

# 双核系统预平衡偶极巨共振\*

钟纪泉 文万信 靳根明

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

V. Baran<sup>1</sup> M. Colonna<sup>3</sup> M. Di Tori<sup>1,2</sup> A. Guarnera<sup>3</sup> A. Smerzi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> (Laboratori Nazionale del Sud, INFN, Italy)

<sup>2</sup> (Dipartimento di Fisica dell' Università di Catania)

<sup>3</sup> (GANIL, Caen, France)

1994-10-07 收稿

## 摘 要

讨论了在对称质量入射道和非对称质量入射道条件下, 稍高于库仑位垒的熔合反应动力学过程中形成的长寿命双核系统, 以及建立在其上的 GDR 的性质. 计算表明, 双核系统巨共振能量分裂为两个.

**关键词** 偶极巨共振 (GDR), 双核系统, 熔合反应.

## 1 引 言

巨共振是原子核所有核子都参与运动的一种具有很高能量的集体激发方式, 原子核都具有巨共振这种激发方式. 巨共振不仅包含着原子核结构的丰富信息, 同时也能够反映出反应动力学方面的信息. 基于实验观测方面的原因, 偶极巨共振 (GDR) 在实验方面的研究比较多. GDR 能够提供在有 GDR 布局态时原子核结构的直接信息<sup>[1]</sup>. GDR 与原子核的形状有关. 建立在球形复合核上的 GDR 的  $\gamma$  衰变谱只有一个鼓包, 而建立在形变复合核上的 GDR 的  $\gamma$  衰变谱有两个鼓包, 表明巨共振能量发生了分裂.

同样通过分析 GDR, 也可以得到反应动力学过程中的一些信息. 在熔合反应过程形成的双核系统中, 系统电荷达到了平衡而形状尚未达到平衡. 在这样的系统中我们可以讨论建立于极度形变核上的 GDR 的  $\gamma$  统计衰变性质. 在这种系统的 GDR 形成和衰变过程中, 反应动力学起着重要作用. 本文主要讨论建立于双核系统中的 GDR.

## 2 双核系统的 GDR

通过研究略高于库仑位垒熔合反应的动力学过程, 我们将分析长寿命双核系统这种中间状态和建立于其上的 GDR 的性质. 我们的研究基础为 Vlasov 运动方程微观方

\* 中国科学院基础性研究基金资助.

法<sup>[2,3]</sup>, 采用平均场并对方程数值求解. 由于只讨论略高于库仑位垒融合反应的动力学过程, 这种半经典近似方法是适用的. 方程采用试验粒子方法求解, 其中考虑了相空间中高斯型波包的演化. 每核子的试验粒子数为 50. 平均场由对应于软核物态方程的 Skyrme 势得到, 表面效应在高斯型波包中加以考虑.

我们要分析的系统是激发能为 50MeV 的  $^{164}\text{Yb}$ . 为了加以比较, 采用两种不同的入射道来形成  $^{164}\text{Yb}$ . 一种为非对称质量入射道  $83\text{MeV } ^{16}\text{O} + ^{148}\text{Sm}$ ; 另一种则为对称质量入射道  $237\text{MeV } ^{64}\text{Ni} + ^{100}\text{Mo}$ . 为使两种不同途径形成的  $^{164}\text{Yb}$  具有相同的角动量, O-Sm 反应和 Ni-Mo 反应的碰撞参数分别取作  $b = 5\text{fm}$  和  $b = 3\text{fm}$ . 图 1 是反应平面上不同时间系统的密度分布, 其中时间步长为  $100\text{fm}/c$ , 时间上限为  $1000\text{fm}/c$ . 从图中看出, 入射道不同复合核形成的时间明显不同, 对称质量入射道系统在  $1000\text{fm}/c$  时仍然处在拉长形状, 而非对称质量入射道系统在  $300\text{fm}/c$  时形状已达到平衡. 这种现象在质量四极矩  $Q(t)$  中同样存在(图 2). 对称质量入射道系统存在振荡, 即处于中间过渡状态的双核系统的拉长形状在缓慢振荡. 通过计算就会发现这种振荡即对应于 GDR.

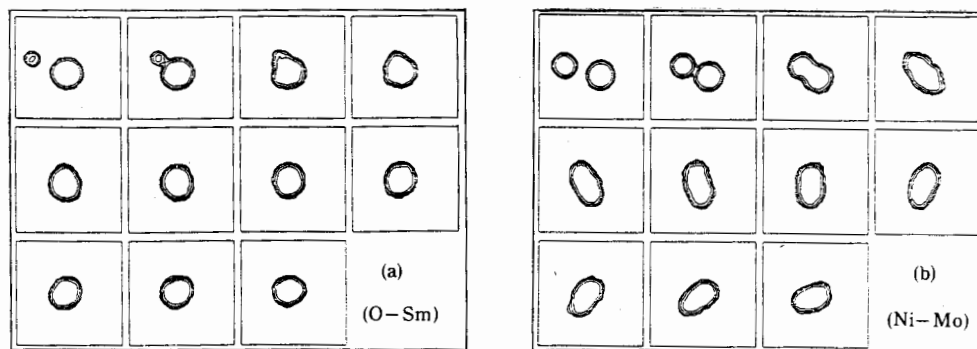


图 1 反应平面密度分布等高图的演化(0— $1000\text{fm}/c$ , 步长  $100\text{fm}/c$ )

(a)  $83\text{MeV}$  O-Sm 系统,  $b = 5\text{fm}$ ; (b)  $237\text{MeV}$  Ni-Mo 系统,  $b = 3\text{fm}$ .

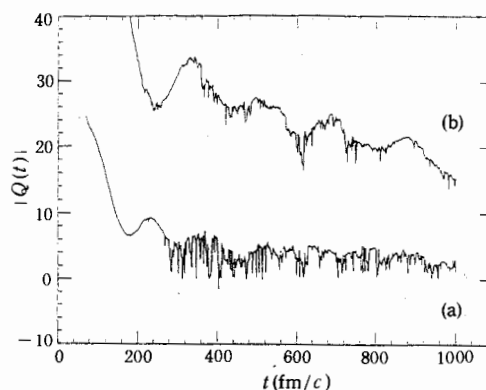


图 2 质量四极矩时间演化

(a)  $83\text{MeV}$  O-Sm 系统,  $b = 5\text{fm}$ ; (b)  $237\text{MeV}$  Ni-Mo 系统,  $b = 3\text{fm}$ .

我们在坐标空间中计算同位旋矢量偶极矩  $D(t)$  随时间的变化. 双核系统最大的拉长形变旋转轴选作  $z$  轴,  $x$  轴取在反应平面. 同位旋矢量偶极矩  $D(t)$  则为,

$$D_z(t) = \frac{NZ}{A} [\langle z \rangle_p - \langle z \rangle_n], \quad (1)$$

其中

$$\langle z \rangle_p = \sum_i^Z \frac{z_{pi}}{Z}, \quad \langle z \rangle_n = \sum_i^N \frac{z_{ni}}{N}. \quad (2)$$

$D(t)$  的  $x$ 、 $y$  分量与  $z$  分量形式相同. 图 3 是不同系统  $z$  分量绝对值和  $x$ 、 $y$  分量构成的正交分量, 即  $|D_{\text{orth}}(t)| = [D_x(t)^2 + D_y(t)^2]^{1/2}$  的计算结果. 计算结果明确显示出在对称质量入射道系统中存在两个不同的振荡频率, 平行分量的振荡频率要小一些. 这种现象与预期的形变系统情形相同. 通过 Fourier 变换, 将更清楚地看到这些现象. 偶极矩  $D(t)$  的 Fourier 变换定义如下<sup>[4]</sup>,

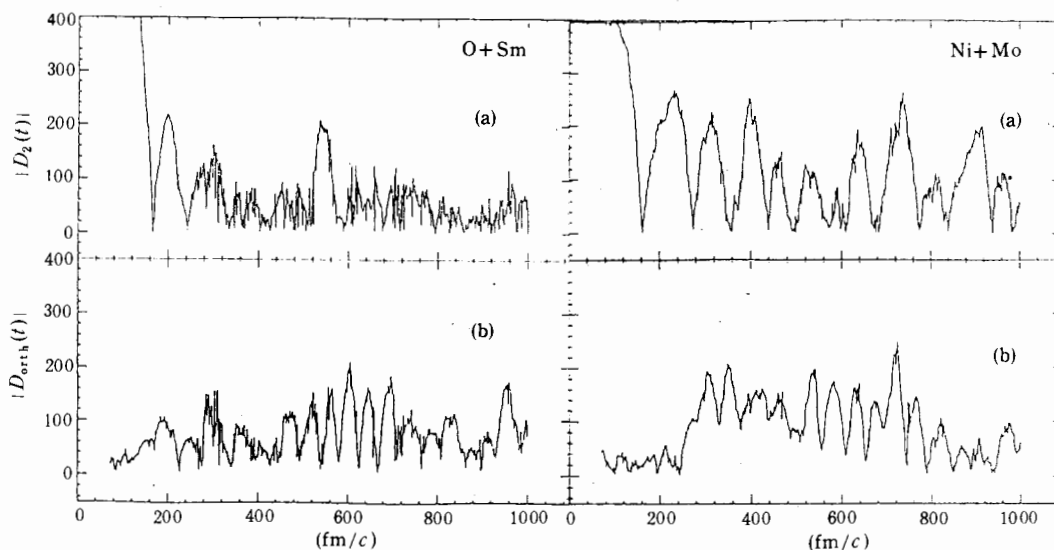


图 3 83MeV O-Sm ( $b=5\text{fm}$ )和 237MeV Ni-Mo ( $b=3\text{fm}$ )系统偶极矩绝对值时间演化

(a) 平行于拉长轴的分量, (b) 垂直于拉长轴的分量.

$$F(\omega) = \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} dt e^{i\omega t} D(t), \quad (3)$$

$$S(\omega) = |F(\omega)|^2.$$

在较早的工作中也有人采用正弦形式的 Fourier 变换. 两种变换形式的结果预期会有所不同. 从严格的数学定义方面考虑, 采用复数变换形式更为合理. Fourier 变换的积分上下限为  $\infty$  和  $-\infty$ . 在我们的计算中, 时间范围  $t_{\min} - t_{\max}$  取为 300 — 1000 fm/c. 不同的上下限对于  $S(\omega) \sim \hbar\omega$  图的峰位和高度会略有影响, 但不会改变定性的物理结论. 为了比较 GDR 的纵向和横向振动, 积分下限取作偶极矩的纵向和横向分量均出现显著振荡的时间.

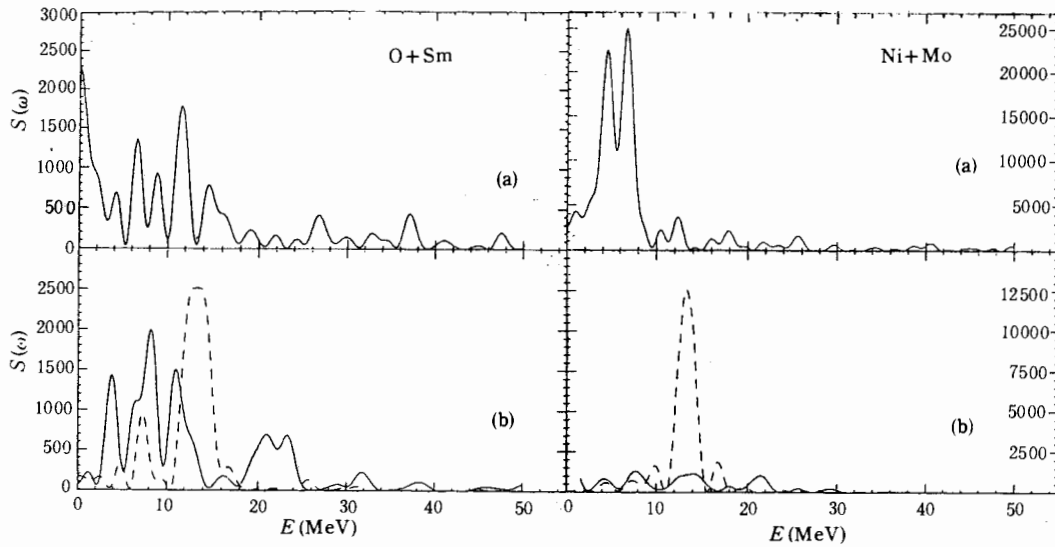


图 4  $^{83}\text{MeV}$  O-Sm ( $b=5\text{fm}$ )和  $^{237}\text{MeV}$  Ni-Mo ( $b=3\text{fm}$ )系统偶极矩 Fourier 变换  
(a) 平行于拉长轴的  $z$  分量, (b) 位于反应平面的  $x$  分量(虚线)和垂直于反应平面和拉长轴的  $y$  (实线)分量.

图 4 是 O-Sm 和 Ni-Mo 系统  $S(\omega)$  的  $x$ 、 $y$  和  $z$  分量的计算结果. 与预期相同, 非对称质量入射道系统在  $300\text{ fm}/c$  时复合核已经形成, 此后偶极矩强度的三个分量不存在明显的变化. 在对称质量入射道系统, 情形则不同, 无论是强度还是其能量分布都有明显的变化.  $S(\omega)$  的  $z$  分量在  $6-10\text{MeV}$  分布最强, 宽度相对较窄, 位于反应平面内的  $x$  分量在  $14\text{MeV}$  处有一个幅度较小的锐峰, 垂直于反应平面的  $y$  分量同样在  $14\text{MeV}$  处有一个幅度更小的小峰. 这些现象是入射道效应的反映. 由于角动量守恒,  $y$  分量在系统在向平衡发展的过程中一直在变小.

沿着  $z$  轴和  $x$  轴的振荡强度最大.  $x$  和  $z$  轴位于反应平面, 中间状态系统集体自旋的方向垂直于反应平面. 因此对应于两个自旋轴, 系统所发射的两种主要频率的  $\gamma$  光子具有确定的角分布. 由于偶极  $\gamma$  发射方向垂直于自旋轴,  $\gamma$  能谱各向异性度  $W(0^\circ)/W(90^\circ)$  将在  $8\text{MeV}$  和  $14\text{MeV}$  周围出现两个鼓包. 这一结果还有待于实验的证实.

在以上计算中, 我们发现处于中间过渡状态的双核系统, 即极端形变核存在 GDR, 并且其  $\gamma$  衰变能谱的角分布具有特殊的性质. 在深部非弹(DIC)反应中也存在类似的情况<sup>[5]</sup>. 这种 GDR 的  $\gamma$  衰变也是熔合反应中复合核形成之前的一种可能的预平衡冷却机制.

## 参 考 文 献

- [1] K. A. Snover, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.*, **36** (1986) 545.  
[2] G. F. Bertsch, *Z. Physik*, **A289** (1978) 103.  
[3] M. Di Toro et al., *World Sci.*, **II** (1984) 451.  
[4] Ph. Chomaz, M. Di Toro, A. Smerzi, GANIL preprint 93 — 02 (1993).  
[5] Cai Yanhuang, M. Di Toro, M. Papa et al., *Dynamical Features of Nuclei and Finite Fermi Systems*, *World Sci.*, 1994, in press.

## Pre-equilibrium GDR Built on Dinucleus

Zhong Jiquan    Wen Wanxin    Jin Genming

(*Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

V. Baran<sup>1</sup>    M. Colonna<sup>3</sup>    M. Di Tori<sup>1,2</sup>    A. Guarnera<sup>3</sup>    A. Smerzi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> (*Laboratori Nazionale del Sd, INFN, Italy*)

<sup>2</sup> (*Dipartimento di Fisica dell' Università di Catania*)

<sup>3</sup> (*GANIL, Caen, France*)

Received 7 October 1994

## Abstract

The properties of GDR built on the long-lived dinucleus formed in the process of fusion reaction above Coulomb barrier induced by mass symmetric and mass asymmetric entrance channels are discussed. The calculated result shows that the GDR energy of dinucleus split into two peaks in the energy spectrum.

**Key words** giant dipole resonance (GDR), dinucleus, fusion reaction.