

266-273

(12)

高温转动核的电偶极巨共振研究

夏海鸿 竺礼华 黄正德 候 龙 丁大钊
(中国原子能科学研究院 北京 102413)

0571.21

摘 要 简要叙述了高温转动核电偶极巨共振实验研究的历史和现状,并着重介绍了现存的一些问题及新的探索.

关键词 高温转动核 电偶极巨共振 核结构

分类号 分类号 O571.2

自1981年观测到高温转动核的电偶极巨共振以后,它很快发展成为核结构研究中的一个活跃领域.1987年及1993年分别举行了2次国际会议^[1].这2次会议反映了这一研究方向的发展,同时表明有许多尚待深入研究的课题.本文简要叙述高温转动核的电偶极巨共振实验研究的发展与现状,概述了我们的若干实验工作并提出了现存的一些问题及可能的新的探索课题.

1 原子核的巨共振

巨共振是原子核处于核子发射阈以上而壳效应还明显存在的激发能区的一种集体运动模式.此时核内核子作小振幅简谐振动,其能量很快耗散并与核内更复杂的组态有强的耦合.巨共振由3个参量表征:共振能量 E_D 、共振宽度 Γ 及激发强度 S . 在所有的巨共振模式中,电偶极巨共振是研究得较为仔细.通过实光子的吸收(光核反应)或发射(核反应高能 γ 射线发射)系统地研究电偶极巨共振的强度函数,从 E_D 、 Γ 、 S 3个参数的系统分析中提取了对于原子核基态形状、电四极矩等一系列有意义的核结构信息^[2].

在系统研究建立在原子核基态上的电偶极巨共振之后,研究建立在核激发态上的电偶极巨共振成为一个前沿的课题.80年代以来,通过对轻原子核的(p, γ)辐射俘获^[3]、重离子熔合反应^[4]和高能重离子库仑激发^[5]的

出射高能射线谱的分析,分别得到了相应于建立在低激发态上的、高温转动核上的和 $1\pi\omega$ 巨共振上的双声子电偶极巨共振的存在.由此开拓了电偶极巨共振的新的研究方向.

2 高温转动核的巨共振

高温转动核的电偶极巨共振是近十多年来研究建立在激发态上巨共振中最活跃的方向^[6,7].在低能重离子熔合反应中,形成有高激发能、角动量可达裂变限($I \approx 60 \sim 70 \hbar$)的复合核,其激发能主要通过多次粒子发射退激,使核内运动的自由度“冻结”到以单粒子运动为主要特征的转晕线区.但有 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 的几率以高能 γ 跃迁形式退激到“有限温度”的激发能区.通过对 γ 射线强度函数的分析,可以得到建立在“有限温度”(即“高温”)转动核上的电偶极巨共振知识.这里所说的核温度 T 与激发能 E_x 及角动量 J 有关,其关系近似由下式确定

$$\alpha T^2 - T = E_x - E_{\gamma_{\text{trans}}}$$

其中, α 是能级密度参数; $E_{\gamma_{\text{trans}}}$ 是转晕能,即在角动量为 J 时的最低能态,它通过转动能与 J 联系起来.

最早的实验证据来自170 MeV 的 $^{40}\text{Ar} + ^{82}\text{Se} \rightarrow ^{122}\text{Te}^*$ 实验^[4].到80年代中期,研究目的在于确立高温转动核偶极巨共振(GDR)

的普遍性. 实验工作以测量和分析在一定 E^* 上的平均 $\langle I \rangle$ 范围的单举 γ 射线谱导出 GDR 强度函数为主^[6]. 随后人们开始用它探索处于高温转动状态下的原子核结构. 由于高温转动核的 GDR 发生在复合核形成后的早期阶段, 因此它可以提供关于高温转动核形状演变的信息. 最早的工作出自 Gaardhøje 和 Gossett 等^[8, 9].

实验上常用基于统计模型理论的 CASCADE 程序对测到的高能 γ 射线谱进行拟合, 从而提取 GDR 参数. 在 CASCADE 程序中, GDR 强度用 Lorentz 函数形式来描述, 即

$$f = \text{const} \cdot S T E_{\gamma}^4 / [(E_{\gamma}^2 - E_D^2)^2 + \Gamma^2 E_{\gamma}^2],$$

式中, S 是 GDR 的强度, 常以经典求和规则的百分比表示; E_D 和 Γ 分别为 GDR 的中心能量位置和宽度.

80 年代末以后, 实验与理论工作深入到研究 GDR 性质随不同 E^* 及 I 区域的变化, 及其与四极形变参数的关系. 另外, 还有不少工作研究在近似相同的核温度下, GDR 性质随不同 I 区域的变化^[7], 有的工作研究 GDR 性质随不同硬度的核的变化^[10].

2.1 高温转动核巨共振的系统学

在低能重离子熔合反应生成复合核后, GDR 在以其宽度为特征的时间标度内, 衰变到核的连续态或高能级密度的量子态. γ 射线谱形用统计理论描写, 它与初态及终态的能级密度有关. γ 强度函数取两成分 Lorentz 分布. 通常从重离子熔合反应的高能 γ 射线谱上可看到有 2 个组分 (见图 1). 在 $E_{\gamma} < 8$ MeV 区, γ 谱形符合 $e^{E_{\gamma}/T}$ 规律, 属纯统计发射的 γ 射线. 调节 T 参数, 在 CASCADE 计算中导出与实验符合的优化的 E, Γ 和 S . 从总谱中扣除统计发射成分, 则可看到在 $E_{\gamma} \approx 78A^{-1/3}$ MeV 处 (约 8~20 MeV) 有一可用 Lorentz 曲线描写的 GDR 结构. 对实验谱做

考虑 γ 发射的统计理论拟合, 并计及 γ 射线探测器的响应函数^[6].

迄今, 对高温转动核的偶极巨共振研究主要集中在: (1) 华盛顿大学核物理实验室, 主要研究 $A = 40 \sim 90$ 的核区; (2) 尼尔斯-玻尔研究所 (NBI), 主要研究 $A = 110$ 和 $A = 160 \sim 170$ 的核区. 与其合作者有意大利的 INFN、荷兰的 KVI 等; (3) Stony Brook 纽约州立大学物理系, 主要研究 $A = 180 \sim 200$ 的核区. 此外, 日本的 RIKEN 和 JAERI、法国的 GANIL 等一些实验室也有一些研究.

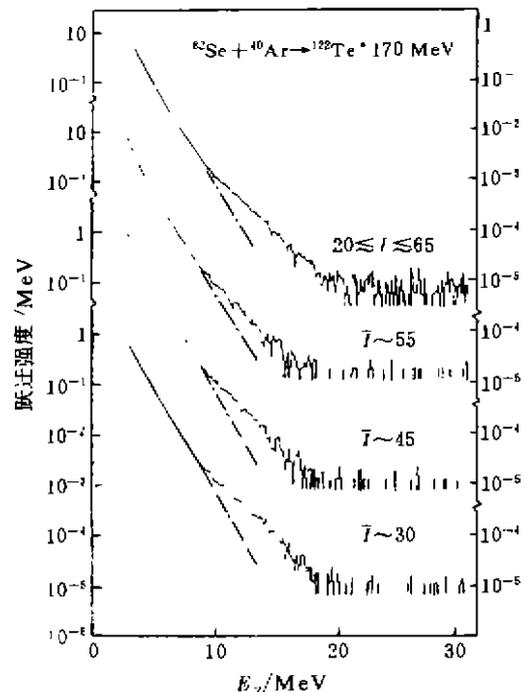


图 1 $^{82}\text{Se} + ^{40}\text{Ar}$ 反应中观测到的第一例建立在高温转动核上的 GDR 谱^[4]

虽然各个实验所测 E^* 和 $\langle I \rangle$ 的范围各不相同, 但可得出以下几点认识: (1) S_D 抽取近于 100% 的 EWSR 值, 但分散性很大. 事实上, 至今无论实验还是理论, 均还不足以对强度进行定量的研究; (2) 高温转动核 GDR 的 E_D 近似符合 $E_D \approx 17 A^{-1/3} + 25 A^{-1/6}$ MeV, 与基态 GDR 相比较, 表面振动项 ($A^{-1/6}$) 的作用更大. 这表明核形变对 GDR

性质的影响增大；(3) Γ_1 系统地比基态 GDR 的宽度大，且无明显的壳效应，可以理解为这是由于壳效应减弱、核形状的涨落及核形变随 E^* 与 $\langle I \rangle$ 的变化所致；(4) 从两 Lorentz 的成分中抽取的形变参数 β 随复合核激发能 E^* 以及平均角动量 $\langle I \rangle$ 不同而有很大的变化。结合 S_2/S_1 的变化，可以看到随 E^* 、 $\langle I \rangle$ 的变化，核形状可从球形演化为扁椭球形变，从长椭球形变演化为扁椭球形变，以及从扁椭

球形变演化为长椭球形变或三轴形变^[11~15]。

2.2 γ 射线角分布

由最近几年开展的 γ 射线角分布测量^[7, 16]可得到关于转动核及其 GDR 性质更细致的信息，且比 γ 谱形分析更少地依靠统计理论中的某些参数。实验上把所测的角分布按下式拟合，即

$$W(\theta, E_\gamma) = W_0[(1 + A_2 E_\gamma)P_2(\cos\theta)]$$

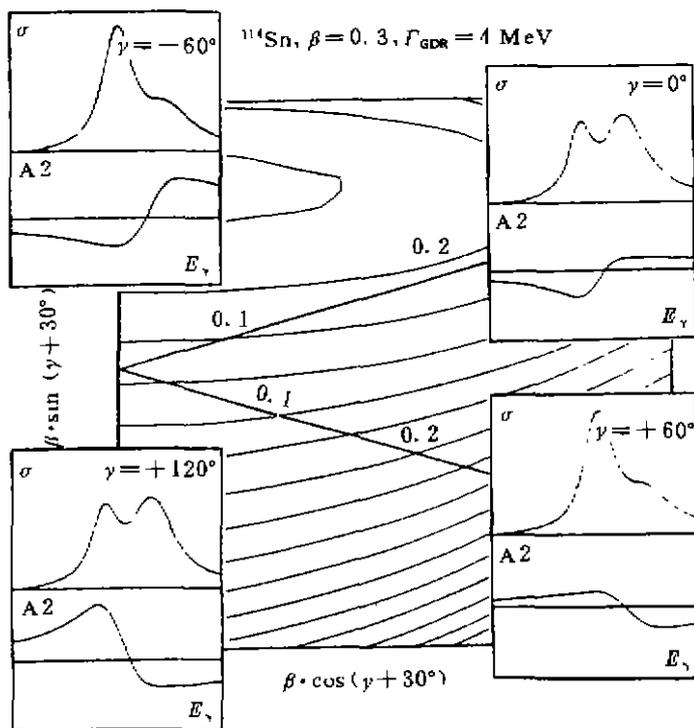


图2 高温转动核上 GDR 衰变 γ 角分布与形变参数的关系^[9]

把 γ 射线谱在 $E_\gamma = 8 \sim 20$ MeV 间按 γ 能量分箱构成 $A_2(E_\gamma) \sim E_\gamma$ 曲线，以反映核的形变参数及振动趋向。射线角分布与核的振动及总角动量间的趋向有关。例如对于长椭球集体转动核及非集体转动的扁椭球形变核，它们的 GDR 高能成分具有 $|\Delta I| = 0$ 的特征，而低能成分具有 $|\Delta I| = 1$ 的特征，如图 2 的 $\gamma = 0^\circ$ 与 $\gamma = -60^\circ$ 所示；反之对于集体转动扁椭球核 ($\gamma = 60^\circ$) 及非集体转动长椭球核 ($\gamma =$

120°)， A_2 具有相反的现象。

若把 γ 谱形分析与角分布测量相结合，将会得到更为丰富的关于高温转动核的知识。Bracco 等^[17]用该方法首次提取了有关 GDR 阻尼机制的信息，分析了引起 GDR 的宽度展宽的原因。

2.3 核形状及振动趋向的涨落

与“冷”核有确定形变不同，高温转动核形变是按一定几率分布的平均状态。“核形

态”是指在一定激发能 E^* 及转动角动量 I (或 ω) 时, 以四极形变 β 、 γ 为参量的自由能 $F(T, I, \beta, \gamma)$ 表面上的极小值. 在 I 小和 $T \rightarrow 0$ 时, F 表面上有一尖锐的极小值, 为静态形变; 随 T 及 I 的增大, 极小值展宽、变浅. 在 GDR 存在的时间内, 核将“经历”所有可能的形状. 同时, 核的振动轴与 I_{rot} 间的夹角也有一定的几率分布. 核形状的涨落与振动轴去向的不确定性均将使 GDR 强度函数及 γ 射线角分布的结构有减弱的趋势.

在单举实验中, 分析不同入射能量 $^{10}\text{O} + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{45}\text{Sc}^*$ 反应的 GDR 强度函数^[11, 12]. 在核温度及平均角动量分别为 1.7、1.8、2.0 和 2.3 MeV 及 12、18.5、21.4 和 23.5 \hbar 的 GDR 强度函数谱上, 从平衡核形变可以导出 $\beta = 0.35$ 、0.42、0.45 及 0.46, 具有非集体转动扁椭球形状. 在考虑形状涨落的自由能表面计算中, 除显示最低的入射能量外, 其它 3 个能量上均有相当的几率 $I > 29 \hbar$, 即可发生三轴形变 ($I = 29 \hbar$ 时, Sc^* 形状可变为近似于长椭球 $\beta_0 = 0.68$). 用绝热近似理论计算得到了符合实验强度函数的结果, 这表示高温转动核的形状跃迁. 但 γ 射线角分布的 A_2 实验值在 GDR 的高能一侧均有负值, 与理论不符.

NBI 小组利用由 14 个 BaF_2 探测器组成的 γ 多重性过滤器开窗技术, 选取 $\langle I \rangle$ 区域, 研究了 $^{48}\text{Ti} + ^{113, 114}\text{Cd} \rightarrow ^{161, 162}\text{Yb}^*$ 在不同 $\langle I \rangle$ 区的 GDR 强度函数及 γ 角分布^[16]. 对于基态为“软”的长椭球变形核 $^{161, 162}\text{Yb}$, 利用多重性过滤器开窗技术, 在 $\langle I \rangle = 26 \sim 48 \hbar$ 间, 分成 7 个区间. 观察到的现象可归纳为: (1) 在 $E_\gamma = 11 \sim 13$ MeV 间, $|A_2| < 0.1$, 比 $|\Delta I| = 1$ 拉长型跃迁预期值小; (2) 随 $\langle I \rangle$ 的增大, A_2 值增大; (3) 在 $E_\gamma > 14$ MeV 区间统计误差较大, 使 A_2 的定量意义不大; (4) $^{161}\text{Yb}^*$ 、 $^{162}\text{Yb}^*$ 的 E^* 分别为 62.8 MeV 及 74.8 MeV, 但 A_2 的图像都无差别. 由此得出的结论为: 在低 $\langle I \rangle$ 区, 绝热近似是适用的; 在高 $\langle I \rangle$ 区, 则可模型无关地求出高温转动核的形状.

2.4 国内高温转动核偶极巨共振研究现状

由于高温转动核偶极巨共振 γ 射线能量一般在 8~25 MeV, 并且其产额很低, 因此实验观测非常困难. 测量中常采用高效率的高能 γ 探测器, 如大体积的 $\text{NaI}(\text{Tl})$ 、 BaF_2 和 BGO 等. 另外, 这部分 γ 射线受宇宙射线、中子俘获辐射及康普顿散射的影响, 本底

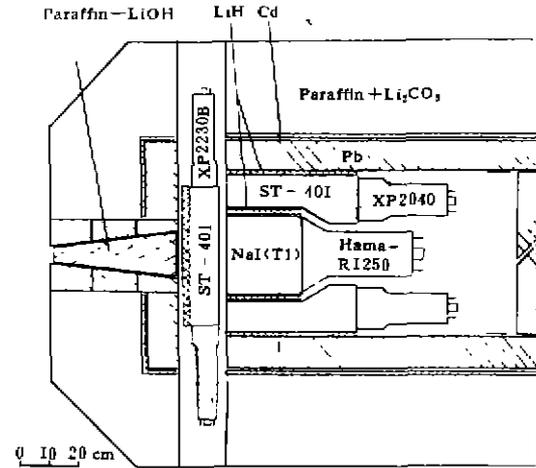


图3 CIAE 高能 γ 射线谱仪

非常大, 实验上需采用一定的技术才能将它们从强本底中提取出来. 一般采用反符合屏蔽将主探测器中测量到的宇宙射线及康普顿散射本底扣除, 以及用飞行时间方法扣除中子俘获辐射 γ 射线等. 最近, 在高温转动核偶极巨共振研究中, 利用 γ 多重性过滤器测量重离子熔合蒸发反应中的 γ 多重性分布, 用高分辨率的高纯锗探测其低能 γ 射线, 并将它们与主探测器中的高能 γ 射线符合. 通过对 γ 多重性及低能 γ 射线的合适开窗, 不仅能大大降低宇宙射线等本底的影响, 还可以选择从不同角动量和不同激发态以及不同衰变子核发射的偶极巨共振 γ 射线, 以研究核形状的演化. 利用这种符合测量技术, 探测器可以是裸的高能 γ 探测器, 无需采用反符合屏蔽.

国内高温转动核偶极巨共振的研究主要集中在原子能科学研究所和中科院近物所,

并分别集中在该领域的低能端和高能端。

原子能科学研究院开展高温转动核偶极巨共振实验研究始于80年代末90年代初。高能 γ 射线探测系统由作为主探测器的大体积NaI(Tl) ($\phi 25 \times 25$ cm)和塑料闪烁屏蔽体组成,如图3所示。本小组首先对68和80 MeV $^{16}\text{O} + ^{116}\text{Sn} \rightarrow ^{132}\text{Ce}^*$ 反应进行了单举测量。实验中,采用脉冲化的 ^{16}O 束并用脉冲拾取信

号作为飞行时间测量的零信号。在随后的85 MeV $^{16}\text{O} + ^{116}\text{Sn} \rightarrow ^{132}\text{Ce}^*$ 实验中,采用了由14个BGO单元组成的 γ 多重过滤器选择角动量窗并提供飞行时间测量的零信号。图4显示了对应不同符合重数的高能射线观测谱以及用统计模型程序CASCADE拟合的结果。从拟合的GDR参数提取出的结果表明,随角动量的增加, ^{132}Ce 的长椭圆变减小^[19]。

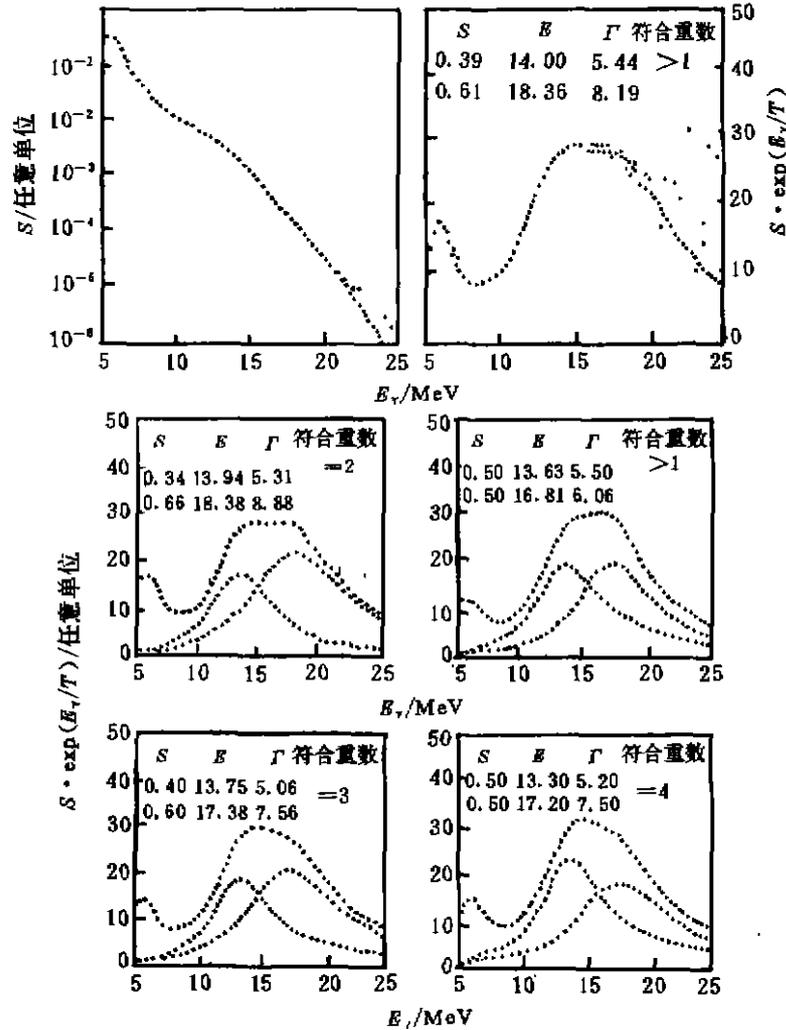


图4 85 MeV $^{16}\text{O} + ^{116}\text{Sn} \rightarrow ^{132}\text{Ce}^*$ 高温转动核 GDR 强度函数随 I 值不同而显示 $^{132}\text{Ce}^*$ 核形变参数的变化 β 随 I 的增加而减小,点线由 CASCADE 程序拟合得到^[19]。

现在原子能科学研究院又建成了第二套 NaI(Tl)反符合屏蔽高能 γ 谱仪,其几何形状

及性能与图3中显示的老谱仪非常相近. 同时用两套谱仪, 可以在有限的束流时间内进行高能 γ 射线角分布测量. 另外, 为了提高 γ 多重性分辨本领, 建成了由38个BGO单元组成的 γ 多重过滤器. 利用这些谱仪, 在HI-13串行加速器上完成了 $^{100}\text{Ru}(^{32}\text{S}, \gamma)^{132}\text{Nd}^*$ 反应的实验测量. 复合核 $^{132}\text{Nd}^*$ 最大激发能为72 MeV, 平均角动量为37 \hbar . 图5显示了不

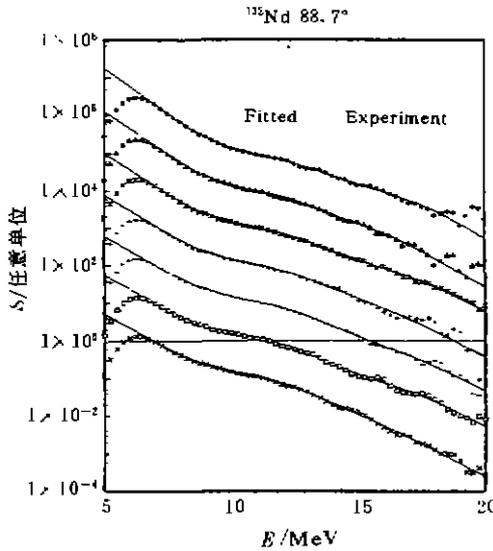


图5 不同符合重数开窗谱与用2个 Lorentz 函数拟合得到的理论谱比较
从上到下分别对应于符合重数为2、3、4、5、6+7、8+9及 ≥ 10 .

同符合重数开窗谱与用两个 Lorentz 函数拟合得到的理论谱比较. 通过数据分析和理论拟合, 发现 $^{132}\text{Nd}^*$ 在上述条件下, 形变非常大, 甚至达到了超形变的范围, 它的形变参数在很多情况下超过了0.35的临界点. 超形变核(SD)的研究是近十年来高自旋核结构的重要进展, 而探索建立在SD上的GDR, 是高温转动核GDR研究的一个有意义的课题. 近年来, 已有一些这一课题的理论工作, 但实验研究尚未有报导.

最近, 用GDR发射作为研究核反应动力学的探针. 有实验报道, 在重离子熔合蒸发反应中, 如超形变态的布居中, 存在入射

道效应. 为此, 在HI-13串行加速器上新近开展了用测量GDR的方法研究入射道效应的实验, 测量了由下面4个束靶组合: $79\text{ MeV } ^{16}\text{O} + ^{66}\text{Zn}$, $93\text{ MeV } ^{19}\text{F} + ^{63}\text{Cu}$, $96\text{ MeV } ^{18}\text{O} + ^{68}\text{Zn}$ 及 $113\text{ MeV } ^{31}\text{P} + ^{61}\text{V}$ 形成 ^{82}Sr 所发射的GDR γ 谱, 实验结果正在分析中.

3 问题与探索

十多年来, 高温转动核巨共振的研究虽然取得了很大进展, 但仍有许多问题尚待研究^[20]. 困难不仅仅由于小截面引起的实验难度, 还在于: (1)所测的 γ 谱包括激发核在退激时发射粒子的各个阶段所发射的 γ 射线, 其中包括所有可能的子核而非单一的原初复合核的贡献, 各个子核的角动量和激发能都有宽分布; (2)不同的核形状共存于同一个核中, 随着温度的增高, 核形状及振动取向的不确定性也随之增大并使GDR的宽度增大; (3)来自GDR的 γ 射线叠加在指数下降的统计 γ 谱上, 使10 MeV以下来自GDR的贡献很难被分开; (4)当入射能量升高时, 有许多来自其它反应机制的干扰; (5)虽然所测的 γ 谱包括激发核在退激时发射粒子的各个阶段所发射的 γ 射线, 但在通常的分析中, 人们却用一套与不同阶段变化无关的GDR参数去拟合实验谱. 对 E_D 而言, 由于它随角动量和激发能的变化较弱, 这样做也许问题不大; 但对 Γ 来说, 由于它随角动量和激发能的变化较明显, 这样做问题就大一些. Hofmann等^[21]和Kasagi等^[22]在研究GDR宽度饱和及GDR消失问题时, 发现用固定的 Γ 和随激发能变化的 $\Gamma(E_x)$ 差别很明显. 在进一步地研究中, Kasagi等^[23]发现如果把热核中的GDR随时间的演化考虑进去, $A=130$ 核区GDR消失的极限将从激发能为230 MeV(固定 Γ)、180 MeV [$\Gamma(E_x)$]变到300 MeV. 需要指出的是, 关于GDR宽度饱和及GDR消失问题的实验研究还很少, 只局限于Sn、Ce等几个核. 如果能把原子能科学研究

院和中科院近物所的研究结合起来,从低能到高能做比较完整的测量和分析,将是很有意义的.国际上该领域的工作也大多是几家联合开展的.

早期的实验,大多是测量高温核的所有 I 值的平均 γ 射线谱.利用多个低能 γ 射线探测器组成的多重性(M)过滤器,划定相应于向转晕线上不同角动量 $\langle I \rangle$ 区跃迁的 γ 谱,则可以了解在确定激发能时核形状随 $\langle I \rangle$ 的变化.核的角动量与 γ 多重性的关系近似于 $I \approx 2M$,但由于多重性过滤器不具有 100% 的效率,实验上应对特定的多重性过滤器作刻度后,定出其与 I 的关系.利用多重性过滤器开窗技术,结合 γ 谱形分析 GDR 强度函数实验,是近些年通用的实验方法.利用多重性过滤器开窗技术测量 GDR 强度函数及 γ 射线角分布随 $\langle I \rangle$ 的变化,可得到比单举实验(对 E^* 及 I 平均的性质)更细致的信息.

为研究某一复合激发核在最初阶段的 γ 辐射,应用差谱技术是一个可行的办法.下面以 $^{48}\text{Ti} + ^{113,114}\text{Cd} \rightarrow ^{161,162}\text{Yb}^*$ 为例,说明其原理:调节 $^{161}\text{Yb}^*$ 的激发能相当于 $^{162}\text{Yb}^*$ 发射 1 个中子后的能量,在角动量完全匹配的条件下, $^{162}\text{Yb}^* \rightarrow ^{161}\text{Yb}^*$ 谱形及角分布只反映建立在 $^{162}\text{Yb}^*$ 的激发能相当于 GDR 宽度范围的低激发态上的高温转动核的 GDR 性质. Maj 等^[18, 20]作了第一个差谱技术实验,虽然很难做到两反应的角动量完全匹配,但显示了多重性过滤器开窗及差谱技术的结合将为高温转动核的 GDR 研究提供更多的可能性.

另外,一种很有意思的方法也可以将可能的子核和原初复合核的贡献分开^[24].它利用多个探头测量从位于靶后几十厘米处的金箔收集到的高自旋同质异能态放出的 γ 射线,将主探测器测到的高能 γ 射线与之符合,根据不同高自旋同质异能态的衰变时间来选择不同核对 GDR 的贡献.用这种方法得到的结果与不作选择得到的结果差别较大.如 $^{164}\text{Dy}^*$,不作选择得到的形变参数很小,而经选择得到的形变参数却很大, $\beta = 0.47$.

用高温转动核的 GDR 研究形变以外其它核物理问题的工作起步不久^[8],目前主要用于入射道效应、自旋混合、裂变和聚变反应时标^[25]等项研究.

参 考 文 献

- 1 Proceedings of the First Topical Meeting on Giant Resonance Excitation in Heavy-Ion Collisions, Legnaro, Sept. 21~25, 1987. edited by Bortignon P F, Gaardhøje J J, Di Toro M. Nucl Phys, 1988, A482; Proceedings of the Gull Lake Nuclear Physics Conference on Giant Resonance, Gull Lake, Michigan, August 17~21, 1993, edited by Thoennessen M. Nucl Phys, 1994, A569
- 2 Berman B L, Fultz S C. Measurements of the Giant Dipole Resonance with Monoenergetic Photons. Rev Mod Phys, 1975, 47, 713~761
- 3 Dowell D H, Feldman G, Snover K A *et al.* Excited-state Giant Dipole Resonances in (p, γ) : A New Probe of Single-Particle Strengths. Phys Rev Lett, 1983, 50, 1191~1194
- 4 Newton J O, Herskind B, Diamond R M *et al.* Observation of Giant Dipole Resonances Built on States of High Energy and Spin. Phys Rev Lett, 1981, 46, 1383~1386
- 5 Richter S, Nucl. Phys, 1993, 533, 417
- 6 Snover K A. Giant Resonances in Excited Nuclei. Ann Rev Nucl Part Sci, 1986, 36, 545~603
- 7 Gaardhøje J J. Nuclear Structure at High Excitation Energy Studied with Giant Resonances. Ann Rev Nucl Part Sci, 1992, 42, 483~536
- 8 Gaardhøje J J, Ellegaard C, Herskind B *et al.* Nuclear Shape at High Spin and Excitation Energy. Phys Rev Lett, 1984, 53, 148~151
- 9 Gossett C A, Snover K A, Behr J A *et al.* Deformation of Heated Nuclei Observed in the Statistical Decay of the Giant Dipole Resonance. Phys Rev Lett, 1985, 54, 1486~1489
- 10 Kicinska-Habior M, Snover K A, Behr J A *et al.* Comparison of Giant Dipole Resonance Decay in Stiff ^{92}Mo and Soft ^{100}Mo Excited Nuclei. Phys Rev, 1992, C45, 569~575
- 11 Snover K A. The Giant Dipole Resonance at High Excitation Energy and Spin. Nucl Phys, 1993, A553, 153~172
- 12 Stolk A, Harakeh M N, Hesselink W H A *et al.* Shape Transition at High Spin Manifested in the Gamma-ray

- Decay of the Giant Dipole Resonance in Hot Dy Nuclei. *Phys Rev*, 1989, C40: 2454~2457
- 13 Gundlach J H, Snover K A, Behr J A *et al.* Oblate Deformed Shapes of Hot Rotating Nuclei Deduced from Giant-Dipole-Resonance Decay Studies. *Phys Rev Lett*, 1990, 65: 2523~2526
- 14 Thoennessen M, Beene J R, Bertrand F E *et al.* Large Deformation in $A \sim 170$ Nuclei at High Excitation Energies. *Phys Lett*, 1992, 282: 288~292
- 15 Kicinska-Habior M, Snover K A, Behr J A *et al.* Search for a Phase Transition in the Nuclear Shape at Finite Temperature and Rapid Rotation. *Phys Lett*, 1993, B308: 225~230
- 16 Maj A, Gaardhøje J J, Atac A *et al.* Angular Distribution of Photons from the Decay of the GDR in Hot and Rotating Light Yb Nuclei from Exclusive Experiments. *Nucl Phys*, 1994, A571: 185~220
- 17 Bracco A, Camera F, Mattiuzzi M *et al.* Increase in Width of the Giant Dipole Resonance in Hot Nuclei: Shape Change or Collisional Damping? *Phys Rev Lett*, 1995, 74: 3748~3751
- 18 Kicinska-Habior M, Snover K A, Behr J A *et al.* Shape Changes and Isospin Purity in Highly Excited Light Nuclei. *Nucl Phys*, 1994, A569: 17~26
- 19 Zhu L H, Huang Z D, Hou L *et al.* Study of Giant Dipole Resonance in Hot Rotating Nucleus $^{132}\text{Ce}^*$. *Chin Phys Lett*, 1995, 12~3: 148~151
- 20 Zelazny Z, Gaardhøje J J, Maj A *et al.* Some Open Problems in Hot GDR Spectroscopy. *Nucl Phys*, 1994, A569: 1~16
- 21 Hofmann H J, Bacelar J C, Harakeh M N *et al.* Saturation of the Width of the Giant Dipole Resonance at High Excitation Energies. *Nucl Phys*, 1994, A571: 301~325
- 22 Kasagi J, Furutaka T, Murakami A *et al.* Excitation Energy and Spin Dependence of the Giant Dipole Resonance at Finite Temperature. *Nucl Phys*, 1992, A538: 585~592
- 23 Kasagi J, Yoshida K. Giant Dipole Resonance in very Hot Nuclei. *Nucl Phys*, 1994, A569: 195~202
- 24 Schagen J P S van, Harakeh M N, Hesselink W H A *et al.* Isomer-Selected Decay of the GDR in $^{166}\text{Dy}^*$. *Nucl Phys*, 1995, A581: 145~164
- 25 Beene J R. Probing Reaction Dynamics with GDR Decay. *Nucl Phys*, 1995, A583: 73~82

Study of Giant Dipole Resonance in Hot Rotating Nuclei

Xia Haihong Zhu Lihua Huang Zhengde Hou Long Ding Dazhao

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

Abstract The history and current status of the experimental study of giant dipole resonance in hot rotating nuclei has been reviewed. Some open problems and new development are stressed.

Key words hot rotating nuclei giant dipole resonance nuclear structure