

超高能重离子碰撞

(之二: 李老师的信)

刘连寿 蔡勛

小陈、小张:

你们好! 上次在火车上,我们一块讨论了“超高能重离子碰撞”。这个问题越来越有可能成为粒子物理研究的前沿课题。最近,我看了著名物理学家李政道教授的一篇文章,题目就叫做《相对论重离子碰撞与未来的物理学》。李政道教授认为,利用相对论重离子碰撞来研究夸克-胶子等离子体这种新物质、形态及其有关的相变特性,是未来物理学的一个重要的新方向。他预定,在今后一、二十年内,将会有相当大一部分高能物理学家和核物理学家参加到这个激动人心的研究领域中来。

关于温度足够高时会发生由核物质态到夸克-胶子等离子态的相变,最早是由 Cabibbo 和 Parisi 提出的。他们提出这一假设是根据 Hagedorn 的理论。早在 1962 年, Hagedorn 曾提出了一种统计靴样模型。用这一模型计算强子共振态的数目,发现质量越大共振态数目越多,随着质量的增加,单位质量间隔中的共振态数目指数地增加。这样一来,当温度高于某一数值 T_m 时,核物质处于高质量共振态的几率会变成无穷大。为了避免出现无穷大, Hagedorn 认为核物质的温度不能够无限上升,而有一个极限值 T_m 。到了 1975 年, Cabibbo 和 Parisi 指出,共振态密度的指数型增长关系不一定表明有极限温度,而可能标志着存在由核物质态转化为夸克-胶子等离子态的相变。极限温度也可能就是相变点。写到这里,你们可能会联想到,摄氏一百度并不是水的极限温度,而是水由液态转化为气态的相变点。水的液气相变是人所共知的,而核物质到夸克-胶子等离子体的相变则是在 1975 年才由 Cabibbo 和 Parisi 首先提出来的。从那以后,有

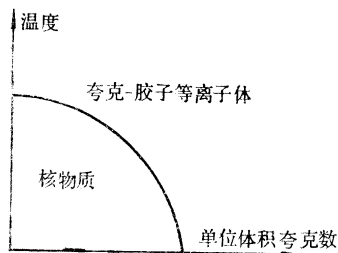


图 1

许多理论物理学家,作了不少工作来研究这种新相变。他们估计相变温度在二亿电子伏左右,相当于二万亿度,并且初步得到了相图,如图 1。这

方面的研究还处于初级阶段,还有很多问题需要解决。

我记得小张还提出了怎样在实验上观察相变的问题。这需要从两方面着手。第一方面是如何产生超高能重离子并实现对撞。上次在火车上我曾作过一些数量级的估计。这些估计表明,利用现有的大加速器,特别是即将建成的伊莎贝尔对撞机,将重离子加速到能够获得超过相变温度的能量,是很有希望的。在这方面需要解决的一个重要问题是离子源。只有把重原子核周围的电子尽可能地剥离,提高荷质比,才有可能有效地提高离子的能量。目前,这一技术已经有了很大发展。

第二方面是如何检测和分析相变。首先要

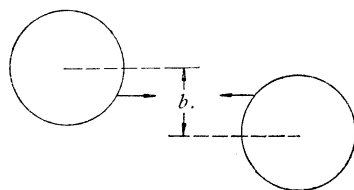


图 2

所记录的大量事件中判断哪些是中心碰撞,哪些是边缘碰撞。对于边缘碰撞,由于碰撞参数 b 大

(参看图 2), 显然发生相互作用的核子数目少。因此,反应末态的多重数小,大多数核子仍旧带有入射时的纵向动量。我们所关心的是中心碰撞,其碰撞参数 $b \leq 1/2m$ 。此时发生相互作用的核子数多,故末态的多重数很大,并且纵向动量保持不变的末态核子数目很少。这就在实验上给出了区分中心碰撞和边缘碰撞的标志。

通过超高能重离子碰撞实验,如何分析这些实验数据呢?我们可以设想:超高能的重离子经过中心碰撞形成了一个原子核大小的火团。这个火团的内部区域是高温的夸克-胶子等离子体,而外围区域温度低,仍然是核物质。由于这种形态不稳定,很快会发生衰变,李政道教授把它称为亚稳型体系。(见图 3)

在这种亚稳型体系的内部和外围两个区域中,都会产生许多 π 介子。由于强相互作用,内部区域产生的 π 介子不可能跑出去。所以,实验上观测到的 π 介子,都是由外围区域产生的。但是,内部区域产生的 γ 光子不受这种作用的影响,它们可以跑到外面来。于是在实验上可以通过测量由内部区域产生的 γ 光子,来了解内部区域的信息。

这里又出现了一个问题。外围产生的 π^0 介子也

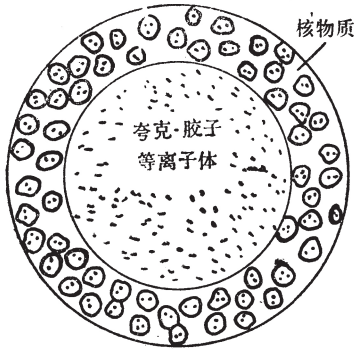


图 3

可以衰变为 γ 光子。因而还得区分直接和间接产生的这两类 γ 光子。你们可能还记得，核的沸腾温度是 1.6 亿电子伏，这也就是外围区域核物质的温度。再加上 π 介子本身的静止质量 (1.4 亿电子伏)，对于 $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ 的衰变过程，这种间接产生的 γ 光子能量仅为 $\frac{1}{2}(1.6+1.4)=1.5$ 亿电子伏。如果实验上测得的 γ 光子能量接近于这个数值，就有可能是间接产生的；而如果能量高达 2~8 亿电子伏，必然是内部区域直接产生的。

根据以上这些分析，我们可以分别获得由内部区域产生的大量 γ 光子和由外围区域产生的大量 π 介子的数据。这样就可以分别测出由于干涉造成的 2γ 和 2π 关联效应。再通过傅里叶变换，我们也就可以分别求得体系的两个区域的几何图象。最后，利用已求得的几何图象(譬如，两个区域的半径，见图 4.)，又可以分别独立地算出这个亚稳体系的寿命。这两种途径求得的寿命是否一样，也是对理论的一种检验。

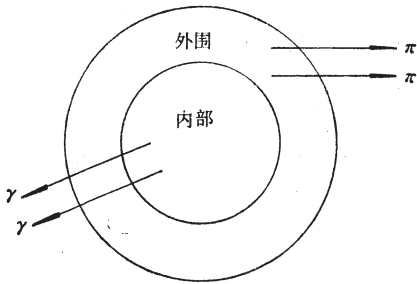


图 4

除了上述的亚稳型体系以外，超高能重离子碰撞还可能产生一种不稳定的体系，李政道将它称为火山型的夸克-胶子等离子体系。这是因为超高能中心碰撞是一个十分复杂的过程，由于各种干扰和起伏，有可能形不成一个封闭的大口袋，内部区域的夸克、胶子物质一边强子化，一边在外围上冲破许多缺口而喷射出来。这种景象与地球上的火山爆发类似，地层深处炽热的岩浆通过火山口喷射到地球外面。(见图 5)。通过测量这种喷射，也可以了解夸克-胶子等离子体的许多信息。

将图 3 的亚稳型体系与图 5 的火山型体系比较，显然可以看到，对末态粒子的检测，亚稳型体系是均匀的，火山型是不均匀的。

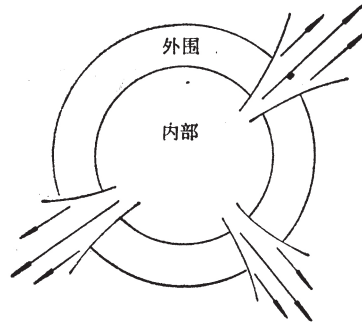


图 5

总起来说，近年来粒子物理的研究，越来越表明真空效应有很重要的意义。因此，必须研究与真空有关的集体效应和合作现象。然而高能物理实验的传统方法却是能量提得越高，研究的空间尺度就越小，基本上忽略了集体效应和合作现象。为了改变这种状况，需要在高能情况下研究比较大的(具有原子核大小的量级)的系统。这样的系统可以在天上的一些特殊星体中找，也可以利用宇宙线中的特殊事例。只是这两种方法，不是离我们太远，就是观察难以控制。因此，超高能重离子碰撞成为很有前途的研究方向。你们说，是不是这样呢？如果你们有兴趣，欢迎你们一起来探索这个正在开发的领域。

祝你们进步！

李老师