



吴锡真 卓益忠

今天，原子核裂变已不是一个非常时髦的课题，从它的发现到现在已经有四十年的历史，人们应用它作为一个重要的能源也已经有许多年了。但是这绝不意味着我们对裂变现象的理论解释已经完善了。恰恰相反，对于核裂变至今还没有一个真正像样的理论，对许多问题的认识还是支离破碎的，有些问题至今还没有得到合理的解释，这些都是摆在人们面前的问题，需要经过长期的努力，才能得到解决。现在介绍一点关于核裂变的片断知识，以期引起人们的兴趣。

所谓原子核裂变就是指一个重的原子核自发地或受某种作用而分裂成两个(或三个)质量相当的小原子核的行为。因为与生物学上的细胞分裂很相似，所以裂变的发现者们取名为“裂变”。不受任何外来作用自发地进行的裂变，称为自发裂变；而由于中子、质子、光子或其他粒子的作用而引起的裂变称为诱发裂变。在裂变过程中，会放出很大的能量，生成两个大的碎块，还伴随着发射出几个中子和光子，因此这的确是一个内容丰富的有趣的课题，且具有很大的实际意义。

### 核裂变的发现

远在1932年，中子刚刚被发现的时候，由于人们认识到中子具有电中性，穿透力强的特点，于是就用它作为“炮弹”来打击各种元素，结果发现了许多前所未见的现象。1934年，费米和他的合作者，以天然铀作靶子，用中子来照射它。铀的原子序数为92，是最后一个天然元素，他们想通过使铀俘获中子，再经过 $\beta$ 蜕变，得到原子序数为93或更

高的人工放射性元素。这在当时引起不少化学家的兴趣。从1934至1938年期间，许多实验室竞相开展了这项工作。但是不同的人却得到截然不同的结果。有的报道发现了类铯、类钡和类铷等超铀元素，有的说是发现了镭和钋，众说不一。然而为什么用中子轰击别的元素没有发现这些纷乱的现象，而用中子轰击天然铀竟得到如此不同的结果呢？这不能不引起人们很大的怀疑。于是，两个德国化学家哈恩和斯特拉斯曼设计了一系列实验，来严格鉴别这些放射性产物到底是什么东西。1938年至1939年期间，他们的实验证实了，这些元素既不是超铀元素，也不是镭和钋，而是一些中等重量的核——钡和镭。因此他们断定铀俘获中子后，发生了一个重核分裂成两个中等重量核的崭新过程——核裂变。

### 核裂变能的来源

核裂变的一个突出特点是释放巨大的能量。这个能量从何而来呢？为了回答这个问题，我们从最普通的常识谈起。大家知道，水变成蒸汽要吸收热量，水蒸汽凝结成水就要放出热量。原子核也是这样，当我们从核内拉出一个核子的时候，必须供给它足够的能量，这个能量叫做核的分离能。相反，如果我们把一个自由的核子放到原子核中，就会放出一定的能量，这个能量叫做原子核的结合能，结合能愈大，原子核结合得愈紧。人们研究了周期表上所有元素的平均核子结合能，发现重核的结合能比较低，约在7.5 MeV左右，中等重量的核像银、铁等的平均结合能最高，达到近

9 MeV。因此我们可以想像，当一个结合得不太紧的重核，分裂成两个结合得比较紧的中等重量的核时，就会有大的能量放出来，这就是裂变能的来源。以铀-235为例，当一个铀-235原子核吃掉一个中子，分裂成一个钡核和一个镭核的时候，同时放出170 MeV的能量。所以1克铀-235裂变时，将放出4亿卡的能量，这相当于两吨半煤完全燃烧时放出的热。可见核裂变能是一个巨大的能源。正因为如此，所以当裂变现象一发现，一些有远见卓识的科学家立即意识到它有巨大的和平应用和军事应用的可能性。于是，在1941年，在费米领导下建造了世界上第一座原子反应堆，在1945年制成了具有空前威力的世界上第一颗原子弹。

### 裂变现象的液滴模型解释

众所周知，雨点和液滴总是呈球形的，这是因为液体的表面具有张力的缘故。我们也可以设想原子核，有一个软而薄的表面，质子和中子都囊括在表面之内，像液滴一样，并认为原子核也有表面张力。这个张力是由于处在表面的核子具有一种特殊的地位，在它的外面没有核子的作用，因而有多余的向内拉的力，这就是表面张力。表面张力把原子核拉得紧紧的，使它变成一个球。但是原子核内还有许多带正电的质子，它们有一种相互排斥的力，称为库仑力，这种力驱使原子核变形、分裂。这两种相反的作用互相竞争，互相抑制，它们的对立统一决定着原子核的命运。轻原子核由于质子数少，排斥力小，所以总是稳定的。但重原子核质子数多，库仑力强，所以原子核被拉的不紧。这时，如果受到某种内部的作用，使表面张力不足以克服库仑排斥力，核就会被拉得愈来愈长，直至裂变开，这就是重核比较容易裂变的理由。大家知道，原子核内的核子一刻不停地运动着，好像“无头苍蝇”在核内东碰西撞；核子和核子间发生着碰

撞，核子和核表面间发生着碰撞。由于核子的碰撞，核表面不断变换着形状，一会儿这边凸，一会儿那边凹。运动的结果，总有一定的可能性，使原子核的形状拉的很长。这时核内质子的排斥力远大于核的表面张力，核就再也不能回到原来的形状，这就发生了裂变。这里，我们用液滴模型通俗地叙述了核裂变的基本图象。事实上，裂变现象一发现，理论物理学家们马上就用这个模型来解释裂变。尼·玻尔在即将动身去美国的时候，听到发现裂变的消息，在轮船上就基本上完成了对裂变的解释，随后和惠勒一起发表了原子核裂变的液滴模型的重要著作。直到今天，核裂变理论仍沿用他们提出的基本理论框架。

### 裂变同质异能态是怎么一回事

60年代初，人们发现了一个重要而有趣的现象，就是有些重核有两种自发裂变方式，这两种裂变方式的半寿命可以相差千百万倍。后来，这个现象被称为自裂变同质异能现象。当时这完全是一个不能理解的谜：因为按着液滴模型传统的观念，一个没有受到其他粒子作用的原子核，总是处在中间下凹的称为位阱的位势的最低处，在裂变时，它穿越一个马鞍型的位垒。根据计算，每一种原子核都有一个特定的位垒。原子核自发裂变的难易即裂变寿命，完全由这个位垒的高低和宽窄来决定，所以一种原子核只

能有一个而不是两个自发裂变半寿命。为了解开同质异能裂变的谜，科学家们做了大量的研究，进行了各种各样的计算。后来找到了一种称为“液滴模型加壳修正”的办法，计算出来的位垒不再是一个单峰位垒，而是一个双峰位垒，两峰中间夹着一个“盆地”般的谷。一个没有受到其他粒子作用的核，也可能处在这个“盆地”的底部。这个状态被称为“形状同质异能态”，以区别于通常的基态。从这里出发，进行裂变的“旅程”要比从基态位阱容易得多。因此处在这种状态的原子核裂变半寿命要短得多，而处在基态位阱中的原子核裂变要困难得多，半寿命要长得多。双峰位垒的出现，不仅解释了自发裂变同质异能现象，还解释了许多其他现象，因此它被认为是继液滴模型之后，在裂变理论方面一个最重要的进展。

近年来，随着实验技术的发展，特别是重离子加速器和高能加速器的建造，人们获得了研究核裂变的新手段。用很重的离子比如用氩离子和氦离子打击重靶（如铀核），观察到很大的能量、角动量和核子的转移现象。这是一个许多核子参与的极其复杂的过程，在一定意义上可以看成是裂变的逆过程。把这个过程与通常的裂变过程合起来，研究大块核物质的动力学，这是当前核物理中颇感兴趣的课题。另外，在高能诱发裂变中也涌现了许多新现象。例如，用 11GeV 的高能质子打

击铀靶，观察到被打碎的铀块垂直地飞入入射质子轨道的两旁，它们具有比普通裂变高得多的动量和能量，并且两块碎片有近似相等的质量，质量数从几十直到一百二十均有。这是一个很有趣的现象。为了解释它，让我们先来叙述另外一个实验事实，即用电子散射观察原子核的密度分布，发现在重核中存在两个密度分布的核心。联系这个实验事实，再回到原来的问题，我们可以设想：像子弹一样的高能质子，从密度比较稀疏的铀核中间穿过，将铀核劈成了两半。由于不像通常裂变那样核要拉得很长，因此两块碎片的库仑排斥力很大，它们以很高的速度飞向两侧。这只是一个可能的定性解释，至于定量计算现在还没有像样的结果，特别是为什么会形成质量数很不相等的各种碎块还很不清楚。

这里仅举个例子，说明裂变物理虽然已经有不短的历史，但是，它的问题还很多，领域还在不断扩大，正在向深度和广度发展，一方面不断有新现象发现，另一方面随着实验技术的进展，对裂变机制的研究愈来愈深入。当前裂变动力学问题已提上议事日程：例如，如果把裂变核看成液滴，那么要问这个液滴有多粘，从裂变位垒变形到断开需要多长时间，等等。总之，核裂变过程是怎样进行的，为了真正弄清这个问题，还需要人们长期的努力。

（题头：顾晨曦）