

中能重离子碰撞中晕核反应动力学^{*}

刘建业¹⁾²⁾⁴⁾ 郭文军³⁾ 邢永忠¹⁾⁴⁾ 李希国²⁾⁴⁾ 左 维²⁾⁴⁾

1) 天水师范学院数理信息学院基础物理研究所, 天水 741000)

2) 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

3) 南京大学物理系, 南京 210008)

4) 兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心, 兰州 730000)

(2005 年 5 月 5 日收到, 2005 年 6 月 8 日收到修改稿)

基于同位旋相关量子分子动力学研究了中子晕核和质子晕核的核反应动力学, 着重研究了松散的晕结构对于重离子碰撞中的碎裂和动量耗散中的特殊作用. 为了突出晕核松散结构在反应动力学中的特殊作用, 同时计算了在完全相同入射道条件下相等质量稳定弹核引起核反应. 通过对晕核和稳定核核反应动力学结果的对比分析, 发现晕核的松散结构对核反应动力学的作用和影响是重要的. 如这种松散结构明显的增加了碎裂多重性, 相反, 减小了原子核阻止(动量耗散).

关键词: 中子晕核, 质子晕核, 重离子碰撞, 核反应动力学

PACC: 2570, 2587, 0260

1. 引言

近年来晕核的结构性质和晕核核反应动力学从实验和理论两个方面进行了一系列研究^[1-17], 并取得了明显的进展. 研究认为晕核结构有大的质子过剩或中子过剩, 而晕核子与核心只是松散的结合. 晕核子小的分离能, 扩展的密度分布和窄的动量分布都是它的重要特征. 这些与稳定核不同的特殊性应当在晕核引起的反应动力学中有所反映. 在晕核反应方面 So 等研究了在库仑位垒附近中子晕核引起的熔合反应, 认为在位垒以上熔合截面的降低主要是由于晕核破裂反应造成的^[14]. 然而在亚位垒或以下熔合截面增加还是减小以及对这些现象如何解释, 至今还无定论. 有些学者将晕核引起的核反应机理与晕核结构性质联系起来进行研究. 例如, Ashood 等指出晕核¹⁴Be 集团破裂截面比稳定核¹⁴B 的破裂截面大, 表明¹⁴Be 基态 He 集团存在的事实^[15]. 故建议晕核破裂反应作为研究其内部结构性质的探针.

总之, 当前更多的晕核反应实验研究主要集中

在库仑位垒附近松散的丰中子核, 例如, ^{6,7,8}Li, ^{6,8}He 和^{9,11}Li 等引起的破裂或转移反应, 熔合反应和弹性散射方面. 理论方面更多的利用直接反应和耦合道理论进行研究. 国内, 在实验和理论两个方面同样进行了一系列研究. Shen 等^[6,7]在中子晕核和质子晕核实验研究方面取得一定的成果. Ma 等在晕核结构性质的理论研究方面取得一些进展^[8-10].

总的来说, 晕核结构性质研究的工作多, 而反应动力学研究的比较少. 反应动力学主要集中在松散结构的丰中子核, 典型晕核反应动力学较少. 特别是核反应动力学系统学研究得少. 国内晕核反应动力学研究得更少. 本工作利用重离子碰撞输运理论比较系统地研究了典型中子晕核¹⁹Be 和质子晕核²³Al 引起的核反应动力学, 主要研究晕核松散结构在重离子碰撞碎裂和动量耗散中的特殊作用.

2. 同位旋相关的量子分子动力学

同位旋相关量子分子动力学理论(IQMD)中互相作用为^[18-21]

^{*} 国家重点基础研究发展计划(批准号: G2000077400), 国家自然科学基金重点项目(批准号: J0435080, J05350101), 国家自然科学基金(批准号: J0447006, J0575075, J0125521, J0447113), 江苏省博士后科研资助计划项目, 中国博士后科学基金和中国科学院知识创新工程重要方向项目(批准号: KJ9XZ-SW-NO2)资助的课题.

† E-mail: liujy@lzb.ac.cn

$$U(\rho) = U^{\text{Sky}} + U^{\text{Coul}} + U^{\text{sym}} + V^{\text{Yuk}} + V^{\text{MDI}} + U^{\text{Pauli}}, \tag{1}$$

$$U^{\text{Sky}} \text{ 是密度相关的 Skyrme 势,}$$
$$U^{\text{Sky}} = \alpha \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) + \beta \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma, \tag{2}$$

$$U^{\text{Coul}} \text{ 是库仑势, } U^{\text{Yuk}} \text{ 表示 Yukawa 势,}$$
$$V^{\text{Yuk}} = t_3 \exp\left(\frac{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|}{m}\right) / \left(\frac{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|}{m}\right), \tag{3}$$

$$V^{\text{MDI}} \text{ 是动量相关作用 (MDI),}$$
$$V^{\text{MDI}} = t_4 \ln^2[t_5(\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2)^2 + 1] \frac{\rho}{\rho_0}, \tag{4}$$

$$U^{\text{Pauli}} \text{ 是泡利势,}$$
$$U^{\text{Pauli}} = V_p \left(\frac{\hbar}{q_0 p_0} \right)^3 \exp\left(-\frac{(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)^2}{2q_0^2} - \frac{(\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j)^2}{2p_0^2}\right) \times \delta_{\text{pipj}}, \tag{5}$$

$$\delta_{\text{pipj}} = \begin{cases} 1 & \text{中子 - 中子或质子 - 质子,} \\ 0 & \text{中子 - 质子,} \end{cases}$$

$$U^{\text{sym}} \text{ 是对称势, 对称势的形式有很多种, 本文使用了一种常用的对称势}^{[22, 23]}$$
$$U_1^{\text{sym}} = c F_1(u) \delta \tau_z, \tag{6}$$

其中

$$\tau_z = \begin{cases} 1 & \text{中子,} \\ -1 & \text{质子,} \end{cases}$$

这里 $c = 32\text{MeV}$ 是对称势的强度, $u \equiv \rho/\rho_0$; $F_1(u) = u$; δ 是相对中子过剩 $\delta = \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho_n + \rho_p} = \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho}$. ρ , ρ_0 , ρ_n , ρ_p 分别是核密度、饱和密度、中子密度和质

子密度. 一个经验的密度相关的介质中核子-核子碰撞截面的公式为^[24]

$$\sigma_{\text{NN}}^{\text{med}} = \left(1 + \alpha \frac{\rho}{\rho_0}\right) \sigma_{\text{NN}}^{\text{free}}, \tag{7}$$

这里参数取 $\alpha = -0.2$ 被发现与集体流的实验数据得到很好的符合, $\sigma_{\text{NN}}^{\text{free}}$ 是实验核子-核子碰撞截面^[25].

3. 结果和讨论

这里 σ^{med} 和 σ^{nomed} 分别表示具有介质和没有介质效应的核子-核子碰撞截面. 它们分别表示(7)式中 $\alpha = -0.2$ 和 $\alpha = 0$ 的结果. 显然 $\sigma^{\text{nomed}} > \sigma^{\text{med}}$.

3.1. 中子晕核¹⁹B, 质子晕核²³Al 和它们相等质量弹核¹⁹F 和²³Na 的密度分布

大的中子过剩, 质子过剩, 小的晕核子分离能和扩散的晕核子分布半径是晕核的明显特征. 图 1 是中子晕核¹⁹B、质子晕核²³Al 及相应的相等质量稳定弹核¹⁹F 和²³Na 的中子和质子密度分布. 图中实线和虚线分别表示中子和质子密度分布, 而粗线和细线则分别表示晕核和稳定核的核子分布. 很明显, 相对于稳定核而言中子晕核¹⁹B、质子晕核²³Al 具有明显扩展的中子密度分布和质子密度分布. 表 1 给出了以上 4 个原子核的结合能, 中子、质子和原子核的均方半径. 与相应的稳定核比较, 晕核具有大的中子或质子均方半径 RMS 和小的结合能 $E_{\text{结}}$.

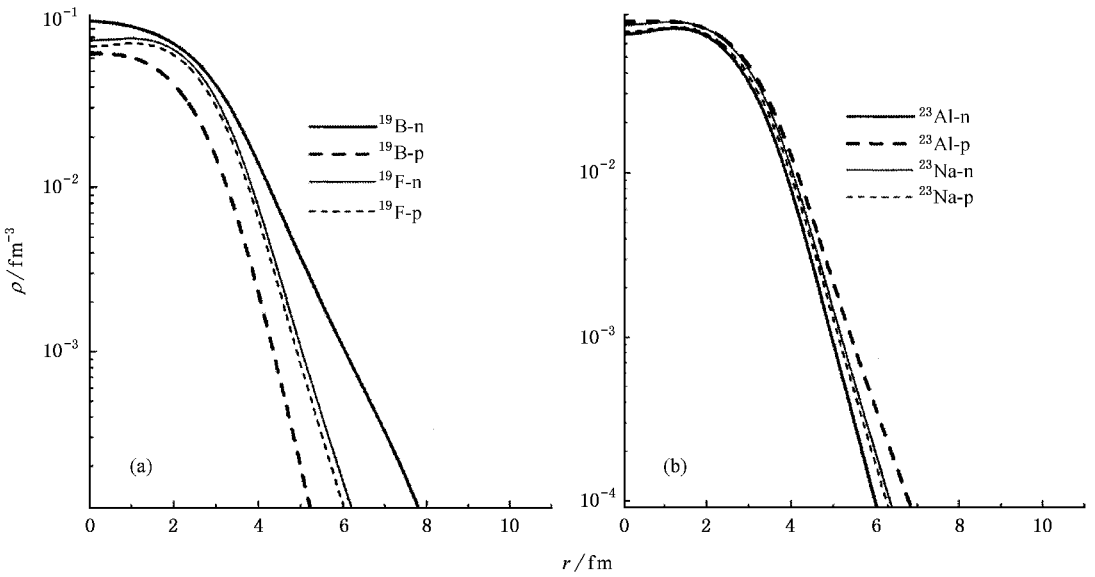


图 1 4 个原子核的中子和质子密度分布

表 1 4 个原子核的结合能和相应的中子、质子和原子核均方半径

	$E_{\text{结}} / (\text{MeV/核子})$	$R_{\text{中}} / \text{fm}$	$R_{\text{质}} / \text{fm}$	$R_{\text{核}} / \text{fm}$
^{19}B	- 5.04	3.15	2.51	3.46
^{19}F	- 7.69	2.83	2.80	2.85
^{23}Al	- 7.21	2.97	3.07	2.84
^{23}Na	- 7.78	2.94	2.93	2.95

3.2. 中子晕核 ^{19}B 和质子晕核 ^{23}Al 弱束缚结构在碎裂反应中的特殊作用

图 2 表示中子晕核 ^{19}B 、质子晕核 ^{23}Al 及其相应稳定核轰击 ^{48}Ca 靶核共 4 个反应系统碎裂多重性随时间的演化. 图 2(a)和(b)表示中子晕核 ^{19}B 和稳定核 ^{19}F 两个反应系统在束流能量 50 和 80 MeV/核子以及碰撞参数 $b = 1.0\text{fm}$ 时碎裂多重性 FM 随时间的演化. 这里 FM 包括碎片质量在 $1 \leq A \leq 18$ 之间的所有碎片的个数. 这就意味着质量在 $1 \leq A \leq 18$ 之间的碎片产生时碎裂反应开始. 图 2(c)和(d)表示质子晕核 ^{23}Al 和稳定核 ^{23}Na 两个反应系统在束流能量 80 和 120 MeV/核子以及碰撞参数 $b = 1.0\text{fm}$ 时碎裂多重性 FZ 随时间的演化. 对于质子晕核 ^{23}Al 有关的两相反应碎裂多重性 FZ 包括电荷数在 $1 \leq Z$

≤ 10 之间的所有碎片的个数. 因中子晕弹核 ^{19}B 是晕中子首先破裂,而晕质子弹核首先是晕质子破裂. 随着碰撞时间的增加晕核的核心和靶核产生碎裂. 对晕核而言 FM 和 FZ 在碰撞时间前期主要是弹核破裂的碎片,随碰撞时间的增加,逐渐包括靶核破裂的碎片和次级衰变的剩余. 图 2 中的 med 和 nomed 分别代表 σ^{med} 和 σ^{nomed} . 从图 2 清楚地看到,晕核 ^{19}B 和 ^{23}Al 对应的实线(σ^{med})比相应稳定弹核 ^{19}F 和 ^{23}Na 的点线高. 晕核 ^{19}B 和 ^{23}Al 的虚线(σ^{nomed})都比相应稳定弹核 ^{19}F 和 ^{23}Na 的点虚线高. 这种差别主要表明松散的晕核比稳定核容易破裂,从而增加了碎裂多重性. 这种结果和 So 等人认为由于库仑位垒以上中子晕核破裂造成熔合截面的降低是一致的.

本工作同样包括了质子晕核结构对碎裂的影响. 特别是我们这里研究了中子晕核和质子晕核引起碎裂反应系统学,即它们对碎裂的影响随束流能量、碰撞参数和不同靶核的演化,并与核子-核子碰撞截面的影响作了比较. 图 3 表示 4 个反应系统在冻结时间的 FM 和 FZ 随束流能量的演化,其中入射道条件和曲线含义与图 2 相同. 从图 3 清楚地看到在本文所涉及的整个能区,中子晕核的 FM 和质子

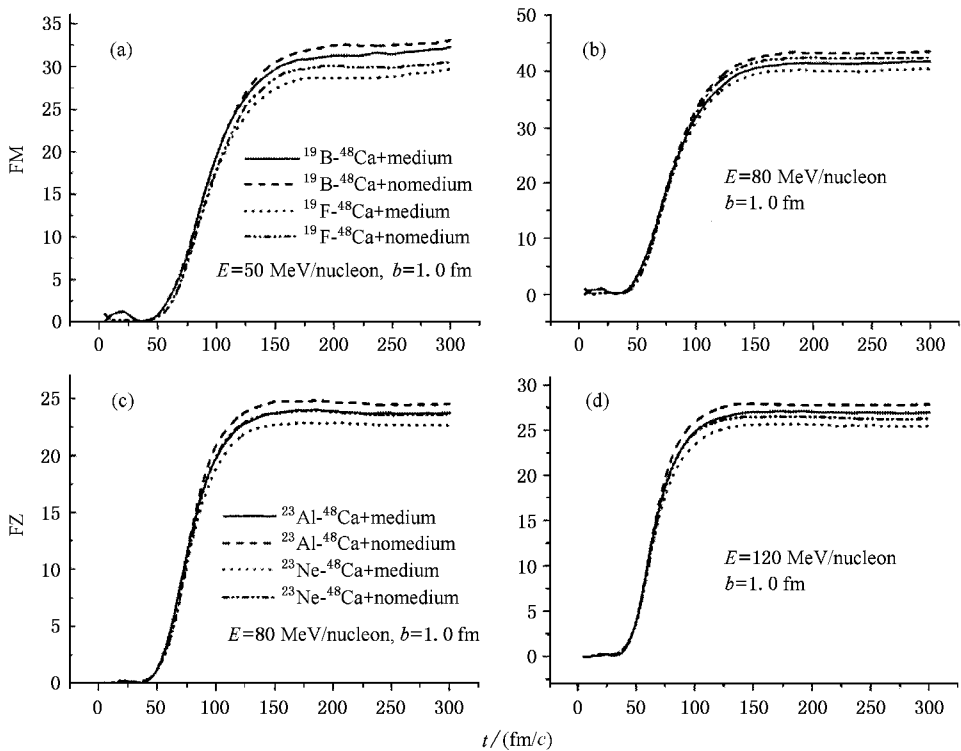


图 2 中子晕核及其稳定核两个反应系统碎裂多重性 FM 和质子晕核及其相互稳定核两个反应系统碎裂多重性 FZ 的时间演化

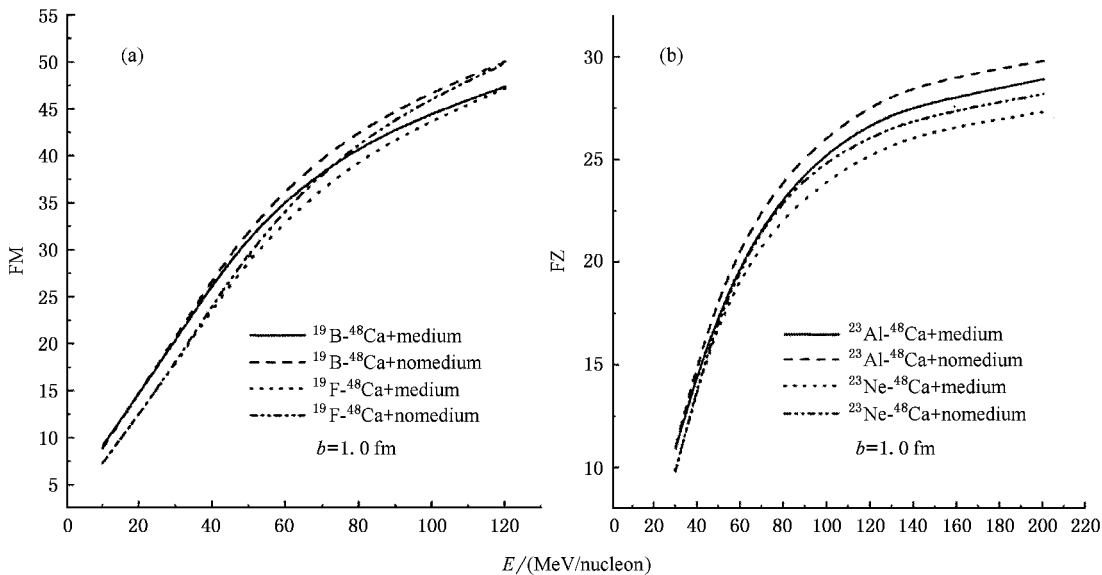


图 3 冻结时间 FM 和 FZ 随束流动能的演化

晕核的 FZ 所对应实线都比点线高,虚线都比点虚线高。说明晕核容易破裂。并且 FM 和 FZ 均随束流动能的增加而增加。由于随着能量的增加碎裂激烈程度加大,从而增加了碎片多重性。就本文选取的中子晕核和质子晕核而言,碎裂多重性能量演化的特征很不相同。中子晕核 ^{19}B 碰撞系统对于稳定核 ^{19}F 系统之间的差别主要出现在低能区,如图 3 中实线与点线之差或虚线与点虚线之差所示。但在大约 60MeV/核子之后晕核对于稳定核的 FM 之差逐渐减小。但对于质子晕核碰撞系统与稳定核系统的 FZ 之差随能量的增加一直在增加。这就表明是由中子晕核和质子晕核的内部结构不同造成的。而且两类晕核碰撞系统由于晕结构造成碎片多重性的差别与核子-核子碰撞介质效应造成的差别(即图中实线与虚线之差或点线与点虚线之差)比较随能量的增加变化趋势也不相同,对于中子晕核系统,在低于 60MeV/核子的能区,FM 的晕结构效应比核子-核子碰撞截面造成的差别大,在 60MeV/核子之后,晕核结构造成 FM 的差别逐渐减小,而核子-核子碰撞介质效应造成的差别一直随能量的增加而增加。对于质子晕核碰撞系统,两种效应造成 FZ 的差别随能量的增加一直在增加。这些差别的原因需要进一步结合晕核结构性质进行仔细研究。

为了系统地研究晕结构对碎裂的影响随靶核质量的演化,图 4 表示冻结时间 FM 和 FZ 随靶核质量的演化,这里所谓冻结时间是取 300fm/c 时的数值,因为从图 2 中看出在 150fm/c 以后 FM 和 FZ 的曲线

已达到平衡。束流动能和碰撞参数分别为 50MeV/核子和 1.0fm。三个靶核 ^{48}Ca , ^{89}Kr , ^{124}Sn 的中子-质子比基本相同,都在 1.4 附近。

这样主要看碎裂多重性随靶核质量的变化而排除了中子-质子比(同位旋)的影响。从图 4 很清楚地看到碎裂多重性 FM 和 FZ 总的演化趋势是随靶核质量的增加而增加。这个很容易理解,因为靶核越重,冻结时间的碎片数目越多。但与稳定核 ^{19}F 和 ^{23}Na 相比,中子晕核 ^{19}B 、质子晕核 ^{23}Al 碰撞系统的碎片多重性在全部靶核质量范围内都比稳定核碰撞系统的碎片多重性大,即图 4 中实线和虚线均明显比相应的点线和点虚线高,弱束缚的晕结构在全部靶核质量范围内增加了碎裂多重性。

一般核反应机理对碰撞参数是很灵敏的,为此图 5 是冻结时间 4 个反应系统碎片多重性 FM 和 FZ 随碰撞参数 b 的变化。很明显 FM 和 FZ 都随 b 的增加而减少,即碰撞和碎裂激烈程度随 b 的增加而减弱是合理的。但在全部碰撞参数范围内,晕核碰撞系统 $^{19}\text{B}+^{48}\text{Ca}$ 和 $^{23}\text{Al}+^{48}\text{Ca}$ 的 FM 和 FZ 分别比相应稳定核碰撞系统 $^{19}\text{F}+^{48}\text{Ca}$ 和 $^{23}\text{Na}+^{48}\text{Ca}$ 大,同样反映了在所有碰撞参数范围内晕核的弱束缚结构增加了碎裂多重性。

3.3. 中子晕核 ^{19}B 和质子晕核 ^{23}Al 的松散晕核结构在动量耗散中的特殊作用

原子核阻止是表示重离子碰撞中动量耗散的物理观测量,这里定义原子核阻止为动量垂直分量 $P_{\perp}(i) =$

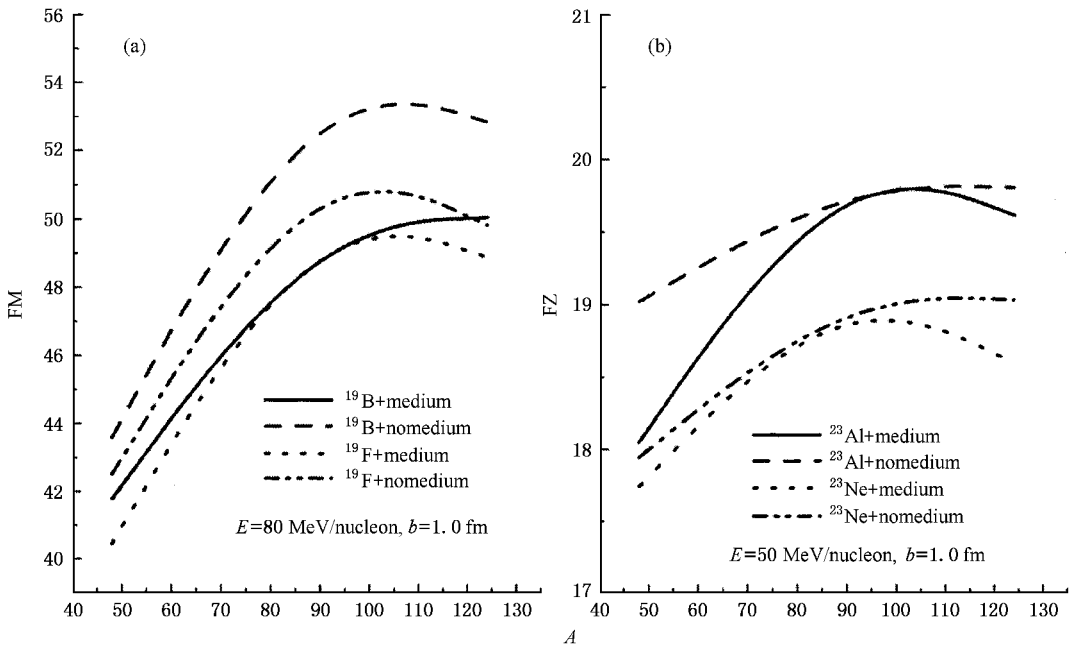


图 4 冻结时间 FM 和 FZ 随靶核质量的演化

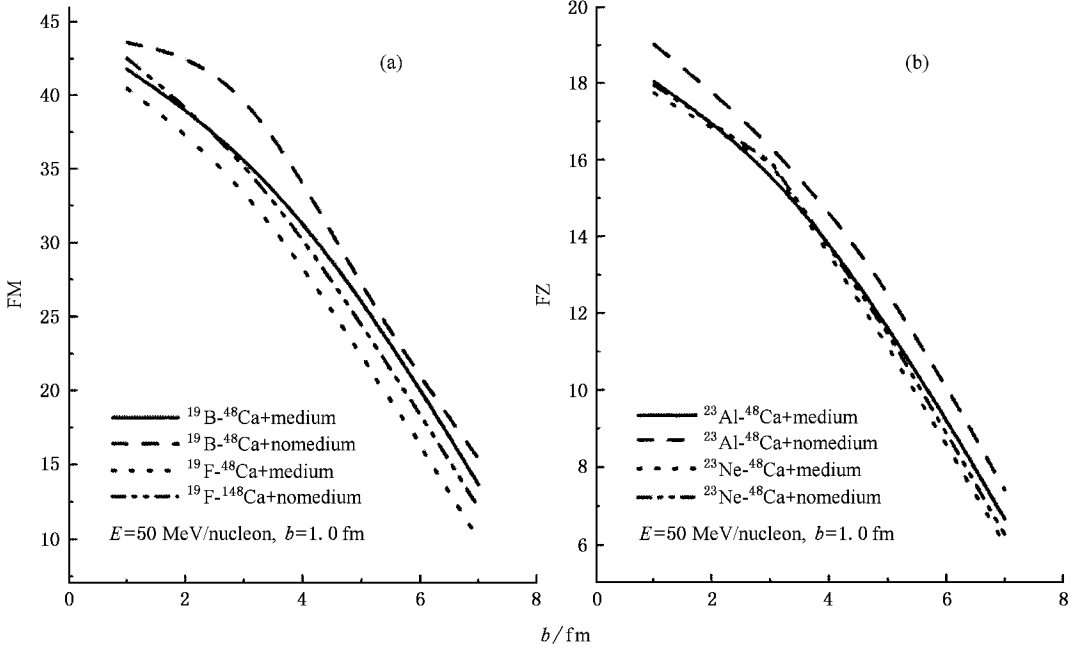


图 5 冻结时间 FM 和 FZ 随碰撞参数的演化

$\sqrt{P_x(i)^2 + P_y(i)^2}$ 与平行分量 $P_{\parallel}(i) = P_z(i)$ 的比值 $R = (2/\pi) \left(\sum_i^A |P_{\perp}(i)| \right) / \left(\sum_i^A |P_{\parallel}(i)| \right)$. 这里 P_i 是核子 i 的动量. 这里系统核子数 A 是弹核核子数 A_p 与靶核核子数 A_t 之和. 如文献 [26] 中所指出的原子核阻止 R 灵敏的依赖核子-核子碰撞截面而

弱的依赖对称势. 故这里在计算上只对两种核子-核子碰撞截面 σ^{med} 和 σ^{nomed} 及一种对称势 U_1^{sym} 进行. 图 6(a) 和 (b) 表示碰撞系统 $^{19}\text{B} + ^{48}\text{Ca}$ 和 $^{19}\text{F} + ^{48}\text{Ca}$ 随碰撞时间 t 的演化, 束流能量和碰撞参数分别是 80/50 MeV/核子和 1.0 fm. 而图 6(c) 和 (d) 表示 $^{23}\text{Al} + ^{48}\text{Ca}$ 和 $^{23}\text{Ne} + ^{48}\text{Ca}$ 的原子核阻止 R 随 t 的演化, 束

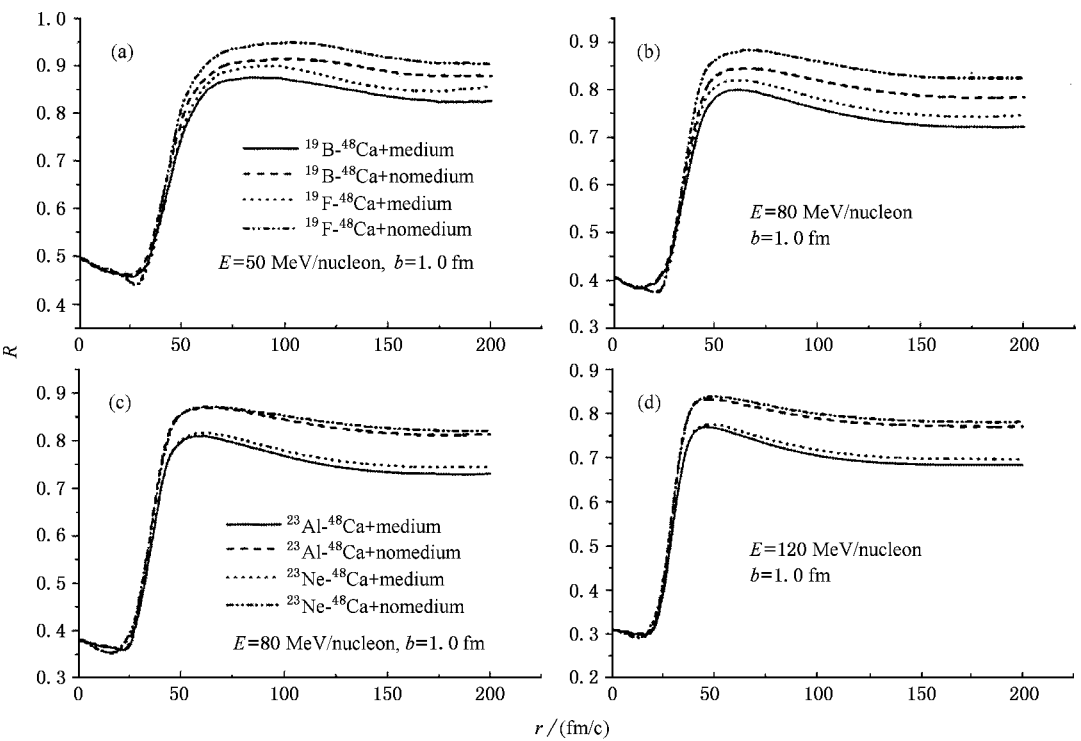


图 6 原子核阻止 R 的时间演化

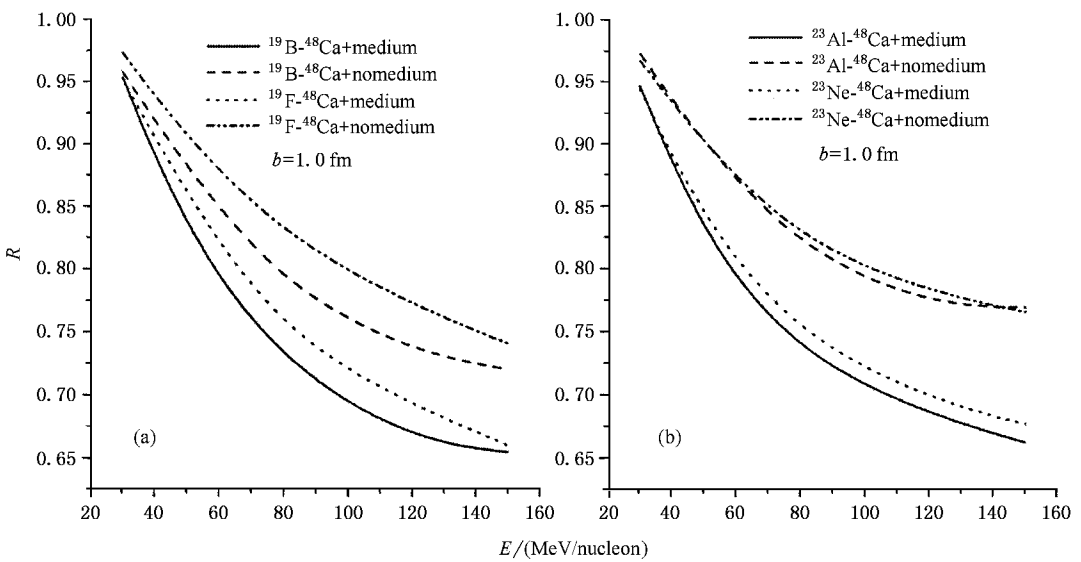


图 7 冻结时间原子核阻止 R 随束流动能的演化

流能量和碰撞参数分别是 80,120 MeV/核子和 1.0fm. 情况正好与碎裂多重性相反,晕核 ^{19}B 和 ^{23}Al 对应的实线(σ^{med})比相应稳定弹核 ^{19}F 和 ^{23}Na 的点线低. 晕核 ^{19}B 和 ^{23}Al 的虚线(σ^{nomed})都比相应稳定弹核 ^{19}F 和 ^{23}Na 的点虚线低,即中子晕核和质子晕核的松散结构均减弱了动量耗散从而减小了原子核阻

止 R .
但这种减弱作用没有核子-核子碰撞截面的影响大. 即图中实线与点线之差和虚线与点虚线之差均比相应的实线与虚线之差和点线与点虚线之差小.
同样为了检验这种减弱动量耗散的特性随束流

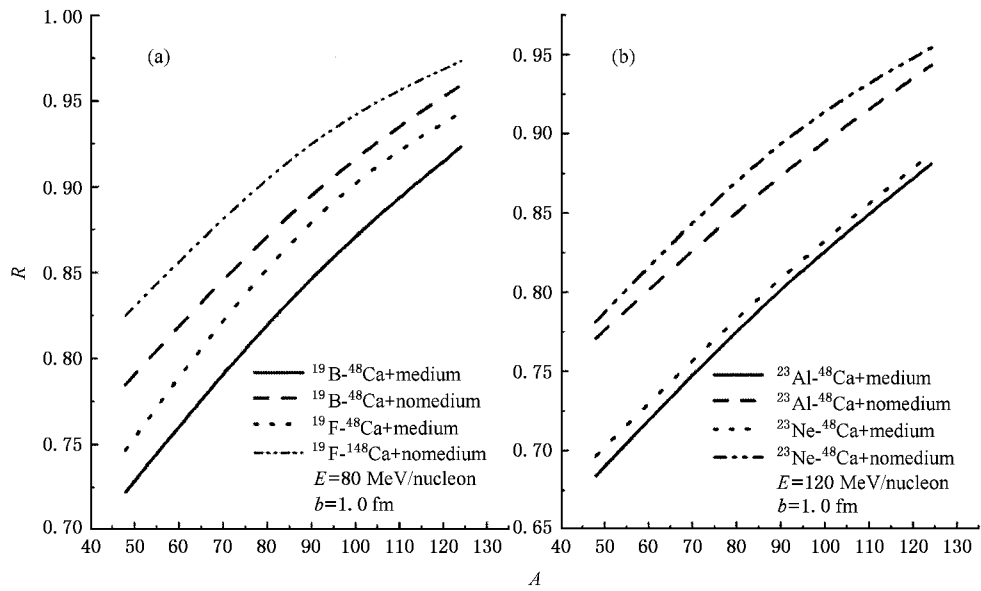


图 8 冻结时间原子核阻止 R 随靶核质量的演化

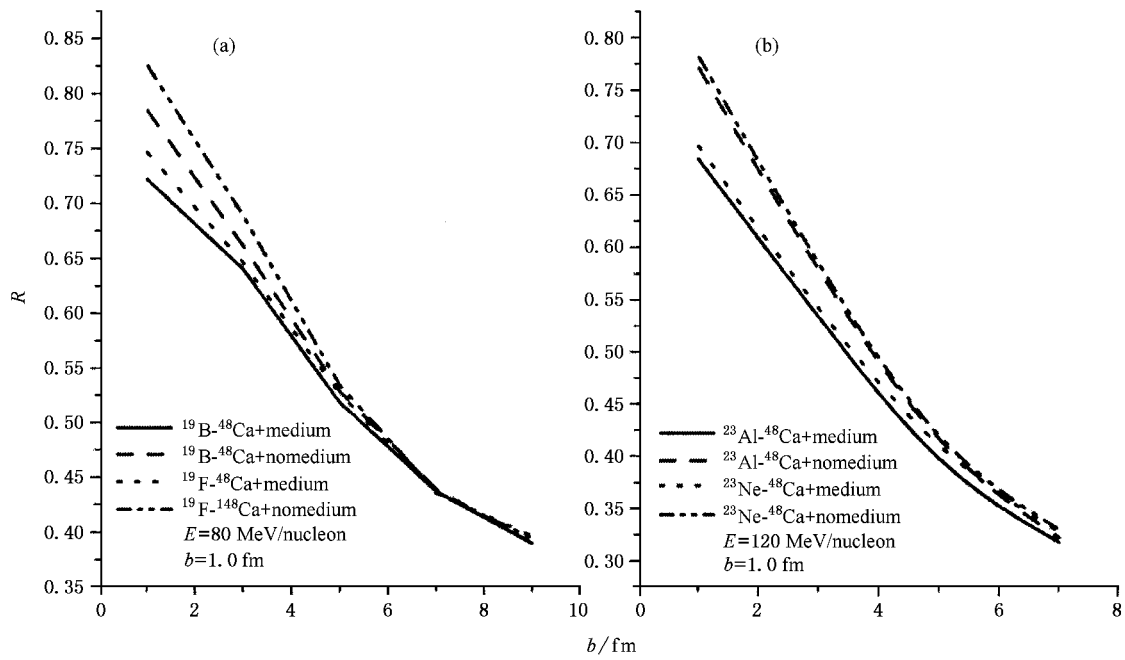


图 9 原子核阻止随碰撞参数的演化

能量的变化,图 7 给出以上 4 个碰撞系统在冻结时间的原子核阻止 R 随束流能量的演化.在所研究的束流能量范围内原子核阻止均随能量的增加而减小,这和文献 [26] 的结论一致.但是晕核碰撞系统的 R 都比稳定核系统的 R 低,即在整个能区,中子晕核和质子晕核的松散结构都有减弱动量耗散的作用.因为动量转移和耗散主要是由两体碰撞引起的,晕核的松散结构减弱了核子-核子碰撞,从而减

弱了核子在碰撞过程中的动量转移和耗散,即减小了原子核阻止.

为了检验原子核阻止随靶核质量和碰撞参数的演化,图 8 和图 9 分别给出了以上 4 个反应系统在冻结时间原子核阻止 R 随靶核质量 A 和碰撞参数 b 的演化.图 8 中三种靶核仍是 ^{48}Ca , ^{89}Kr 和 ^{124}Sn .中子晕核碰撞系统的束流能量是 80 MeV/核子,质子晕核碰撞系统的束流能量是 120 MeV/核子.曲线含

义与图 6 相同. 在所研究的靶核质范围内, 原子核阻止 R 均随靶核质量的增加而增加, 这些与我们以前工作中的结论一致. 但中子晕核和质子晕核碰撞系统的 R 均比稳定核系统的低. 在所研究的靶核质量范围内, 晕核松散结构都减弱了动量耗散, 即减小了原子核阻止.

从图 9 明显看出原子核阻止随碰撞参数的增加而减小, 因为随着碰撞参数的增加, 核子-核子碰撞减弱从而减弱了核子动量转移和耗散. 但在 $b < 4.0 \text{ fm}$ 时, 核子-核子碰撞作用明显区域, 中子晕核和质子晕核的松散结构同样减弱了动量耗散, 从而减小了原子核阻止. 这里特别指出, 从图 7, 图 8 和图 9 明显看出, 中子晕核和质子晕核的原子核阻止随束流能量, 靶核质量和碰撞参数的演化很不相同. 例如中子晕核和质子晕核的松散结构均减弱了动量耗散, 但与核子-核子碰撞截面的影响和稳定核碰撞系统的 R 比较, 中子晕核对动量耗散减弱的明显, 而质子晕核减弱的不够明显. 主要原因从图 1 和表 1 可以看出, 中子晕核 ^{19}B 均方半径比质子晕核 ^{23}Al 均方半径大, 但 ^{19}B 的结合能比质子晕核的结合能

小. 说明中子晕核 ^{19}B 的结构比质子晕核 ^{23}Al 的结构松散, 因而与核子-核子碰撞截面的影响和稳定核碰撞系统的 R 比较, 中子晕核对动量耗散减弱的明显. 故建议将晕核反应动力学用作它的内部结构性质的研究的探针.

4. 结 论

1. 中子晕核和质子晕核的弱束缚结构在所研究的全部能区, 所有的靶核和碰撞参数范围内与相等质量弹核相比, 都明显地增加了碎裂多重性. 即晕核的弱束缚结构容易破裂.

2. 中子晕核和质子晕核的弱束缚结构在所有研究的能区, 靶核和碰撞参数范围内与相对质量弹核相比, 都减弱了核子-核子碰撞的动量转移和耗散从而减小了原子核阻止.

3. 不同的晕核由于结构性质的差异较大, 因此碎裂多重性和原子核阻止随束流能量和靶核质量的演化过程有明显差异. 故将晕核引起的核反应动力学与晕核结构性质的联系起来进行研究.

[1] Tanihata I, Hamagaki H, Hashimoto O *et al* 1985 *Phys. Lett. B* **160** 380
 [2] Tanihata I, Hamagaki H, Hashimoto O *et al* 1985 *Phys. Rev. Lett.* **55** 2676
 [3] Tanihata I, Kobayashi T, Yamakawa O *et al* 1988 *Phys. Lett. B* **206** 592
 [4] Tanihata I 1991 *Nucl. Phys. A* **522** 275C
 [5] Ogawa Y, Yabana K, Suzuki Y 1992 *Nucl. Phys. A* **543** 722
 [6] Ma Y G, Shen W Q 1993 *Phys. Rev. C* **48** 850
 Ma Y G, Shen W Q 1993 *Phys. Lett. B* **302** 386
 [7] Zhao Y L, Ma Z Y, Chen B Q *et al* 2001 *High Energy Phys. Nucl. Phys.* **26** 506
 [8] Ren Z Z, Xu G G, Chen B Q *et al* 1990 *Phys. Lett. B* **252** 311
 Ren Z Z, Xu G G, Chen B Q *et al* 1995 *Phys. Lett. B* **351** 11
 [9] Meng J, Ring P 1998 *Phys. Rev. Lett.* **80** 460
 [10] Guo W J, Hian H Q, Liu J Y, Zuo W, Ren Z Z, Lee X G 2003 *Commun. Theor. Phys.* **40** 577
 [11] Alamanos N, Pakou A, Lapoux V *et al* 2002 *Phys. Rev. C* **48** 054606
 [12] Cael P, Goldstein G, Baye D 2004 *Phys. Rev. C* **70** 064605

[13] Liu C J, Liu Z H, Zhang H Q 2001 *China. Phys. Lett.* **18** 1183
 [14] So W Y, Hong S W, Kin B T 2004 *Phys. Rev. C* **70** 064606
 [15] Ashwood N L, Feer M, Angelique J C *et al* 2004 *Phys. Rev. C* **70** 24608
 [16] Camacho A G, Aguilera E F 2004 *Nucl. Phys. A* **735** 425
 [17] Lbraheem A A, Bonaccorso A 2005 *Nucl. Phys. A* **748** 414
 [18] Bertsch G F, Gupta S D 1988 *Phys. Rep.* **160** 189
 [19] Aichelin J, Rosenhauer A, Peilert G *et al* 1987 *Phys. Rev. Lett.* **58** 1926
 [20] Aichelin J, Peilert G, Bohnet A *et al* 1988 *Phys. Rev. C* **37** 2451
 [21] Reinhard P G 1991 *Computational Nuclear Physics* **1** 28 (Berlin: Springer-Verlag)
 [22] Li B A, Ko C M, Bauer W 1998 *Int. J. Mod. Phys. E* **7** 147
 [23] Li B A, Schroder W U 2001 *Isospin Physics in Heavy-Ion Collisions at Intermediate Energies* (Nova Science Publishers, Inc, New York)
 [24] Klakow D, Welke G, Bauer W 1993 *Phys. Rev. C* **48** 1982
 [25] Alkazzov G 1977 *Nucl. Phys. A* **280** 365
 [26] Liu J Y, Guo W J, Wang S J, Zuo W, Zhao Q, Yang F Y 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 975

Nuclear reaction dynamics induced by halo-nuclei at intermediate energy heavy ion collisions ^{*}

Liu Jian-Ye^{1 2 4)} Guo Wen-Jun³⁾ Xing Yong-Zhong^{1 4)} Lee Xi-Guo^{2 4)} Zuo Wei^{2 4)}

¹ *Xi Institute of Basic Physics , College of Mathematics Physics and Information , Tianshui Normal University , Tianshui 741000 , China)*

² *Xi Institute of Modern Physics , Chinese Academy of Sciences , Lanzhou 730000 , China)*

³ *Xi Department of Physics , Nanjing University , Nanjing 210008 , China)*

⁴ *Xi Center of Theoretical Nuclear Physics , National Laboratory of Heavy Ion Accelerator , Lanzhou 730000 , China)*

(Received 5 May 2005 ; revised manuscript received 8 June 2005)

Abstract

We studied systematically the reaction dynamics induced by neutron-halo nuclei and proton-halo nuclei within the isospin dependent quantum molecular dynamics , such as the effects of loose bound halo-nuclei on the fragmentation reaction and momentum dissipation for different colliding systems with different beam energies and different impact parameters. In order to emphasize the roles of neutron-halo nucleus ^{19}B and proton-halo nucleus ^{23}Al on the reaction dynamics we also calculated the reaction dynamics induced by the stable nuclei ^{19}F and ^{23}Na with equal mass under identical incident channel conditions. Based on the comparison of results of reaction dynamics induced by halo-nucleus colliding systems and stable nucleus colliding systems we found that the roles of loose bound halo-nucleus structure on the fragmentation multiplicity and nuclear stopping (momentum dissipation) are important for all of colliding systems with different beam energies and minor impact parameters , such as , the loose bound halo-nuclei structure increases the fragmentation multiplicity , but reduces the nuclear stopping.

Keywords : neutron-halo nuclei , proton-halo nuclei , heavy ion collision , nuclear reaction dynamics

PACC : 2570 , 2587 , 0260

^{*} Project supported by the Major State Basic Research Development Program of China (Grant No. G2000077400) , the Key Project of National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10435080 , 105350101) , the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10447006 , 10575075 , 10125521 , 10447113) and the CAS Knowledge Innovation Project (Grant No. KJCXZ-SW-N02).