

# 核能存储及释放的新机制

孟杰 彭婧

(北京大学物理学院 100871)

1938年,德国科学家奥托·哈恩等人发现铀裂变现象;1939年8月2日,爱因斯坦在写给美国总统罗斯福的信中指出铀裂变可能导致新型重要能源的产生和武器的建造,由此导致了1942年美国研制原子弹的“曼哈顿”计划和1945年7月16日在美国新墨西哥州的沙漠里进行的世界第一颗原子弹试验,从而使得核能成为可供利用的主要能源之一。通常所说的核能包括原子核的裂变能和聚变能。裂变能是重原子核通过裂变而释放的能量;而聚变能是由两个轻原子核聚合成一个较重核而释放能量。除了核武器外,裂变能主要用于发电,目前世界的核电已达总电量的16%。但是,裂变能释放常常会产生放射性较强的长寿命核废料。而聚变能到现在为止还不能控制,所以目前的应用仅限于核武器(氢弹)。

裂变能和聚变能仅用到早期核物理关于原子核结合能的知识。半个世纪来,核物理发生巨大变化,随着核物理研究上的深入及大型加速器和探测装置的建造,原子核衰变能,特别是同核异能态跃迁到基态时所释放的能量,有可能提供新的应用。

同核异能态是一种长寿命(通常大于1ns)的高激发态。相对于基态而言,同核异能态通常具有几百万电子伏特(MeV)的激发能。这个能量比核裂变中所释放的能量小1~2个量级,但是这种新的能量应用形式具有可控制性,并且产物无放射性不会带来污染,这些优点使得这种能量存储及释放方式的研究和应用具有重大意义。

同核异能态分为同核异形态、自旋阱和K阱三种类型:同核异形态是能量势能曲面出现第二个极小值时对应的激发态,如 $^{242}\text{Am}$ 中激发能为2.2MeV、半衰期为14ms的同核异能态,自旋阱是同核异能态普遍的存在形式,它的存在归因于它与邻近态之间较大的自旋差别,主要出现在球形或近球形核,如 $^{212}\text{Fr}$ 中有一自旋为34h,能量为8.5MeV、半衰期为24μs的同核异能态,K阱又称多准粒子高K态,它存在于轴对称形变原子核中,它与原子核的自旋矢量(包括自旋矢量的大小和方向)有关,这里的K代

表总角动量沿对称轴的投影量子数,如 $^{180}_{72}\text{Hf}_{108}$ 中激发能为1.1MeV、半衰期为5.5小时、 $K=8$ h的K阱。三种同核异能态之间的分类有时有重叠,其中最具实用价值的可能是自旋阱和K阱。

同核异能态可由熔合反应,部分熔合反应,散射反应或者碎裂反应合成:

1. 熔合反应 为了合成高自旋的同核异能态,需要用较重的炮弹进行熔合蒸发反应。例如:K阱研究中,用 $^{48}\text{Ca}$ 轰击 $^{130}\text{Te}$ ,熔合生成 $^{178}\text{Hf}$ ,该熔合核通常产生四中子发射。偶尔也只蒸发三个中子,则生成 $^{175}\text{Hf}$ 核的同核异能态,其自旋为57/2h,激发能为7.5MeV。

2. 部分熔合反应 部分熔合反应或炮弹碎裂反应在某些情况下能够转移更多的角动量。例如,用 $^9\text{Be}$ 轰击 $^{176}\text{Yb}$ 敲出一个 $\alpha$ 粒子,部分熔合的剩余核在蒸发三个中子后,生成自旋为23h,能量为2.4MeV,半衰期为31年 $^{178}\text{Hf}$ 的K阱。

3. 散射反应 散射反应是用重形变弹核轰击重形变靶核。由于大量的正电荷产生的库仑位垒使得靶核和弹核不能熔合,而是立即分开。如果碰撞的相对方位合适,则在短暂的接触中将有相当数量的自旋被转移。这个过程可能产生自旋超过20h的自旋阱。

4. 碎裂反应 在相对论性速度下的核-核碰撞非常激烈,能够产生大量碎片。根据碰撞后向前飞行的炮弹碎片的速度,可以用飞行时间和能量损失技术来标记碎片的质量和电荷,进而鉴别每个产物核是处于基态还是同核异能态。这是一种产生和鉴别新同位素和同核异能态的方法,这种方法可以应用于丰中子核中K阱的寻找。

同核异能态自发辐射释放能量需要几十年的时间,利用“光子开关”可以控制同核异能态释放能量。它取决于同核异能态附近是否存在能量为电子伏特量级的态。然后,通过低能光子使原子核激发至邻近较低或较高的能态从而引发衰变。如果原子核受激跃迁到短寿命能级,就能立即释放总能量为几个MeV的级联跃迁。此外还可以用“电子桥机制”使

# 日俄美欧科学家相继发现五夸克新粒子态

何景棠

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

从 60 年代起,粒子分类一直采用夸克模型。自然界存在六种夸克:它们是上夸克(up,简称为 u),下夸克(down,简称为 d),粲夸克(charm,简称为 c),奇异夸克(strange,简称为 s),顶夸克(top,简称为 t)和底夸克(bottom,简称为 b)。夸克模型认为,介子是由夸克和反夸克组成的,而重子是由三个夸克组成的。介子和重子统称为强子。由胶子传播强相互作用。量子色动力学(Quantum Chromodynamics,简称为 QCD)描写强相互作用。图 1 表示按夸克模型分类的自旋为 0 的介子八重态及其夸克组分,图 2 表示按夸克模型分类的自旋为 1/2 的重子八重态及其夸克组分。QCD 预言,除了介子和重子之外,还应该存在由两个胶子或三个胶子组成的胶子球(Gueball);由胶子和夸克组成的混杂态(Hybrid State);由四个夸克组成的四夸克态,由五个夸克组成的五夸克态,由六个夸克组成的六夸克态。但夸克模型并没有准确预言四夸克态,五夸克态和六四夸克态的质量和衰变宽度(寿命)。这使实验上寻找四夸克

态、五夸克态和六夸克态带来困难。事实上,在 80~90 年代进行的某些粒子物理实验已经获得有多夸克态存在的数据,只是由于没有理论的指导,以致没有很好进行分析。

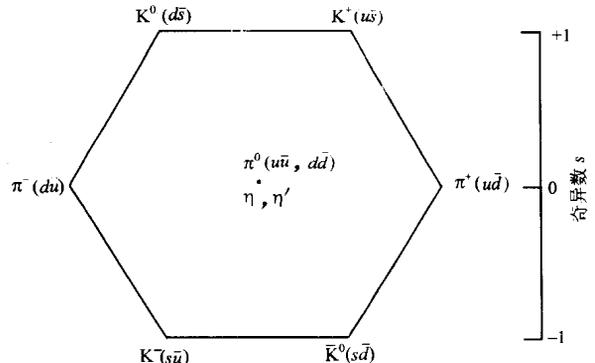


图 1 自旋为 0 的介子八重态及它们的夸克组分  
右边的数字 +1、0、-1 是奇异数  $s$  的值

1997 年,俄罗斯理论物理学家 D. Diakonov、V. Petrov 和 M. Polyakov 利用手征孤子模型(chiral soliton model),把重子看成是场的孤子,预言存在反十重

同核异能态初、末态的自旋相匹配从而释放能量。

同核异能态储存的能量是惊人的。以<sup>178</sup>Hf 同核异能态为例,每个<sup>178</sup>Hf 同核异能态所存储的能量为 2.4MeV,每 1 克<sup>178</sup>Hf 同核异能态可释放 361 千瓦时的能量。我国 2003 年耗电总量约为 17800 亿千瓦时,这相当于 4931 吨<sup>178</sup>Hf 所存储的能量。

同核异能态的研究一直被许多国家所重视。日本科学家长期以来一直在积累同核异能态的有关数据,并且正在设计建造 K 阱束流线装置。1999 年, Collins 等人在美国空军资助下,利用 X 光机激发<sup>178</sup>Hf 中半衰期为 31 年的同核异能态的射线辐射,取得积极结果。尽管这一工作不被随后美国阿贡、洛斯阿拉莫斯、利物莫等国家实验室独立进行的实验所支持。2003 年 8 月 16 日,《新科学家》杂志上关于“伽玛射线武器可能引发新一轮军备竞赛”的报道在国际上引起很大反响,激起了各国对研究新型武器的兴趣。而美国五角大楼国防高级研究计划署正在审定这些结果,考虑发展这种能够释放大量高

能伽玛射线的新型武器。

产生和控制衰变能的关键在于理解自旋阱的衰变机制,了解电磁跃迁、隧道效应和同核异能态的结构。自旋阱的研究包括能量和寿命的预言,以及结构和衰变模式的研究。能量和寿命的预言对模型的要求很高,它要求利用全空间多粒子激发情况下精确的壳模型来处理;而且必须认真处理费米子之间的对超导性。目前,关于这个问题的处理无论是理论上还是实验上都存在很大的困难,无法进行精确的处理。

由于国防需要,中国在核科学领域聚集了一大批人才。特别是自上世纪七十年代以来,我国理论与实验工作者在高自旋态、超形变原子核、磁转动、手征双重带、同核异能态、自旋阱和 K 阱等的研究中做出了重要贡献,先后有一些理论和实验工作者在国际上著名研究所从事研究工作,为新的能量存储及释放机制的研究作了充分准备,相信能够在该领域做出独特贡献。