中所观测到的现象以及经过分析后得出的结论，都必须要用实践作进一步验证。一般说来，实践确是检验客观真理的可靠标准，但就实践本身而言，经常受到当时的科学技术条件所限制。所以由实践所证实的理论，也往往带有局限性和相对性，上述实验过程也正是说明了这一问题。

1919 年，卢瑟福从 α 粒子同铝核的反应中，只观测到了质子。这是由于那时中子还没有被发现，人们对观测中子的实验技术也是一无所知的。而自从 1932 年查德威克发现中子以后，在重新观测 α 粒

子同铝核的反应中也测得了中子。这样科学家们就能对此核反应过程有一比较全面的认识。由此也可看出，承认实践标准的相对性也是非常重要的。它可以防止人们把当时实践还未能证实，而有待于将来实践可以证明的真理简单地加以否定。

接着，约里奥·居里夫妇为了能彻底弄清 α 粒子轰击铝核的核反应过程，继续用威尔逊云室观测铝核反应时所发射的粒子径迹。结果出乎意料，他们不但看到了由质子电离而成的“粗线”径迹，而且还发现了一种过去未被观测到的、和电子电离径迹十分相似的“细线”径迹。当把威尔逊云室放置在一个特定的磁场里时，可从“细线”径迹弯曲的方向上，判别出它刚好和正电荷相一致。最后证明形成这种“细线”径迹的粒子就是安德森所发现的正电子。这就是说，正电子不仅存在于宇宙射线中，而且也能在地球上单独产生。

正电子的出现，初看起来它不仅不能对铝核反应作更进一步的解释，而且会使核反应过程更复杂化。因为这样一来，铝核在 α 粒子轰击下，放射出的不仅有质子，而且还有中子和正电子。为此，既要分析此三种各不相同的粒子，到底是同时从铝核中飞出，还是分别单独飞出，或是其中任两个同时飞出。由于三个粒子同时从核中飞出的假定，从力能学(包括力学和能量平衡)观点上看将是最不利的。另外约里奥注意到正电子和中子加在一起，其电荷和质量大致上和质子相同。由此反应结果都生成了硅 30，而在一种反应中放出质子；另一种反应中放出中子和正电子。

乍看起来，这种说法似乎很合理。然而，进一步深入研究的结果，发现正电子不仅在 α 粒子轰击时出现，而且一旦 α 粒子轰击停止后的某段时间内，正电子仍会继续出现。这就是说，在 α 粒子照射铝核的过程中，质子、中子和正电子都同时出现。当 α 粒子源被移开后，则质子和中子的发射就会立刻停止。但正电子发射并不停止，其发射的数量随着时间的推移将逐渐减少，而且变化也很有规律，每隔 2.5 分钟后，正电子发射的数量就减少一半。

由此可见，铝核所产生的两种不同的核反应过程，最终都得到了硅 30。一种是直接发射质子后得到的，另一种是先放出中子，并生成带放射性的磷 30。这是一种在自然界中从未见过的不稳定同位素，通过放射正电子后变成稳定的硅 30。所以磷 30 是第一个从实验室里通过核反应制造成功的人工放射性核素。

此外，约里奥·居里夫妇又从 α 粒子同镁和硼核的反应过程中，也观测到了有正电子发射，同时分别生成半衰期 4.17 秒的放射性硅 27 和半衰期为 10 分钟的放射性氮 12 的不稳定同位素。

为了对这些核反应式进行验证，约里奥·居里夫妇利用他们在化学方面的渊博知识，直接用化学分析方法来鉴定这些自然界中不存在的新的放射性核素。虽然它们的数量都很微小，一般为数万个原子核。最后他们还是用加“载体”的化学方法，找到了这些能发射正电子的极微量的放射性元素。如磷 30，就其化学性质而言，和铝、硅都不一样，而完全与磷相同。至此，约里奥·居里夫妇终于正确无误地证实了人工放射性现象的存在，并从这一伟大的发现中获得了第一批人工放射性核素。

人工放射性核素的发现告诉我们在用 α 粒子轰击各种原子核的过程中，除了能产生新的稳定核素外，某些核反应过程还可能用人工的方法产生出带放射性的核素。而且不仅在周期表上大于铋 209 的重元素可以是放射性的，既是轻元素像氮、磷、硅等也可以处于不稳定的放射状态。

总之，人工放射性核素的发现，给原子核构造理论赋与了新内容。它告诉我们，除了自然界天然存在的放射性元素如钋、镭等以外，还可利用 α 粒子、中子等去轰击稳定元素，从而生产出多种的人工放射性核素。约里奥·居里夫妇的这一伟大发现为人工制造放射性核素开辟了十分广阔的远景。

我们知道，居里夫人是因受镭射线的照射而患白血病后，于 1934 年 7 月不幸逝世的。她能在去世前几个月，亲眼看到自己辛勤培育的“孩子”成功地制造出第一个人工放射性核素，这是她一生中最大的欣慰，因为第一个天然放射性元素钋的存在是她和皮埃尔·居里在 1898 年共同发现的，而现在他们的接班人约里奥·居里夫妇又是第一个人工放射性核素的发现者。居里一家不愧为“放射性世家”，他们是对原子能事业有着伟大贡献的两代人。

居里夫妇及其女儿和女婿(约里奥·居里夫妇)四人共得过五次诺贝尔奖，他们是科学史上获得诺贝尔奖最多的一家。其中包括居里夫妇因发现“放射性”获 1903 年度诺贝尔物理奖；1911 年，居里夫人因发现钋和镭两种放射性元素，和测定了放射性镭元素的性质，又获得了诺贝尔化学奖；1935 年，居里夫人的女儿和女婿因用人工方法获得了新的放射性元素而共同获得了诺贝尔化学奖。

由于核科学技术的不断发展，特别是同位素分离技术的改进和测量精度的提高，使得人们有可能去识别更多的同位素。目前已知地球上的 90 种元素中，除 20 种外都是由两种以上同位素所组成。在总数已超过 2000 种的核素中，绝大部分是放射性核素。它们已在现代工业、农业、医学、生物和冶金等领域得到了越来越广泛的应用。

5、铀原子核的裂变

铀原子核裂变现象的发现还得从美籍意大利物理学家费米利用中子轰击铀核的实验研究工作谈起。当人工放射性核素发现以后，科学家们就纷纷利用 α 粒子、质子以及中子去轰击周期表上各种元素，以求获得更多的人工放射性核素。而费米就是利用 α 粒子轰击铀能发射中子的核反应过程，把铀和铀均匀混合在一起，就可以制成能发射大量中子的铀—铀中子源。然后，利用这些中子去轰击各种元素，并用自制的高灵敏度盖革—弥勒计数管进行测量。结果发现将近六十多种被中子照射过的元素中，约有四十多种能产生放射性核素。

后来，费米在长期的实验工作中发现，如果把所用的铀—铀中子源加以适当改进，在中子源和银圆筒之间加上一层石蜡或其它含氢物质，就能使银的放射性强度大大增加，这从盖革—弥勒计数管上得到反映。

这是因为铀—铀中子源所发射的快中子能量很大，不易和银发生反应。现在通过石蜡后快中子被减速成热中子，其能量和分子热运动能量相当，即能量为 0.0253 电子伏或速度为每秒 2200 米。由于热中子运动速度很慢，它在核周围的停留时间就会加长，因此和核作用的机会也就越多，所产生的放射性也就越强，计数就大大增加。

费米在获得热中子后，重新对铀核进行轰击试验。看它能否被铀核俘获生成更多的原子序数大于 92 的 93、94……一系列超铀元素。然而，大量实验结果证明，在铀核俘获中子后的生成物中，呈现出非常复杂的辐射成分。在测量中发现它们是由多种 β 射线所组成，先后共测得四种不同能量的 β 射线，根据它们辐射强度随时间衰减的曲线分析，得到四种不同的半衰期，分别为 10 秒、40 秒、12 分和 90 分。而费米及其助手当时也无法从这些复杂的放射性物质中识别出事先想找到的 93 号新元素。这是因为他们中间缺少精通化学分析的科学家。即使在这些新产生的放射性物质中确已存在 93 号元素，他们也不能用化学方法由辨别它们。

由于费米及其同事在生产人工放射性核素中一直认为元素俘获一个中子后，经过 β 衰变能生成原子序数增加 1 的新元素，所以费米等人总是专心致志地去寻找原子序数比铀更大的超铀元素。因而对在实验过程中所遇到的那些复杂的 β 衰变现象未能做出符合客观实际的解释，对铀核反应过程中所形成的放射性核素，也未能作直接的化学测定，就误认为 93 号元素已经找到。这样也就错过了发现“铀核裂变”的良机。

正像约里奥·居里夫妇在 1932 年研究 α 粒子轰击铍时，未能及时发现中子一样，费米他们虽然已到了发现铀核裂变的门口，却未能再往前路一步，没有能及早揭开铀核裂变的秘密。直至 1939 年，93 号元素才被美国物理学家麦克米伦和艾贝尔森在伯克利的加利福尼亚大学辐射实验室，用热中子轰击铀靶而生成。并用化学方法鉴别出第一个难以捉摸的超铀元素—镎。

与此同时，奥地利物理学家梅特涅和她的合作者—德国物理化学家哈恩一起在柏林威廉皇家研究院，从事中子轰击铀核的研究工作，并利用他们在化学分析工作方面的有利条件，对所生成的多种放射性同位素进行了详细研究。

他们在测量中发现，实际情况要比费米最初预料的还要复杂得多。这是指各种放射性强度的衰减曲线在不同的观测时间内变化很大，也就是说，即使中子照射停止，有些放射性物质仍能不断产生，其衰变过程还是相当复杂的。

另外，他们还测得了费米没有测到的半衰期，其中包括某些长半衰期，一共有九种，一它们分别为 10 秒、40 秒、2.2 分、16 分（费米测得为 13 分）、23 分、59 分（费米测得为 90 分）、5.7 小时、45 小时和 66 小时。然而，在分析与这些半衰期相对应的放射性同位素时，他们却仍认为是生成了超铀元素，即

想象在铀元素中形成了类铂、类金、类铯、类钡和类铷的 93、94、95、96 和 97 号新元素。但是，当用化学方法对它们进行鉴别时，很快发现这种想象是错误的。

梅特涅和哈恩他们所用的化学鉴别法是一种在放射化学中常用的分析微量放射性物质的方法。即为了取得微量的放射性物质，往往预先加入几毫克相同的稳定元素或化学性质相似的元素(通常称为载体)，这种载体能把微量放射性物质载带进入沉淀物中。如果不是同种元素，则可设法把微量放射性物质与载体分离。哈恩他们曾经选择了各种元素作为载体，并把它加入被中子轰击过的铀元素里。其中有一种钡元素，当他们把钡从中子轰击过的铀元素中分离出来进行测量时，果然发现有相当一部分的放射性物质被钡载带出来。

那末这些放射性物质到底是什么核素呢？由于他们和费米一样，也是一心想寻找超铀元素，而不愿往“铀前”元素(原子序数远小于铀)方面考虑。为此他们认为那些化学性质和钡相似的放射性核素很可能是“镭”。它在周期表中是第 83 号元素，位于钡元素的下面，和钡是同族元素，所以在化学性质上，镭和钡确有很多相似之处。然而，两者毕竟不是同一种元素，所以可用化学方法把载体钡和放射性物质“镭”分离开来。但事与愿违，虽然作了很大努力，但始终未能把“镭”从钡载体中分离开来。事实上，这一实验结果已经表明此种“镭”放射性物质就是钡，但他们就是不敢下此结论。

与此同时，法国的约里奥·居里夫妇也在自己的实验室里进行过中子轰击铀的试验。同样他们也测得了一些被命名为“类铯”、“类钡”和“类铷”的 93、94 和 95 号元素。他们的实验结果也未能超越费米等人的结论。

然而，有些在思想上框框比较少的年轻科学家，他们根据在实验中一方面未能直接分离得到超铀元素；另一方面从钡载体中确实测得了放射性物质的存在，且又不能把它同钡分离出来的实验结果，提出了富有创见的大胆设想。其中最值得一提的是德国年轻科学家诺达克夫妇，他们当时都在布列斯高的弗莱堡大学物理化学学院中工作。他们认为费米所做的中子轰击铀的实验，在化学分析方面未能对超铀元素的发现提出过令人信服的论据。

为此，他们在 1934 年曾经提出过自己的看法，他们认为铀核在中子作用下发生了核裂变反应。而且这种反应和其它核反应有很大区别，似乎在中子轰击铀核时，铀核被分裂成几块碎片是完全可能的。同时，这些碎片应是已知元素的同位素，但不是被轰击元素铀的相邻元素。

这是一个后来在 1939 年被证实的极其有价值的假定。然而当时却未能引起像费米那样的物理学权威人士的重视，当然也就根本谈不被承认了。费米在获悉这些不同意见后，仍坚持认为能量很低的热中子决不能击破如此坚固的原子核堡垒，使核发生裂变，这简直是难以想象的。特别是当费米得知当时世界一致公认的放射化学权威哈恩也同意他已经获得超铀元素的看法时，他对自己的实验结果就更加确信无疑了，这样费米他们也就又一次失去了完成一项重大发现的机会，这也是费米在自己的科研生涯中所犯的一次最大的失误。

二十年后，在安葬这位伟大的科学家时，曾经参加过这项实验的费米的一位学生物理学家西格列说：“上帝按照他自己的不可思议的动机，使我们当时在核分裂现象上成为盲人”。当然实际上使他们迷失方向的决非是上帝的旨意，而是当时他们在化学知识方面的不足，以及主观上犯了先验论的错误所致。世上任何一位科学家在自己短暂的科学生活中，总是难免有不足之处的，但他们对推动科学事业发展的不朽功勋却永远值得大家称颂。

不管怎样，许多科学家在用中子轰击铀核的实验中，不断找到各种各样铀前元素的事实有力地冲击着费米等人认为获得了超铀元素的错误结论。例如，在 1938 年，伊伦·居里和萨维奇从被中子轰击过的铀中，测得了一种在哈恩等人实验中所没有测得的半衰期为 3.5 小时的新的放射性核素。它的化学性质和稀土元素镧十分相似，起初假定它是镧的放射性同位素。但在进一步测量中发现，这种放射性同位素可用化学方法把它和镧分离，却不能与镧分开。

由此可见，这些半衰期为 3.5 小时的放射性物质与其说是镧的同位素，倒不如说是镧的同位素更符合实际。这就是说他们实际上已经测得了铀核的裂变产物镧，发现了铀核的裂变现象。但当他们发表找到镧元素的论文时，却仍认为镧是由铀俘获中子后所形成的超铀元素衰变而成，决没有想到镧是铀核在中子直接作用下的裂变产物。仍旧未能冲破权威们关于生成超铀元素的束缚。

正当原子核科学事业不断向前发展的时候，希特勒法西斯统治下的纳粹德国所发动的侵略战争也正在逐步升级。1938年3月，中立的奥地利被德国所吞并。而这时正在德国从事铀核裂变研究工作的梅特涅教授，由于她是犹太人，她的奥地利国籍使她成了敌对国的公民，这样她就被迫离开柏林前往瑞典的斯德哥尔摩避难。

她的合作者、德国籍的哈恩和施特拉斯曼仍旧留在柏林继续对铀核的裂变现象进行研究，且也向伊伦·居里等人一样找到了钡的同位素。同时他们得到启发，把过去同钡载体一齐沉淀下来的“镭”同位素，重新进行化学分离。

当时他们采用了比较先进的“分步结晶法”的化学分离技术，结果仍然未能从钡载体中分离出所想象的“镭”，看来这种和钡载体结合得如此紧密的放射性核素只能是钡本身。正如哈恩和施特拉斯曼后来在自己著作中所描述的那样：“作为化学家的我们，不得不肯定地声明，铀俘获中子后所产生的新物质的性质并不和镭相同，而恰恰是和钡相同”。

至此应该说他们已经发现了铀核在中子作用下发生了裂变的奇迹，可是奇迹的创造者却还是不敢承认。这是因为虽从化学角度上看，这些精通各种化学分析方法的著名化学家，他们对自己的实验结果是深信不疑的，但从核物理观点上看，这似乎又是不可能发生的事情。即当用能量很低的热中子去轰击周期表上最重的铀核时，结果怎么会得到原子序数为56的中等质量数的钡元素呢？它只比铀元素的一半多一点。

如果铀核不是分裂成大小差不多的两半片。那末钡是得不到的。像铀核这种密度很高的坚硬堡垒，很难想像它被能量很低的热中子炸成两半。难怪哈恩他们即使早已发现了铀核的裂变现象，但却迟迟不敢发表自己的实验结果。

然而哈恩他们也深深懂得科学研究本身是不能有任何虚假的。在被中子轰击过的铀元素中，钡核钡等中等质量元素的出现是谁也抹煞不了的实验事实，为了尊重事实，他们觉得完全有必要赶快把这个新发现的实验结果公布于世。

在1938年8月22日，他们终于正式发表了这一重要的实验事实，同时还写信给在瑞典避难的梅特涅教授。她曾和他们共事过三十年，由于希特勒的战争政策和迫害犹太人的罪恶行径，使她未能参加最后阶段的实验工作。但现在她终于知道了在被中子轰击过的铀元素中，确实存在着钡同位素。喜悦的心情使她久久不能平静，她反复思考铀核俘获中子后怎么会生成钡的奇怪现象。

她想铀核中有92个质子146个中子；而钡只有56个质子和82个中子。两者的质量数和原子序数相差这样大，这在以往的任何核反应过程中都是从未有过的。不论是 α 粒子或质子和中子，当它们轰击靶核时，只能生成某种和原来靶核质量数相近的新元素，同时伴随着放射出某些质量数较小的粒子，如 α 粒子、质子、中子、电子或正电子等。而在中子与铀核的反应过程中，却出现了意想不到的钡元素，这到底是什么缘故？她想很可能在铀核俘获中子的过程中发生了某种特殊的核反应。

为此她大胆地假定是否存在着这样一种可能性，即当稳定性较差的铀核吞噬中子后，使铀核得到了多余的能量，并处于激发态，显得更加不稳定，最后分裂成两个较轻的核碎片，而铀核的电荷数和质量数也将分成大约相等的两部分。这样就能满意地解释哈恩他们所发现的钡和钡的实验结果，因为它们的质量数几乎是铀的一半。

接着，梅特涅又立刻把上述想法告诉了她的侄子弗里施，当时他流亡丹麦，在哥本哈根玻尔所主持的研究所工作。他们两人经过仔细而又深入的讨论后，完成了关于解释铀核裂变现象的论文，并想在1939年1月发表。于此同时，弗里施把论文送给了与梅特涅教授有着很密切联系的玻尔教授。因为在他们的论文中，引用了玻尔的核理论对铀核的裂变现象进行了说明。当时有位美国生物学家阿诺德刚好也在哥本哈根工作，他建议把铀核分裂成两片的现象仿照活细胞的一分为二现象称作为“裂变”，从此这个名称就一直被沿用至今。

梅特涅和弗里施在关于铀原子核俘获中子产生裂变的论文中，主要引用了玻尔关于原子核结构的液滴模型理论，对铀核所以能产生裂变得钡和钡等元素的结果，进行了十分生动而又令人信服的描述。弗里施在描述当时的情况中说：“我们逐渐清楚了，铀原子核被破裂成两个几乎相等的部分……可以说是完全按照一定形式发生的。情形是这样的……原始的铀核逐渐变形，中部变窄，最终分裂成两半。这

种情况与生物学上细胞繁殖的分裂过程非常相似，这使我们有理由把这种现象在自己的第一篇报告中称为“核分裂”。

他们在分析铀核为什么能产生裂变的出发点是把铀核看为带电的液滴，这就是玻尔的核液滴模型的根据。由于铀核中有 92 个质子和 146 个中子，这同质子数和中子数相等的稳定核相比较，可看出铀核中存在着过量的中子，所以铀核本身就是一种很不稳定的原子核。

它像普通的水滴是由水分子间的表面张力维持形状一样，组成原子核的质子和中子(统称为核子)之间的相互作用力(也称核力)促使原子核也能保持一定的形状。而带正电的质子又同普通电子一样，也有趋向于表面的特性，它们各自在核表面上占据着一定的位置。另外质子间的静电斥力使得质子有逃逸出核的可能，而核力又要把质子拉回到核里。

铀原子核内各核子间虽然受到十分复杂的作用，而处于很不稳定的状态。但是如果没有外来的干扰，大多数情况下，铀核还能维持比较完整的形状。

然而，一旦铀核俘获了一个中子以后，形成铀的复合核，并受到中子带来的额外能量的扰动，结果使得铀核内的核子更加剧烈地颤动起来，铀核变成了椭圆形。随后就愈变愈烈成为不能复原的哑铃形状。直到核内的电磁斥力把几乎相等的两部分从哑铃的颈部完全断裂开来，形成两个新的中等质量数的原子核，同时放射出 2~3 个中子。

此外，由于铀核的分裂并不是每次都在同一个哑铃颈上断开，所以许多铀核分裂的结果就能得到一系列不同质量数的裂变碎片，这就是铀核裂变产物十分复杂的主要原因。不过通常仍然有一种比较常见的分裂形式，即分裂成钡和镭。它们的原子序数分别为 56 和 36，加起来刚好等于铀的原子序数 92。这和很多科学家在研究铀核俘获中子的实验中，多次测得钡元素的结果相一致。

当玻尔看到自己的液滴模型核理论能如此精确无误地解释铀核俘获中子的裂变现象时，其兴奋激动的心情是难以表达的。正像他在自己短短的 1500 字的自传中曾经描述过的那样：“有助于揭开那遮蔽真理帐幕的一角，并且从而可以走到较为接近真理的路上，也许是一个科学家所能获得的最大快乐”。

当时玻尔为此差一点没有赶上美国的火车。就在他赴美开会之际，梅特纳和弗里施为了验证他们对铀核裂变现象的解释，再一次对铀核俘获中子后的裂变产物进行了测量。他们从中不仅找到了钡和镭等其它元素，而且当他们将裂变后的两部分裂变碎片的质量相加时，发现它们比裂变前的铀核和中子的质量之和要小。这就是说，在铀核的裂变反应过程中发生了质量亏损。

根据爱因斯坦的质能公式，即能量 E 等于质量和光速平方的乘积。这些失去的质量必定在铀核发生裂变反应的过程中，以能量的形式释放出来。弗里施在实验中观测到了这个异常巨大的能量，它能把测量仪表的指针逼到刻度以外，其数值约为 200 兆电子伏。

接着他们又把这个伟大发现通过海底电报告诉了已抵达美国的玻尔。当玻尔得知这一足以震惊世界的消息已被证实后，立即在一次物理学家会议上宣布了关于发现铀核裂变的消息。与会者无不为之激动万分，并立刻投入到铀核裂变研究中去。数周之后，各国科学家也都先后证实了铀核被中子裂变，和能释放出巨大能量的事实。从此以后，核科学研究工作也就进入了利用原子核能，为人类造福的新时代。

6、科学家的忧虑

铀核俘获中子引起裂变，除了可得到裂变碎片和中子外，还发现了另外一个举世瞩目的事实—即在铀核裂变过程中能够释放出巨大的能量，它比锂核被质子分裂时所释放的能量还要大十倍。这种裂变能也可根据铀核裂变前后的质量亏损进行粗略计算。

假设一个铀 235 核俘获一个热中子后，分裂成两个质量数分别为 95 和 139 的碎片(因为它们在裂变产物中被测得的次数最多)，同时放射出两个中子。裂变前的铀核和中子的静止质量分别为 235.124u 和 1.009u，两者之和为 236.133u。而热中子的动能很小，可略去不计。

裂变后碎片的质量数分别为 95 和 139，通常取其对应相近的稳定同位素的质量，分别为 94.945 和 138.955u 作为计算的依据，再加上两个中子的质量 2.018u，三者之和为 235.918u。这样，裂变前后的质量亏损就是 $236.133 - 235.918 = 0.215u$ 。而 1u 所相当的能量为 931.5 兆电子伏。所以铀核裂变时所释放的裂变能为 $0.215 \times 931.5 = 200.3$ 兆电子伏。

中公网总站：www.offcn.com 邮箱：offcn.com@163.com

电话：010-62698755，82387776

地址：北京海淀区学清路 38 号金码大厦 B 座 9 层

由此也不难看出，如果裂变碎片的质数不同，则所得的结果也略有不同。故常用的裂变能平均值为 200 兆电子伏。而且，这些能量分别被裂变碎片、裂变中子、裂变碎片所发射的 γ 和 β 射线，以及一种质量十分微小，而穿透本领比 γ 射线还要强的中微子所带走。其中裂变碎片所占的动能最大，为 80% 左右。

铀核裂变所释放的能量中，绝大部分均可变成热能后加以利用，只有一小部分能量被中微子带走。为此在铀核裂变能的利用中，随着铀核数量的增加，其裂变次数和释放的能量可达非常巨大的数值。并可通过换算得，1 公斤铀 235 全部裂变所相当的发热量和 2700 吨标准煤的发热量相等，所以核能确实是一种高浓缩的能源。但是，要实现核能的实际应用，需解决一系列困难问题。

首先，为了铀核能不断引起裂变，必须解决中子的来源问题。从铀核的裂变方程中，我们曾经假设能够释放出 2~3 个中子。为了对此进行实验验证，当时有三个科学家小组，两组在英国的哥伦比亚大学，由费米负责；另一组在法国巴黎，由约里奥·居里夫妇负责。他们先后从铀核裂变过程中测得了裂变中子，证明了铀核每次裂变确能同时释放出 2~3 个中子，这就为核裂变能的利用提供了重要的依据。因为这样一来，铀核裂变本身就能连续不断地提供打开核能宝库的金钥匙——中子。原来，铀核一旦被外来的中子引起裂变后，就能释放出更多的中子，这些中子再去击破更多的核。

我们可以想象，如果大量铀核中的每个铀核俘获中子裂变后都能放射出两个中子，那末首次裂变后两个新中子可被另外两个铀核俘获产生裂变，在释放出两倍裂变能的同时又放射出四个新中子。四个中子又可引起四个铀核裂变，放出四倍裂变能和八个新中子……。依此类推，新一代的中子数和铀核分裂数，将像雪崩一样急剧增加，当然裂变能也会激增到一个非常惊人的数值。这种按照几何级数迅速增加的裂变反应过程被物理学家称为“链式反应”。

由此可知，在数量足够多的铀核中，裂变反应一经开始，它就能自动地连续进行下去，最终所得的裂变能是非常可观的。这就意味着，能量极其微小的中子，将有能力唤醒沉睡在大自然中已达几十亿年的原子巨人。

此外，我们从实验中知道，裂变反应从一个原子核传递到另一个原子核的时间间隔是十分短暂的。所以如果铀核裂变链式反应一旦实现，那末顷刻之间就能有大量铀核发生裂变反应，巨大的裂变能将在极短的时间内被释放出来。这样，就很有可能会造成一场威力巨大的核爆炸，它比同样数量的普通炸药所发生的化学爆炸强几百万倍。

计算表明，一公斤铀 235 全部裂变所释放出的能量相当于两万吨梯恩梯炸药全部爆炸时所放出的能量。当时正处在第二次世界大战爆发前夕，可以想象，许多科学家为它可能被战争狂人用来制成威力巨大无比的武器是多么担忧，甚至感到恐惧。

当时，欧洲许多著名的科学家，包括爱因斯坦、波尔、费米等人，因受希特勒的迫害，先后陆续直接或间接绕道来美国避难。这样美国就很快成为世界上人才最集中的地方。战后有人曾经估计美国的这一“人才能源”，它给美国的贡献相当于两三百亿美元的财富。现在看来，这种估计无疑是保守的，因为这些科学家不仅在当时直接对美国的科学技术 and 工农业生产的发展起着巨大的推动作用，而且为战后美国工农业生产，以及各种先进科学技术，包括空间科学、导弹、电子计算机和核能等方面在世界上取得领先地位打下了坚实的基础。

综观世界上诺贝尔奖金获得者的人数，美国人（包括美籍其它各国科学家在内）占了绝大多数。其中，在美国从事铀核裂变方面研究工作的科学家中，比较著名的是费米和匈牙利物理学家西拉德，他俩都是犹太人。西拉德是在 1937 年从英国迁居美国的，而费米一家是在 1938 年 12 月 10 日趁去瑞典接受诺贝尔奖金的机会移居到美国的。

根据多年来对铀核裂变研究的结果，特别是铀核裂变首先是在德国被哈恩等人发现的有利条件，他们担心希特勒有可能生产出威胁人类生存的核武器。因为随着第二次世界大战的战火不断扩大，希特勒差不多占领了整个欧洲，他为了独霸世界，为了赢得战争胜利什么事都能干得出来。

为此他们要求把关于铀核裂变的研究成果加以保密，并说服别的科学家共同遵守这个规定。还写信给欧洲的有关核科学家，要求他们也对希特勒保密。例如，西拉德在 1939 年 2 月写信给约里奥·居里夫妇时，曾经提到：“两星期前，当哈恩的文章传到我们这里来的时候，我们这里就有些人想了解，铀核裂变以后能否有更多的中子释放出来。如果能有一个以上的中子能够释放出来，那么就有可能形成链式

反应。这样在一定条件下，能够制造对人类有极大威胁的原子弹是很有可能”。由此可见，西拉德这位正义善良的科学家，一方面希望裂变能被早日利用，但另一方面却又担心它被用于战争。所以他就联合世界上的科学家，共同对战争狂人实行保密。

当然，在实际链式反应系统中，除了产生裂变的铀核本身会吸收中子外，还有很多不利于中子生存的条件。其一是许多结构材料(如不锈钢、铝合金或结合金等)和慢化中子的慢化材料等，它们都能俘获中子；其二是系统的尺寸不能无限大，总是有一定的大小，这样穿透能力很强的中子很可能穿过铀核等材料，未能产生裂变而直接逃逸出链式反应系统。

由此可知，为了要实现铀核裂变链式反应，必须创造有利于铀核裂变的条件。并使裂变中子的损失减小到最低程度，每次裂变中至少有一个裂变中子能被另一个铀核俘获产生新的裂变，才能使链式反应进行下去。

科学家们发现只要选择合适的裂变材料(除了铀 235 外，还有铀 233 和钍 232)，并加上合适的慢化剂、反射层材料，把它们组成一定的几何大小，铀核裂变链式反应就能一直进行下去。这样一来，许多科学家也就更加忧虑。而西拉德的心情显得更加沉重，他想只要有一块足够大的铀块就会产生出难以想象的能量。

当时希特勒已吞并了捷克斯洛伐克等国，并霸占了很多可以用于核裂变链式反应的重要材料。其中特别使得人们担心的是捷克的铀矿和几公斤重水，因为这些都是研制核武器的必要条件。为此西拉德又联合了另外两名流亡在美国的匈牙利物理学家威格纳和特勒以及其它学者，联名提请美国政府必须重视核裂变链式反应的研究工作。

直到 1939 年 8 月 2 日，西拉德等人又联合著名科学家爱因斯坦，请他在一封事先拟好的呈交给美国总统罗斯福的信件上签了名。在同年 10 月 11 日此信递交给了罗斯福总统，接着总统就下令设立铀矿顾问委员会，并拨专款对铀裂变链式反应进行研究。而从 1940 年开始，科学家们自愿共同实行一项保密计划。这年夏天美国政府又批准了这一保密政策。后在 1941 年 12 月 6 日，即日本偷袭珍珠港的前一天，美国总统罗斯福才正式下令决定设置有关机构，并拨巨款从事发展原子弹的研究制造工作。为了保密起见，机构的名称被叫做“曼哈顿工程”。