

超 高 能 重 离 子 碰 撞

(之一: 三人对话)

刘 连 寿 蔡 勛

(小陈和小张乘坐一次特快列车,去某地开会。上车后,碰见了他们上大学时的一位理论物理老师。)

陈、张: 李老师,您上哪儿去呀?

李: 哟,这不是小陈和小张吗?我刚参加了一次粒子物理讨论会,现在回学校。

张: 会议内容丰富吧?

李: 那还用说。其中有个新的研究方向,很有前途,特别引起大家重视。

张: 什么新方向?

李: 超高能重离子碰撞。

陈: 重离子碰撞?它不是属于核物理的研究范畴吗,怎么成为粒子物理研究的新方向了?

李: 嗨,这你们就有所不知了。重离子碰撞研究的范围相当广泛,可以分为低能、中能和高能。它们以研究原子核的结构特点、衰变性质和反应规律为目的,确实是属于核物理的范畴。而这次讨论会上介绍的新方向,是超高能,从粒子物理的角度来研究的相对论重离子碰撞。

陈: 据我了解,粒子物理实验不都是在加速器或对撞机上作正负电子或质子之类的碰撞吗?

张: 不一定,粒子物理中也有质子与原子核的碰撞,大概这就是重离子碰撞吧。

李: 小张说的是广义上的重离子碰撞。现在引人感兴趣的是两束被加速到超高能离子,特别是核子数目相当大的离子之间的碰撞。

陈: 为什么对这个老课题发生了新兴趣?

李: 这要从理论和实验两方面来回答。先说理论方面的意义吧。我们知道,质子、中子以及所有的强子都是由夸克和胶子组成的。这些新的组分粒子具有一种很不寻常的性质,就是不论我们作多大努力,都不能够使它们从强子的内部跑出来。这种现象被称之为禁闭现象。由于禁闭的存在,粒子物理研究不论是实验上还是理论上,都有许多困难,现在,通过理论分析,认为在超高能情况下,重离子碰撞时可能产生一种高温体系,于是,许多粒子物理工作者相信,在这种高温体系内部,禁闭也许会被解除,从而形成一种夸克-胶子等离子体。

张: 等离子体不就是把电子从原子中拉出来,形成的所谓电离气体吗?

李: 那是克服电磁相互作用造成的带电的等离子体,

通常称为物质第四态。而超高能重离子碰撞是克服强相互作用,形成的是一种带色的夸克-胶子气体。夸克、胶子可以在这种体系内自由运动,这是地球上以前未有过的一种新的物质形态。

张: 真有意思,大概可以叫做物质第 x 态吧。

陈: 由普通的核物质形态变为这种夸克-胶子等离子态,也称为相变吗?

李: 是的。如果通过实验,能够发现这种相变,将是对强相互作用理论,即量子色动力学最有力的支持。

张: 这有多大价值呢?

李: 你们听说过格拉肖、温伯格和萨拉姆的弱电作用统一理论吗?

陈: 听说过。

李: 他们的理论预言了弱中性流的存在,后来在实验上发现了弱中性流,……

张: 我知道了,他们三人为此获得了诺贝尔奖金呢。

李: 新相变发现的价值,可以与中性流的发现相媲美。

陈: 李老师,实验方面的意义呢?

李: 你们都知道,粒子物理研究的基本实验方法,是用高能加速器去产生各种高速粒子束,通过碰撞来观察分析粒子的内部结构和相互作用,发现新粒子和新现象。为了研究空间尺度越小的现象,就需要产生能量越高的粒子。从1933年世界上第一台有六十万电子伏的静电加速器建成以来,到目前能量已高达320000京电子伏。五十年来,能量差不多上升了七个量级。建造伊莎贝尔对撞机的造价为二亿七千万美元。今后,如果还要将能量再提高一个量级,加速器的半径将接近二十公里,周长达一百多公里,而造价也要超出二十亿美元以上。看来,世界上再没有哪个国家的政府愿意拿出这么昂贵的投资来建造新加速器了。

张: 粒子物理发展的前景不妙哇!

李: 这倒用不着悲观。困难正是科学前进的动力。

陈: 我看首先要寻求一种减小规模、降低造价而又可提高能量的新原理。

李: 这是一条出路,只是目前进展不大。另一条出路,现有的加速器就可以大有作为。

张: 哦,可以用它来加速高能重离子。

李: 对,这条路在近几十年内完全可能走得通。但目前还差不多是一个空白的领域。

陈：真是山穷水尽疑无路，…… 那么是什么呢？

李：大家知道，核子数为 A 的原子核，半径大约为 $1.2 A^{1/3}$ 费米（1 费米 = 10^{-13} 厘米），其内部的能量密度为每立方费米 1.3 亿电子伏；质子和中子，半径大约为 0.8 费米，它们内部的能量密度为每立方费米 4.4 亿电子伏。在超高能重离子碰撞中，可以产生一个原子核大小量级的体系，但它内部的能量密度却可达每立方费米 10 亿电子伏。

陈：这比核物质密度要高出了一个量级。

李：是呀。超高能重离子碰撞产生的是一种高密物质体系。

张：李老师，你说它还是一种高温体系，温度有多高？

李：在一般的多重产生实验中，被产生的末态 π 介子达到热平衡时有一个极限温度，称为核的沸腾温度，大约是 1.6 亿电子伏，相当于一万六千亿度。

张：哎呀，这么高的温度！

李：如果利用即将造成的伊莎贝尔超高能重离子碰撞，温度还会远远超过它，达到十万亿度。

陈：在这样的高温高密物质情形下，一定会出现许多新的物理现象。

张：李老师，多重产生是什么意思？

李：这是指末态出现许多强子的碰撞反应，其中大多数强子是 π 介子。新产生粒子的数目称为多重数。

陈：我猜想，超高能重离子碰撞的多重数，一定比通常碰撞实验的多重数大得多。

李：不错，大约要大上千倍。

张：李老师，禁闭解除是怎么回事？

李：这需要从头说起了。在普通的电磁学中，电荷在真空中会产生一种屏蔽效应。譬如，把一个正电子放在真空中，真空本身虽然没有电荷，然而由于极化，可以产生一对对正、负电荷。放在真空中的那个正电子，把真空极化产生的负电荷吸近一点，把正电荷推远一点。这样，从远处看来，正电子的电荷在实际上变小了。所以，屏蔽效应的结果是：距离越近，相互作用越强；距离越远，相互作用越弱。现在我们考虑的是夸克，它带有一种新的荷，叫色荷。色荷在真空中造成的是一种反屏蔽效应。如果在真空中放进一个带有某种色荷的夸

克，由于真空极化所产生的正反色荷，有反屏蔽效应，使这个夸克的色荷得以增强。所以，反屏蔽的结果正好相反：距离越近，相互作用越弱；距离越远，相互作用越强。

陈：这样一来，就不可能将强子中的夸克拉开了。因为越拉开，费力就越大；而要使它们完全分开，费力就是无穷大了。

李：是呀。不过在前面我们提到的高温高密体系中，由于周围粒子在高温热激发下的集体效应，会产生一种物质极化现象。这种现象与电磁作用的情形类似，是一种屏蔽效应。

张：这么说，高温高密体系的远距离和近距离行为，都是相互作用减弱了。

李：对。由于这种屏蔽效应，在高温高密条件下，夸克不再是禁闭的，强子的小口袋不见了，形成了一个装有大量夸克和胶子的大口袋。

陈：李老师，我这样理解，您看对不对：温度不太高时，由于禁闭效应，我们在实验中只可能观察到一个一个强子，这就是通常的核物质态。而当温度达到足够高时，禁闭在一定范围内被解除，实验上就应当观察到一种新的物质形态，这就是高温高密的夸克-胶子等离子体。

张：李老师，夸克-胶子等离子体有些什么新特点？由核物质态到夸克-胶子等离子态的温度是多大呀？这种相变发生时，还会看到什么新现象？

李：小张，你不要急嘛！你提的问题很重要，这些都是超高能重离子碰撞研究中最感兴趣的问题。现在在国外已有一批理论物理学家，正在利用各种模型来探索这些问题。

（这时，列车上的播音员通报了下一站的站名。）

李：你们看，说着说着，时间就过去了。我该下车了。

张：李老师，我还有问题咧。比方说，现在世界上的加速器能不能做超高能重离子碰撞的实验？能量能不能达到相变温度？在实验上如何检测相变呢？还有，理论上是怎样分析相变的呢？……

李：时间来不及了。小张，小陈，如果你们有兴趣的话，我回去写信告诉你们吧。好，再见了！

陈、张：李老师，谢谢您，再见！