

# 高能重离子与「原子击破器」

范钦敏

1982年5月11日,美国加利福尼亚州劳伦斯伯克利实验室(LBL)第一次成功地获得了地球上天然存在的最重元素铀的裸原子核,并将其能量加速到每个核子147.7MeV,整个铀<sup>238</sup>离子具有的总能量约为35GeV。在这个能量上,离子以接近光速的二分之一的速度运动着。LBL的这一创举,使核物理学和原子物理学闯入了一些以往无法触及的新领域。近几年来研究表明,在这些领域中已经显现出一些新的激动人心的奇特现象,引起了物理学家的高度重视。

## 高能重离子的产生

LBL的高能铀离子是在一个叫做贝伐拉克(Bevalac)的加速装置中获得的。Bevalac是由高能质子同步加速器(Bevatron)和超重离子直线加速器(Super HILAC)两部分组合而成的。Bevatron建成于30多年前,当时它是能把质子能量加速到10亿电子伏的最早加速器之一。30年来,质子加速器能量已提高了数百倍,Bevatron在 高能加速器行列中已经落伍了。于是,在10多年前,LBL就决定将它改为重离子加速器。为此,在Bevatron前面配备了一台具有新的离子源和注入器的Super HILAC作为第一级加速器。这样就组成了一台新的高能重离子加速装置Bevalac。

重原子的内层电子由于极强的库仑作用而被紧紧地束缚在原子核外。如何将铀原子的全部电子都剥离掉而形成一个裸原子核呢?在LBL的Bevalac中,首先使铀原子部分电离,形成带少量正电荷的铀离子,然后使离子加速,当它的速度超过核外电子在其轨道上的运动速度时,让离子穿过某种金属薄膜,这时就会有相当多的电子被剥离掉,形成多电荷的铀离子,例如 $U^{68+}$ 。之后,让 $U^{68+}$ 离子继续加速,并通过聚酯树脂塑料膜,得到由 $U^{89+}$ 和 $U^{81+}$ 离子组成的混合物。最后再由一层厚的钽膜将剩余的电子剥离掉,从而得到含有约85%的裸铀核和15%的类氢铀原子(只剩下一个电子的铀离子 $U^{91+}$ )。有时其中还会出现少量类氢(剩下二个电子)或类氦(剩下三个电子)的铀原子。

如今,Bevalac在满能量运转中已经可以将每个核子的能量加速到1GeV。不过,由于存在上述剥离过程,加速离子的能量多少要损失一部分,所以在这种情况下每个核子所具有的最大能量约为960MeV。

## 用裸铀核研究核裂变

库仑力与核力在每个原子核中都起着互相制约的作用。核力在核子(质子、中子)间产生作用,库仑力则在质子间起作用。在这两种力中,如果核力较强,则原子核稳定;如果库仑力较强,则核就会分裂。由于中子会产生核力而不产生库仑力,这样,如果愈来愈多地增加中子数目,似乎可能使任何大小的原子核处于稳定状态。然而这在实际上是不可能的,因为核力的作用距离极短,随着作用距离增加,其强度会迅速下降,而且下降的速度比库仑力快得多。所以,原子核有一个极限尺寸,超过这个尺寸,它就再也不能束缚任何中子了。

可裂变铀核正处在核力和库仑力相抗衡的状态。它们稍一受到触碰,就会裂解,之后,库仑力占据优势,迫使核碎片互相分离。例如,在反应堆或原子弹中,只要入射少量的低能量中子就足以触发铀核裂变。

在Bevalac中产生的相对论性铀核,可用来研究高能下的核裂变行为。将裸铀核从加速器中引出后,打到由塑料或乳胶制成的探测器中。根据铀核在探测器中形成的径迹的分析表明,铀核与探测器物质中的原子核相撞时会出现一些奇特的现象。例如,在所分析的152个碰撞事例中,有半数铀核分裂成大小差不多的两块,另外一半则显示出分裂为数块或许多块,其中最令人感兴趣的是,约有18%的事例显示出入射铀核被彻底粉碎了,也就是说整个铀核被完全击破了。而且有迹象表明,入射核的能量越高,发生这类击破的可能性就越大。这类事件反映了高能下核裂变的一种异常行为。

## 用类氢铀原子检验量子电动力学(QED)

QED是关于电磁相互作用的理论。迄今人们对于原子和分子结构的认识,在很大程度上都依赖于QED理论的正确性。到目前为止,QED经受住了来自各个方面的以多种不同形式进行的实验验证。

如果用类氢铀原子来检验QED,其结果会怎样呢?由于这类检验工作以往从未做过,因此引起人们的很大兴趣。值得注意的是,由于类氢铀原子与真正的氢原子在核的电荷量上有很大的不同,QED理论是否能完整地描述类氢铀原子的行为目前还无法断定。我们知道,QED为原子体系的跃迁能量提供的数学表达式是一个幂级数形式,即一列幂指数渐增的连续项的和,每一项都包含有关于原子序数和精细结构常数的式子。当用这个幂级数来计算氢、氦原子时,较高价的项可忽略不计,由此带来的修正在实验上是完全觉察不到的。但对于类氢铀原子,这些高价项将起着重要的作用,不能将它们忽略。在这种情况下,这些高价项所引起的误差可能是明显的。

LBL的科学家们从去年开始,

着手用类氦铀原子进行有关 QED 的实验检验。我们期待着他们的实验结果。

### 畸形子的发现

所谓“畸形子”指的是比通常的核更倾向于同别的物质发生相互作用的原子核或核碎片。当它们穿过物质时，在还没有达到正常深度前就已经与核物质发生了相互作用，也就是说，在它们与核物质发生相互作用之前，它们在靶中运动的距离比正常核碎片要短得多。因此，畸形子呈现了核物质的某些特异的状态。

近年来的高能重离子实验，发现了畸形子。当高能重原子核撞击固体靶时，入射核与靶核发生作用后会产生大量的核碎片。对这些核碎片的分析表明，其中约有 3~5% 是畸形子。

畸形子究竟是什么？目前流行的畸形子理论认为，它可能是一种“夸克-胶子等离子体”。在这类等离子体中，中子与质子的特性已被破坏，所剩下的只是一团夸克和体现夸克之间作用力的粒子——胶子。

现代物理学理论认为，组成亚原子粒子的夸克，决不作为自由态而出现，也就是说，它们总是束缚在由其自身所组成的结构内的。每一个亚原子粒子可以被看成是一种外壳，其内的夸克不会脱壳而出。但是，近年来有些人认为，在极高能量下这类外壳可能破裂，夸克可能会冲破束缚，而与胶子构成一种夸克-胶子等离子体。如果上述的畸形子正是这样一种等离子体，则粒子物理的理论将会因此而变得更加复杂化。

畸形子似乎代表着核物质的一种前所未知的高度交互状态。对于核物理学家来说，它的发现无疑具有重大的科学意义。另一方面如果考虑到核物质在技术方面的应用，则这样一种反应极强的核物质的重要性就更是不言而喻了。

### 建造新的重离子加速器

1983 年初，美国纽约州厄普顿的布鲁克黑文国家实验室提出一项建议，将他们的交变梯度同步加速器 (AGS) 改建成为专用的重离子加速器。后来这一建议获得批准，并于 1984 年 10 月 17 日在布鲁克海文举行破土动工典礼，开始实施串列交变梯度同步加速器重离子工程，即把现有的串列静电加速器与 AGS 连接起来。串列加速器将剥去原子的电子并将离子予加速，AGS 则完成主加速工作。这种组合系统可以把离子加速到使它们的原子核里的每个核子具有 15GeV 的能量。这项工程预计将在 1986 年完成。在这之后，还计划把上述能量提高到 30GeV，并实现高能重离子的对撞。到那时，这类重离子加速器将真正成为名符其实的“原子击破器”。

可以预料，随着高能重离子加速器的发展和各类原子击破器的出现，在高能物理领域将会显露出更多的奇特的实验事实，供人们去探索、去研究。