

## 国际重离子物理及其应用讨论会总结报告

*H. Siemssen*

(KVI, 荷兰)

这次国际重离子物理及其应用讨论会包括许多方面的题目,从而反映了兰州重离子加速器所具有的研究潜力,这是一次非常激动人心的会议,这次会议具有许多精彩的报告,我非常喜欢这次会议。虽然我们每天听八小时的报告,但却有充裕的时间来讨论问题,而且报告在题目上的有效交叉,又可以促进相互之间的共同提高。实际上,我们看到非常令人满意的情况是,在一个报告中提出怎样重复的一个问题,在另一个报告中就被解决了。

内容包括这么广范围的会议就给总结报告者出了难题。对于每个人的报告,我不可能作出合理的评价,事先我必须向他们表示歉意。对于重离子应用,我几乎未有提及,主要因为我对这一领域几乎一无所知的缘故。然而,恐怕对于核结构的研究,本人也未有深造的造诣。

在会议的第一天,我们分别听取了沈文庆和孙祖训的报告,沈文庆报告了兰州HIRFL的设备和研究方案。孙祖训报告了北京原子能研究院串列实验室的设备和研究方案。自1986年HI-13型串列加速器在北京运行以来,时至今日,又一台加速器在兰州投入运行。这两家实验室都配有大量的实验设备,而且两家实验室的最终目标是在原来基础研究的前提下,开展应用研究工作。兰州近物所主要从事重离子物理研究,北京原子能研究院主要从事轻离子物理特别是快中子物理的研究,极化轻离子源不久将可以利用。中国核物理界拥有北京和兰州这两台互补的很有希望的加速器设备,完全可以在接近库仑位垒到每核子100MeV的能量范围内进行齐头并进的研究工作。

这次会议主要部分集中在中能重离子反应,有目前最令人感兴趣的从低能向中高能发展的核-核碰撞动力学的演化,其中,低能碰撞过程平均场起主导作用,而中高能反应核子-核子碰撞起主导作用。Hildenbrand, Peter和Saint-Laurent三人的报告集中于热核的形成和衰变,其中心问题是:一个平衡的核系统可保持最高激发能(温度)是多少?在高温情况下是否存在相变?Peter和Saint-Laurent分析了类熔合过程,而Hildenbrand报告了应用深度非弹反应形成热核。

过去几年间,通过裂变折叠角数据和蒸发剩余速度谱的测量,在每核子能量超过30MeV的能区,观察到类熔合峰消失的现象,从而增强了人们去探索类熔合系统可保持的极大温度的兴趣。换句话说,熔合系统一旦形成,将不再通过裂变或跟随轻粒子发射而衰变,而是经历多重碎裂这样的过程,这也能够解释类熔合峰的消失。Peter、Saint-Laurent两人强调了在研究热核时,对于选择地研究中心碰撞和巨烈碰撞应用“过滤器”原理的重要性。Saint-Laurent观察了具有最高多重性的蒸发核子和 $\alpha$ 粒子的事件数。Peter提供了碰撞参数和轻粒子带走的总平行线动量两者之间的经验关系。根据这两种研究热核的方法,研究者们仍在观察高能时的类熔合反应,然而对于激发能饱和的情况至今还未达到,但由蒸发轻粒子多重性和大转移模型各自推出的激发能,两者在 高能时却得到不一致的结果。正如Saint-Laurent所指出的那样,这种不一致,可能是由于未有引起所有动能转变成热能的压缩效

应引起的。另一方面，若不彻底地考虑激发能的话，中等质量碎片的蒸发将会引起“亏损”。

Hildenbrand根据对称核—核系统的深度非弹反应来产生热核。Hildenbrand指出：他这种方法可以用来研究的系统，激发能将正比于在反应过程中的总动能损失。这个事实正好被末态具有三个重碎片的三元反应的几率所证实，这时末态仅依赖于总动能损失，但不依赖于入射道的轰击能量。轰击能量无关性支持了三元过程实际上是一个二元过程，在这个过程中，两个反应产物中的一个经历跟随DIC的裂变，裂变产物的角分布进一步支持了这个图象，但却没有看到由旁观者核所造成的阴影效应。只是对于很不对称的裂变似乎优先于三核的共线发射，这个三核系统是在两个重碎片之间有一个轻碎片。

在这次讨论会期间，我们听到许多特别先进的仪器，例如： $4\pi$ 探测器和一系列康普顿抑制锗探测器。更加令人满意的是，利用反冲距离研究的极简单的放化方法获得了非常感兴趣的结果。Jastrzebski提出的反冲核扩展距离的测量显示了反冲核在速度上的一种饱和，类似的效应李文新在报告时也提到。如果所有的蒸发剩余物具有起源于同一个复合核的相同反冲速度，反冲速度的饱和是能够被理解的。对于给定系统来说，反冲速度的饱和反映了激发能的饱和。

Aleklett也利用放化的方法，报告了在能量超过每核子20MeV时，二元裂变截面锐减的现象，同时，很重剩余物产额截面巨增的现象也被观察到。但对于很慢、很重剩余物非常大的截面远逃离于探测器，必须用其它方法来探测。在参与旁观者模型中把重碎片看作为靶核参与者。Aleklett指出，它的中能数据，与相对论能量时具有同样过程的系统的数据不一致。相反，Bizard在他的报告中指出：他发现参与旁观者模型对 $\pi$ 介子和高能质子产额数据能够给出很好的描

述，这与能量接近每核子100兆伏的 $\alpha$ 粒子数据非常一致。

Aleklett观察到能量高于每核子20MeV时裂变截面减少的现象，这可能反映了裂变是一个慢过程的事实。这不仅由Hilscher详细讨论了预截断中子和带电粒子蒸发的事实所证明，而且也可由裂变碎片的动能即裂变碎片的内能无关于熔合核能量的事实所看到。因此，激发核在分离前首先被粒子蒸发所冷却。Britt对能量范围在每核子50MeV至100MeV之间的重离子引起的裂变进行了广泛的讨论。100MeV的数据能被内核级联加蒸发芯的一个简单模型很好地解释，Britt同时也指出，这样得出的结果有时可能很令人失望，因为这样的结果几乎没有出现的可能。

Back利用 $\gamma$ 射线多重性的测量，对于熔合一裂变和准裂变反应的热自旋激发的研究，作了非常易懂的报告。与深度非弹反应不同，热自旋的激发在准裂变中居统治地位。同时发现，对不对称的裂变，自旋驰豫时间大于由核子交换和传输模型预言的5至10倍。张焕乔报告了轰击能量在库仑位垒附近的熔合裂变反应中，裂变角分布出现各向异性，这是一个极其异常的现象。这个异常的现象首先在北京的串列加速器上发现并曾经一度引起人们的极大兴趣，这个现象的一个可能解释是，低能时，跟随裂变与紧随转移反应竞争的结果。从垒下熔合反应的研究中知道，随着能量的降低，转移反应变得相对重要起来。

戴光曦报告了在类熔合过程中，裂变折叠角和线动量转移的测量结果。他观察到，随着轰击能量即裂变核激发能的增加，出现了类熔合峰加宽的现象。例如，由Hilscher提供的中子球的研究得知，随着轰击能量的增加，裂变碎片的激发能没有显著地增加，戴光曦观察到的类熔合峰加宽的现象很可能是由于反冲方向的弥散引起的。这正是早期提到的预截断中子蒸发的一个结果。

一些报告者处理了轻粒子的预平衡发射。为了探测预平衡发射与在反应中重伴随者的联系，Coffin 在  $\text{Ar}+\text{C}$  的反应中使用了反运动学的方法。在大质量转移模型中，利用非全熔合来解释非全动量转移时，常常假定所有的非平衡粒子都起源于轻伴随者。与此相反，Coffin 却提供了预平衡发射来自于重伴随者这一明显的证据。

对小碰撞参数，能量在每核子  $45\text{MeV}$  至  $60\text{MeV}$  的范围内，Peter 通过观察不但有质子而且还有  $\alpha$  粒子的非平衡粒子发射的最大多重性，得到了一个比较有趣、没有想到的结果。由单举测量，Siemssen 注意到，诸如氦、氖和  $\alpha$  粒子的复杂粒子的非平衡发射有相对大的截面。而在非全熔合反应中， $\alpha$  发射的大截面已经知道了相当长的一段时间，对于结合疏松的氦和氖有这么大的截面确实令人惊奇。胡晓庆在粒子-粒子关联研究的基础上，研究了非完全深度非弹反应，在这种反应中， $\alpha$  粒子发射早于深度非弹反应。

在相对论重离子反应中，为了确定核物质的状态方程，Greiner 强调了冲击波和边流的重要性。Peter 提供了在 GANIL 能区范围的边流证据。在低能时，边流趋向负角，这是由于在低能时吸引核平均场占主要地位；边流趋向正角，这是由于在高能原子核压缩的情况下，核子-核子排斥相互作用居统治地位。正负偏角的交叉点受到平均场效应、核子-核子相互作用和原子核的压缩的影响。

Greiner 和 Horiuchi 讨论了量子分子动力学模型。Horiuchi 把这个模型推广至中能甚至低能的范围内，他利用“碰撞致冷”的方法，很方便地构造了稳定的炮弹和靶核。从而用来研究全熔合到非全熔合的转变，但令人感兴趣的结果是：在  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  系统中，如果核子-核子碰撞真正包括在计算中的话，那么根据 TDHF 计算所预言的低角动量窗将不再出现。

Lee 和 Matsuse 应用扩展 Hauser-Feshbach 方法计算了  $\text{Sd}$ -壳核的反应，如象导致了近似的相同复合核的  $^3\text{He}+\text{Ag}$  及  $^{84}\text{Kr}+^{27}\text{Al}$  两个反应。来自于后两个反应的中等质量碎片产额分布的显著不同，是由于在入射道中不同角动量窗的结果，这已经由计算结果所符合。

姜承烈和赵葵提供了在稀土区重离子非弹性散射的研究结果。对  $^{20}\text{Ne}+^{148}\text{Nd}$  系统观察到非常强烈的、现在还不能解释的、最低  $2^+$  态的、相互激发的现象。

Gizon, Hamilton, Hardy, Nomura 和 Oganessian 讨论了利用在线和离线质量分离器所做的工作。罗亦孝对兰州利用质量分离器的目前情况和研究计划作了概述。Hardy 报道了超允许跃迁  $0^+ \rightarrow 0^+$  值（相对质量和寿命）精确测量结果，以便检验保守矢量流假设，这一完善而重要的结果，显然是 Hardy 多年辛勤劳动的结晶。因此，Hardy 指出：“对已知核的精确研究常常要比寻找新核素和奇异核更有益处”，这乍看起来可能会更加吸引人。

Oganessian 对重元素的合成作了历史的及目前状况的极其有趣的评述。特别是讨论了合成新元素时，不同重离子反应的使用及其限制条件。未来在杜布纳的计划包括两个耦合的回旋加速器和一个带有电子冷却的储存环，它会改善重离子束的相空间。有了冷却束，就可以把几个毫微克的超铀靶材料作为束流聚焦为一个很小的斑点。Nomura 和 Oganessian 两人讨论了在很小角度下，用充气反冲谱计探测熔合产额的优点。在杜布纳，已经获得束抑制高达  $10^{17}$  数量级的装置。

值得注意的是，Nomura 提出了利用非全熔合反应合成非常重元素的方法。利用轻重离子例如碳和氧，在铜系区 ( $\text{HI}, \alpha X_0$ ) 反应截面比 ( $\text{HI}, X_0$ ) 反应截面高一到两个数量级，这是由于在两种反应中所形成的复合核的熔合位垒的差异引起的，这已被人

们发现很长一段时间。于是，在此以前， $(HI, \alpha X_p)$  反应成功地用来合成轻超铀元素，然而，由于缺乏重于 $^{254}\text{Es}$ 的靶核限制了它们的可应用性。关于最重元素的合成，用相对重的丰中子（例如 $^{48}\text{Ca}$ ）炮弹的冷熔合被认为是最有希望的。Nomura 在他的报告中指出，由于考虑 Q 值的原因，虽然非全熔合比冷熔合需要更高的轰击能量，但是，具有这些束流的非全熔合实际上可能是更有利的。高入射能量，可以由非平衡  $\alpha$  粒子所带走的能量和角动量来补偿。

最后，我将讨论用分立线  $\gamma$  谱仪所做的关于核结构的在线和离线  $\gamma$  射线的研究正如 Hamilton 讲的，这些研究的目的在于研究核形状和核结构的演化（随中子数、质子数和激发能），以及集体自由度和单粒子自由度的相互影响。Hamilton 重点报道了对 $^{186}\text{Hg}$ 三个不同的研究结果。这个核的带结构丰度在一定程度上出现意想不到的现象，这些现象给人留下的印象特别深刻。其现象就是：存在着扁球基态和长球激发带的形状共存，在接近球形核附近也存在着  $K=8^-$  同质异能态。Riedinger 讨论了在相同质量区范围内， $\pi (i_{13/2})$  和  $\nu (\bar{h}_{9/2})$  侵入态对核谱的效应，而 Gizon 讨论了非常缺中子钡同位素的结构。他指出：几乎没有什么模型能满意地描述这些核的核谱的所有方面。

Sharpey-Schafer 对目前超形变带的研究作了评述。到目前为止，在  $A=150$  和  $A=190$  的质量区发现了大量的、有趣的非转晕超形变带，它们的结构相关于附近核的转晕带。于是，这些激发超形变带容易理解为，和拆去一个质子或一个中子的母核的超形变转晕带有相同的组态。通过观察激发超形变带，使得对研究超形变态的单粒子（空穴）激发变为可能。

我想提到的最后一点，就是 Greiner 所提到的 GSI 发现的电子-正电子迷惑，它是一个非常迷人的但又是需高层理论解释的现象。两个较重的核在碰撞过程中能够观察到锐正电子峰的事实，已经出现在核物理界差不多十年了。Greiner 指出，锐正电子线已经避开了每一种的解释，特别是所建议的类点和中性 X 粒子衰变成一个电子-正电子对是高精度的 QED 数据相矛盾的。因此它将影响真空极化。为了避免和高精度数据发生抵触，假定的粒子不得不具有 1600fm 这样直径的扩展物体。Greiner 的结论是：象这样一个有两个有限的和假设的介子构成的扩展粒子，可能确实就是所观察到的电子-正电子对的源泉。如果证明这种想法是正确的话，这种想法确实叫人难以接受，并且它与物理学的许多方面有很大的分歧。

作为最后一名发言者，我想借此机会感谢大会组织者对我们的热情接待，同时对他们成功地举办这次会议所付出的辛勤劳动表示感谢。由于我已经提到，这次会议是一次非常激动人心、非常有意义的会议，我也以我们同事们的名义，祝愿兰州近物所借助于新的有希望的加速器设备成功地完成他们的研究计划。象 Peter 所说的那样：兰州重离子加速器已经加入重离子加速器方面新丝绸之路的行列，这条新丝绸之路的路线是从 Berkeley 开始，经由 RIKEN、兰州、到 Dubna、GSI、GANIL。我们将盼望听到的是，不久在 HIRFL 上所获得的第一批实验结果，并希望几年后，我们在兰州会议上再次相见。

(朱全伶译、葛凌霄校)