

重离子引起的核反应 (续完)

R. Bock, H. Emling, K. D. Hildenbrand

相对论能量下的重离子反应

在低能核反应中, 碰撞系统在相互作用的任何时刻都能看作在平衡之中, 可是当弹核的速度大大超过核子在核内的速度时, 就应当发生区域现象。其中最有趣的性质是核物质的压缩。在实验室条件下, 相对论重离子碰撞是产生密度远高于普通核的核物质的唯一手段。另外, 用很高能量密度的重弹核可以遍及到核内很大的区域。因此, 相对论重离子碰撞是研究高密度高温下的核物质的唯一工具。

重要目的之一是从实验上研究核的状态方程。在极端的压缩和受热的核物质的条件下, 预料会发生一些新的现象。可能有几类相变。最感兴趣的是由强子物质到夸克物质的相变, 一种被称为夸克-胶子等离子体的状态, 可以认为在核内消除了夸克口袋的约束。另一个有兴趣的问题是在这类碰撞中能达到的核温度是否能随能量的积聚而无限制地增高, 它是否会在一个极值的高温时饱和, 这是一个非常重要的问题, 因为温度直接与强子谱有关, 看它是否被截断。从理论角度考虑, 这个极限温度预期在 160MeV 左右。很明显, 所要研究的问题与高能物理和天体物理一如中子星或早期宇宙的物理学等问题密切相关。可是所用的理论和实验方法更接近于核物理。因而可以说, 随着重离子物理的延伸至相对论能区, 将会开辟研究核物理学的新的领域。

目前, 只能在这个激动人心的新领域的低能部分进行实验性的开发。自 1970 年以来, 在劳伦斯伯克利实验室的 BEVALAC 加

速器上做了一批先驱性的工作, 最高能量为 2GeV/u, 最重的离子为钙。在最近的改进计划中 BEVALAC 加速器增高了能量, 而且一直可加速到铀核。下面讨论一些有关的结果。要形成夸克-胶子等离子体还需要有更高的能量。因此, 高能研究的设备目前正在讨论之中。

为了开发这个新的领域要求发展新的方法和技术, GSI 和 LBL 合作进行的一个实验计划几年以前就已开始, 现已建成了新的设备。从实验的角度看, 相对论重离子反应的特点是每个事件中有大量的粒子发射出来。一个晶体球 4π 谱仪包含有八百多个探测元件, 几年以前建成并投入运行 (图 8)。为了进行广泛系统的核反应研究, 另外还使用了带有触发探测器的流光室, 现在正在发展一个自动扫描系统。目前已完成了一台超导磁谱仪 HISS, 将能用于未来的实验。

过去几年内发展了大量的多参数数据的处理和分析、发射体的推定和特性的鉴别等方面的技术和方法。为了给人们一些有关这方面工作的成就的概念, 我们只例举一些有特征性的问题, 而不想对实验结果进行总结。我们得到了那些有关反应机制方面的知识, 而对于碰撞中得到的核温度和核密度我们又知道些什么?

经过简化的描述, 对碰撞过程的演化可以区分几种不同的相。在中心碰撞的初始阶段, 在两核重叠区的核物质受到了压缩和加热, 并形成一个小火球, 假定它达到了区域性的平衡。假如能量超过了阈能, 在核子-核子碰撞中产生 π 和 k 介子。在第二阶段中, 激发能分布到整个系统, 系统在反应产物变冷以前发生膨胀和冷却。除核子和介子以外,

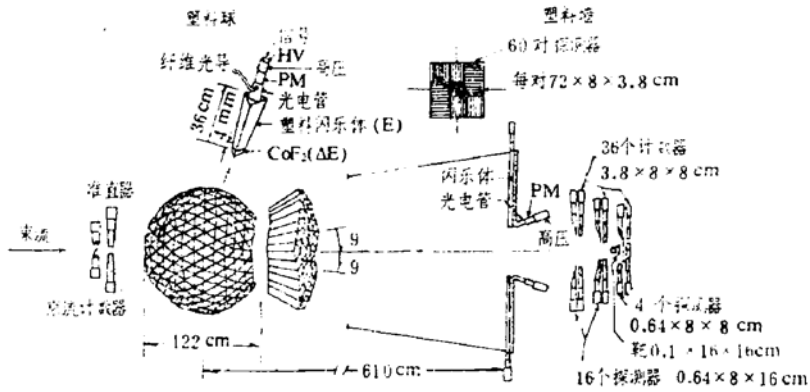


图8 塑料球和塑料墙探测器示意图。塑料球是为了在相对论重离子反应中探测高多重性事件而建造的 4π 谱仪。它由八百多个探测单元组成，每个单元都有能量和能损探测器用以鉴别轻核反应产物。塑料墙探测器是用来在向前方向得到更好的分辨的。

还观察到由旁观者物质产生的或由于凝聚而在膨胀的末期所形成的复杂粒子。这样约占 $10^{-2}S$ 的碰撞演化的图象是基于不同反应产物的粒子发射的测定和理论的反应模型之上的，这些模型主要是级联模型和流体力学模型。最近用晶体球的实验第一次表明，对像Nb打Nb这样重的碰撞系统观察到了核物质向旁飞溅的现象，这和流体力学的假说是非常符合的。

对在有关机制和冷却中的系统的(过渡)性质方面能提供信息的一些特征的研究已取得了重要的进展。例如，事件的高多重性的测量告诉我们，碰撞参量小的碰撞是中心碰撞。我们从蒸发谱得知的，发射粒子能谱的斜率就是发射体温度的特征。不同种类的粒子，如质子、 π 介子和k介子的能谱给出了稍有不同的温度(图9)，因为它们是在反应的不同阶段被发射的，或者它们在核内有不同的吸收特性。例如，k介子的吸收没有 π 介子强，因此，可以用来了解核的内部，而 π 介子源则是在核的表面。假如在阈能处产生了k介子的话，它们能给出有关碰撞系统初始热阶段的信息，因为在平衡系统中，碰撞核子的能量不再足以产生k介子了。另一特性是：所有发射粒子的纵向动量与横向动量之比，告诉我们有关碰撞过程中达到的热平

衡的情况；质子与氘核之比，对确定系统的熵来说，它表示碰撞的膨胀相的特性。

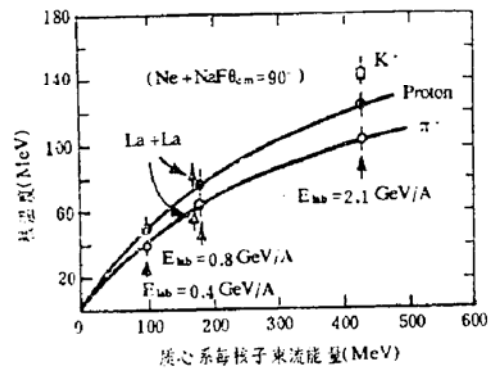


图9 作为弹核能量函数的由不同反应产物能谱的斜率定出的核温度

最激动人心的新结果是核物质能压缩到正常密度四倍的实验证据，用流光室对从阈能到 2.1GeV/u 的Ar束轰击KCl的实验是从这样的一种想法出发的；碰撞系统的压缩能是势能，在核子-核子碰撞中它是不能用来产生介子的。为了“度量”这个动能亏损，测量了 π 介子生成截面的激发函数，并与级联模型的计算结果进行了比较。在从阈能到BEVALAC的最高能量的整个能区内所测得的截面远低于预言值，而用核物质的压缩来解释丢失的截面，(核物质的压缩在实验中是存在的，而在级联中并未加以考虑)从此

(下转39页)

(上接13页)

可预言其密度为正常核物质密度的 2.5 倍至 4 倍。象图10中表示的那样, 从这些测量可得到状态方程的近似式。作为交叉检验实验, 在轻弹核轰击重靶和同样的能量积聚时并没有这种效应。最近 La 打 La 的实验非常好地肯定了 Ar 打 KCl 的实验结果。作为初步的结论, 可以认为在实验室的实验中得到了核的密度, 而一般这只存在于中子星内。曾经假定, 在 $\rho \geq 2\rho_0$ 时存在 π 介子凝聚态, 这在中子星的结构中是很重要的, 仍在积极的研究中。

总之, 相对论重离子碰撞可以说是现代核科学的最富有挑战性的广阔的前沿。

(褚永泰译自 Interdisciplinary Science Reviews 1984, V.9, No.4)

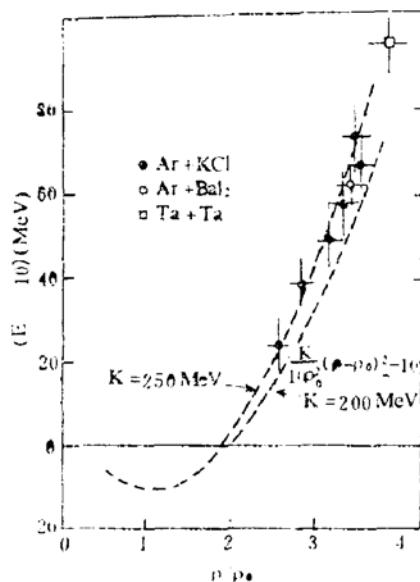


图10 作为核物质密度函数的压缩能, 这是从 Ar 打 KCl, Ar 打 BaI₂ 和 La 打 La 的中心碰撞中的 π 介子的产额得到的。