

# 在法国大型重离子加速器 (GANIL) 上完成 的第一批物理实验简介

吴钟立

建在法国网城的大型重离子加速器投入运行后,按计划进行物理实验工作<sup>[1]</sup>。第一批重离子物理实验成果已陆续见诸于刊物。由于中能重离子物理研究工作开始不久,这些工作虽属于试探性的,还未作深入研究,但仍不失其参考价值,故作简单介绍,以资借鉴。

该加速器首先提供的重离子束是44兆电子伏/核子的Ar束。典型的束流强度为 $2 \times 10^{10}$ 粒子/秒。束流聚焦良好。在弹性散射角分布测量中,可达到角分辨小于 $0.1^\circ$ ,最小测量角度为 $0.7^\circ$ 。束流能散也较小,对弹散峰,能量分辨可达到1.7兆电子伏。总之,束流品质是相当好的。这为物理实验提供了良好条件。

N. Alamanos等<sup>[2]</sup>首先完成了 $^{40}\text{Ar}$ 离子在 $^{60}\text{Ni}$ 、 $^{120}\text{Sn}$ 和 $^{208}\text{Pb}$ 靶上引起的弹性散射角分布测量。所用的探测器是由两块位置灵敏固体探测器(分别为500微米厚和1000微米厚)组成的 $\Delta E-E$ 望远镜,距离靶子2.2米。所得结果与低能区的结果相似,并可用光学模型计算来拟合。

D. Guerreau, V. Borrel等<sup>[3]</sup>从下面的考虑提出他们的实验研究课题。在低能区( $E/A < 10$ 兆电子伏),大量的有关深部非弹性散射的研究结果证明在反应过程中存在双核组成的中间复合系统,核物质的集体效应是占优势的效应,类弹产物的中质比( $N/Z$ )反映了这种性质。而在高能区( $E/A > 100$ 兆电子伏),已完成的一些实验表明,情况截然相反,在反应过程中,单个核子的碰撞占优势。那么,在中能区( $10$ 兆电子伏 $< E/A$

$< 100$ 兆电子伏),是怎样从一体耗散过渡到两体耗散的?由于在相碰撞的核系统的所有自由度中, $N/Z$ 模式达到平衡的时间最短,在中能区对这种模式进行研究,可以期望得到有关核物质的任何集体性质消失或保存的信息。因此,他们选取中质比( $N/Z$ )相差较大的两种核素( $^{68}\text{Ni}$ 和 $^{197}\text{Au}$ )作为靶子,测量反应轻产物的质量、电荷和能量分布。

为了鉴别反应产物,他们选用高分辨飞行时间谱仪与 $\Delta E-E$ 望远镜相结合的装置。飞行谱仪的终止探测器为1毫米厚的硅探测器,起始探测器为电子发射薄膜接双微通道板,飞行距离3米。 $\Delta E-E$ 望远镜由三片硅探测器组成,厚度分别为100、1000、4000微米。这个装置所能达到的鉴别能力为: $\Delta Z/Z \sim 1.4\%$ ,  $\Delta M/M \sim 1\%$ 。他们在实验室角度 $3^\circ-12^\circ$ 范围内测量与鉴别了类弹核产物。对 $^{40}\text{Ar}$ (44兆电子伏/核子)+ $^{68}\text{Ni}$ 和 $^{40}\text{Ar}$ (44兆电子伏/核子)+ $^{197}\text{Au}$ 反应,分别得到了 $Z=6-17$ 的每种元素的同位素产额分布(图1)。

将得到的 $Z=14$ 的同位素产额分布与低能区 $^{40}\text{Ar}$ (5.5兆电子伏/核子)+ $^{197}\text{Au}$ <sup>[3]</sup>及高能区 $^{40}\text{Ar}$ (213兆电子伏/核子)+ $^{12}\text{C}$ <sup>[4]</sup>的实验结果相比较(图省略)。可以看出:现在的结果与高能区的相近(分布的极大值向弹核的 $N/Z$ 值逼近),而与低能区的(分布的极大值接近中间复合系统的 $N/Z$ 值)明显不同。这说明:即使在这个实验的能量时,弹核碎裂已是占优势的过程。

由图1可见: $Z=6-15$ 的同位素分布,基本上都呈现同样的相对于最丰同位素

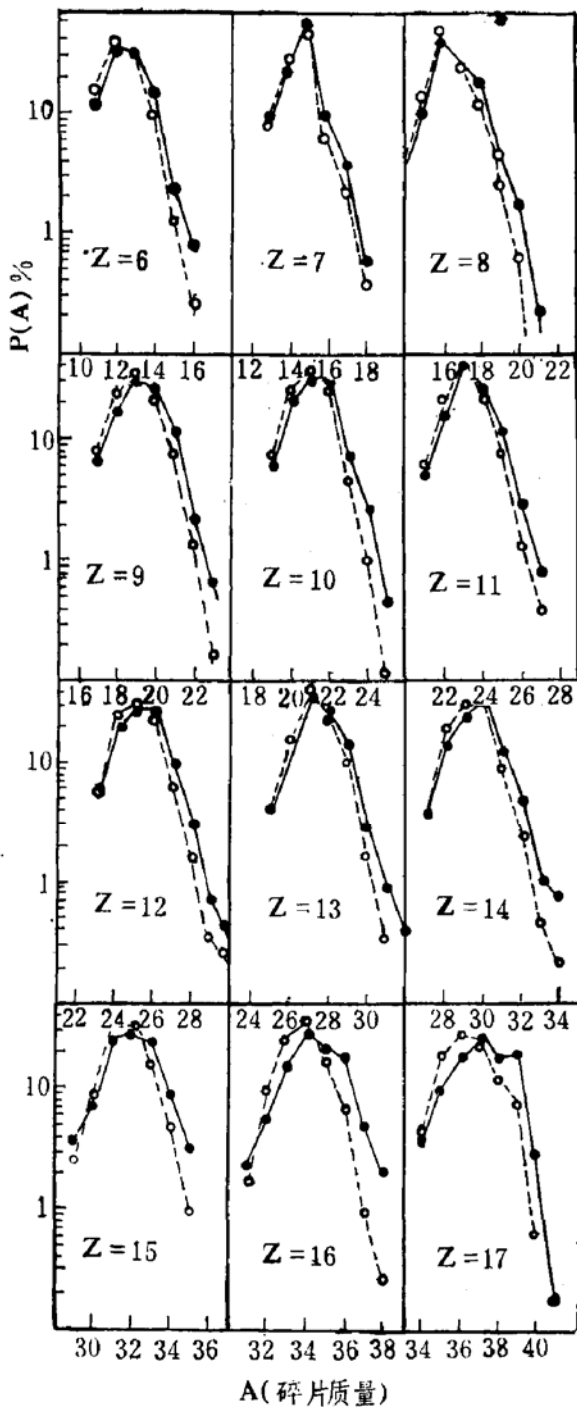


图1 对 $^{40}\text{Ar} + ^{58}\text{Ni}$ 反应(空心圆)和 $^{40}\text{Ar} + ^{197}\text{Au}$ 反应(实心圆),在 $\theta_L = 3^\circ - 12^\circ$ 测得的同位素产额分布。

的高斯分布特征,即:  $P(A) \propto \exp[-(A - A_0)^2/\sigma^2]$  其中,  $\sigma^2 \sim 1.08$  几乎与元素无关。而  $Z = 16$  和  $17$  的同位素分布,镍靶和金靶的结果不同,后者比前者宽,这主要是 $^{30}\text{S}$ 和 $^{39}\text{Cl}$ 的贡献,还有 $^{40,41}\text{Cl}$ ,这表明存在转移反应过程。由于对镍靶擦边角( $\theta_g = 2.7^\circ$ )比对金靶的擦边角( $\theta_g = 5.7^\circ$ )低,低于测量角

度范围的下限,一部份转移反应产物没被测量到,所以不象金靶的结果那样明显。仔细地比较一下给定元素的两种靶子产生的同位素分布,还可看出:金靶的结果要向丰中子方向系统地偏移0.3质量单位。而对最丰中子的同位素,这个差异更大。由于碎片速度确实接近弹核速度,无法用存在瞬间的中间复合系统导致 $N/Z$ 平衡这一说法来解释。只能在假定碎裂过程的前提下,考虑在“参加者层”与“弹核旁观者”之间有转移反应产生,而参加者层的中质比是与靶核有关的。

作出两种反应的积分质量分布和积分电荷分布(图省略)还可以观察到一些现象。其一,在元素分布图上呈现奇、偶效应。其二,显示出几何效应,  $\sigma_{Au}/\sigma_{Ni}/\sigma_C \approx \sigma_R(\text{Au})/\sigma_R(\text{Ni})/\sigma_R(\text{C})$ 。其中,  $\sigma_R = \pi(R_1 + R_2)^2$ ,  $\text{Ar} + \text{C}$ 的结果取自参考文献[4]。其三,在  $Z = 9$  和  $A = 18$  处存在一个极小值。 $Z < 9, A < 18$ , 截面增大,这说明还有别的机制在起作用,例如:多重碎裂。

V. Brrel, D. Guerreau等<sup>[5]</sup>对 $^{40}\text{Ar}$ (44兆电子伏/核子) +  $^{58}\text{Ni}$ 和 $^{40}\text{Ar}$ (44兆电子伏/核子) +  $^{197}\text{Au}$ 反应继续进行实验研究,重点放在观测反应轻产物的能量(速度、动量)分布,在碎裂模型的框架内进行分析,并探讨由于残存某些集体效应而导致与此模型的歧离。

这个实验所用的探测技术和实验方法与前者相似。为了增加飞行谱仪起始探测器电子发射薄膜的电子发射率,在碳膜上敷一层氧化镁。为了阻止住直到 $Z = 4$ 的出射核,把 $\Delta E - E$ 望远镜的最后一块硅探测器改为5毫米厚。测量角度为 $\theta_L = 3^\circ, 4^\circ, 5.7^\circ, 9^\circ, 12^\circ$ 。在 $\theta_L = 3^\circ$ 对镍靶测得的产物的速度平面等高图和能谱示于图2。

由图2可见:反应轻产物的产额极大值在弹核速度附近,这正是碎裂过程假设所期望的。然而随着出射核的电荷、质量远离弹核,分布的陡峭程度下降,不对称度增加。从能谱图(图省略)更可以看清这一点。能谱

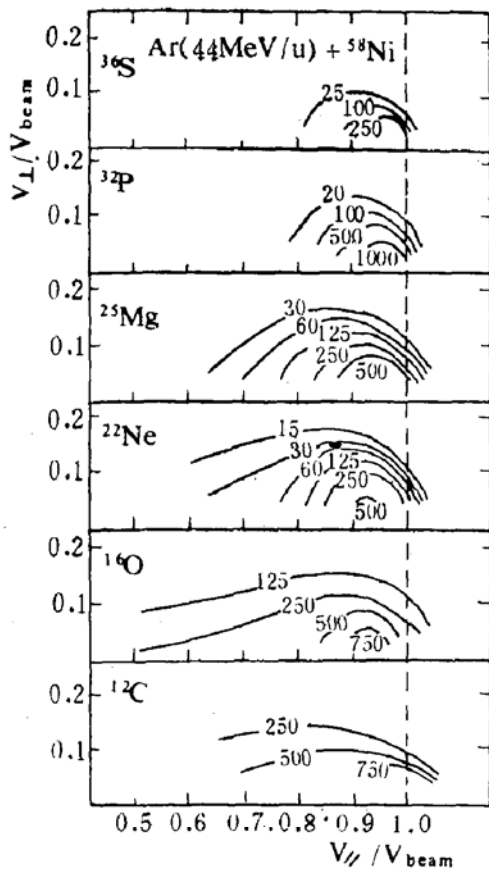


图2  $^{40}Ar + ^{58}Ni$  反应产生的几种出射核在速度坐标平面上的截面等高线图, 测量角  $\theta_L = 3^\circ$ 。

$\frac{d^3\sigma}{dv^3}$  单位  $(10^5 \text{mb}/\text{MeV} \cdot \text{Sr}) \times (\text{MeV}/\text{C})^{-1}$

的主要部份都呈高斯型分布, 但存在一条低能尾巴。随着出射核的电荷、质量远离弹核, 此低能部份愈向能量低的方向伸展, 所

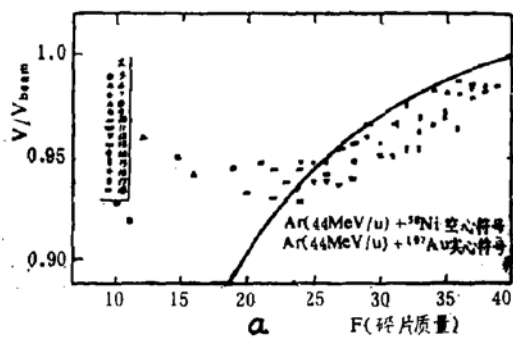


图3a 碎片的最可几速度与质量的关系

$$P(p) \propto \exp - [(p - p_0)^2 / 2\sigma^2]$$

其中,  $p_0$  是相应于分布极大值的动量, 而

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 A(A_p - A) / (A_p - 1),$$

占的比分也愈来愈大。这是在中能区做的实验中所没有观测到的现象。而在中能区, 尽管碰撞时间较短 ( $10^{-22}$  秒), 仍足以在两部份之间产生核子交换。这正好可以与前一个实验的分析互相映证。此外, 还探测到了  $^{40}C_1$ ,  $^{41}Ar$ ,  $^{41}K$  等事件, 也证实了这种判断。

接着, 他们用 Goldhaber 模型<sup>[6]</sup> 对数据作了简单分析。(图3a和3b) 分别给出: 最可几碎片速度与碎片质量的函数关系, 纵向动量宽度与碎片质量的函数关系。由图3a实验点可见: 从质量和速度接近弹核的出射核开始至质量数为20左右, 碎片的速度规则地下降直至  $V/V_{beam} \approx 94\%$ 。这一现象可简单地解释为: 这是由于在弹核的剩余部份的动能损耗时被移去的核子的结合能累计造成的。假设每移去一个单个核子平均需8兆电子伏能量, 则可得到质量数为A的出射核的速度与束流速度之间的关系:

$$V_A/V_P = [(44A - (A_p - A)8) / 44A_p]^{1/2} \times (A_p/A)^{1/2}$$

其中,  $A_p, V_p$  分别为弹核的质量数和速度, 44为弹核每核子的能量。图3a中的曲线即由此式得到, 与实验数据拟合得相当好。质量数低于20的部份的歧离可能是由于弹核劈裂成两个(甚至多个)大质量的碎块造成的。

然后, 考察碎片的动量分布。假定动量  $P(p)$  的分布为高斯型:

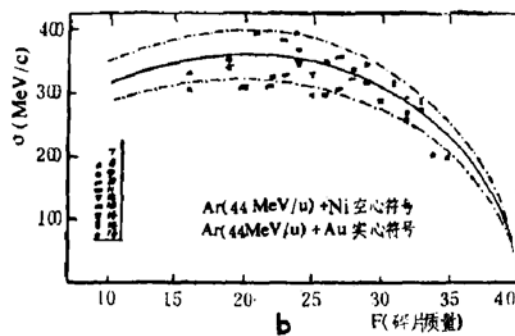


图3b 碎片的纵向动量宽度与质量的关系

$$\sigma^2_0 = \langle p^2_F \rangle / 3.$$

这里  $\langle p^2_F \rangle$  是弹核中单个核子内动量的均方

(下转55页)

(上接25页)

值。计算值在图3b中以曲线表示。从碎片质量数16到35, 计算值与实验点拟合都很好。碎片质量数低于16左右, 碎片速度谱强烈不对称, 低能尾巴影响越来越大, Goldhaber图象已不适用, 必须把集体效应考虑在内。

将在 $\theta_L = 3^\circ$ 、 $4^\circ$ 、 $5.7^\circ$ 、对镍和金两种靶子分别测得的轻产物硫的几个同位素的速度分布(图省略)进行比较, 可以看出: 在44兆电子伏/核子轰击能量时, 除存在占优势的碎裂过程外, 还确实存在转移型反应过程, 这与前面的有关分析是一致的。

### 参 考 文 献

[1] Nouvelles de GANIL, Bulletin édité

Par Le Laboratoire National GANIL,  
à usage des utilisateurs, No.1-2

- [2] N. Alamanos et al; Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics (Florence, 1983, Vol. 1, P. 525) N. Alamanos et al; Phys. Lett. 137B (1984) 37
- [3] D. Guerreau et al; Phys. Lett. 131B (1983) 293
- [4] T. H. Chiang et al; Phys. Rev. C20 (1979) 1408
- [5] Y. Viyogi et al; Phys. Rev. Lett. 42 (1979) 33
- [6] V. Borrel et al; Z. Phys. A3 14 (1983) 191
- [7] A. S. Goldhaber; Phys. Lett. 53 B (1974) 306