

动量相关作用对中能重离子反应中碎裂和耗散的同位旋效应的作用*

邢永忠¹⁻³ 刘建业^{1,2} 郭文军² 左维^{1,2} 李希国^{1,2}

1 (兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心 兰州 730000)

2 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

3 (天水师范学院物理系 甘肃天水 741000)

摘要 基于修正的同位旋相关的量子分子动力学模型 (IQMD), 对中高能区重离子碰撞过程中动量相关作用 (MDI) 多重碎裂和耗散过程的同位旋效应的作用进行了研究. 计算结果显示: 在考虑了动量相关作用的情况下, 原子核的阻止、核子发射以及中等质量碎片的多重性均大于不考虑动量相关作用时的数值, 特别是在相对高能区, 在有动量相关作用时, 根据同位旋相关的核子-核子碰撞截面和同位旋无关的核子-核子碰撞截面所得到的计算结果之差, 也大于不考虑动量相关作用时的相应取值. 这表明: 在相对较高的能区, 动量相关作用增强了这些物理量对于核子-核子碰撞截面的同位旋效应的敏感性.

关键词 同位旋效应 多重碎裂 核子-核子碰撞截面 动量相关作用

1 引言

放射性束流装置的建立和远离 β 稳定线的放射性核素的应用, 为人们研究重离子碰撞(HIC)的动力学过程中的同位旋效应提供了良好的机遇^[1-5]. 使得人们有可能获得不对称核物质状态方程和介质中同位旋相关的核子-核子碰撞截面的知识. 这些知识不仅有利于人们进一步理解原子核的性质, 而且对于人们了解超新星的爆炸和中子星的冷却机制具有十分重要的意义. 然而, 到目前为止, 我们对在这一动力学过程中起着十分重要作用的两个因素: 同位旋相关的平均场 (即对称势) 和介质中同位旋相关的核子-核子碰撞截面的机理和确切形式还没有完全确定. 为此, 人们已经从实验^[6-16]和理论^[17-29,37,38]两方面对这一问题进行了大量的研究. 正如我们所知, 核子相互作用的非局域性导致了中

* 国家重点基金研究发展规划 (G2000077407), 中国科学院百人计划, 国家自然科学基金 (10175080, 10004012) 和中国科学院知识创新工程重点方向项目 (KJCX2-SW-N02) 资助

能重离子碰撞过程中具有排斥性的动量相关作用. 那么, 动量相关作用对于中能重离子碰撞这一动力学过程中的同位旋效应具有什么样的影响呢? 虽然, 人们已对对称核物质 (即 β 稳定线附近的核素) 的重离子碰撞中的动量相关作用进行了多年的研究^[30,31,34,47-49], 但对于它在非对称核物质 (即远离 β 稳定线的放射性核素) 的重离子碰撞中的基本作用还研究得甚少. 我们近期的研究结果说明: 在相对较高能区的中能重离子碰撞中, 原子核阻止、中等质量碎片的多重性和核子的发射数均明显地表现出对于核子-核子碰撞截面的同位旋效应的依赖性^[41,42]. 接着, 我们研究了在这种情况下, 动量相关作用对于原子核多重碎裂和耗散过程的影响, 结果表明: 在相对较高能区, MDI增强了原子核阻止、中等质量碎片的多重性和核子的发射对于核子-核子碰撞截面的同位旋效应的敏感性.

2 同位旋相关的量子分子动力学模型简介

量子分子动力学模型(QMD)包括以下 3 个基本因素: 密度相关的平均场、介质中核子-核子碰撞截面和泡利阻塞. 为了合理地描述同位旋效应, 需对QMD作如下改进: (1) 计及同位旋相关的平均场——对称势; (2) 对核子-核子碰撞截面区分中子-质子和中子-中子或质子-质子碰撞的差别; (3) 考虑Pauli阻塞中的同位旋效应. 另外, 在抽取处于基态的两碰撞原子核的初始状态时, 也必须考虑同位旋效应的影响. 这样, 就使得原来的QMD模型成为同位旋相关的量子分子动力学(IQMD)模型. 在我们的IQMD模型中, 其碰撞核的初始分布密度是利用Skrmе-Hatree-Fock方法得到的, 所用参数为SKM^{*(32)}. 将利用 (IQMD) 计算程序所得到的碰撞核的基态性质, 如结合能、均方根半径等均与相应的实验值进行了复核. 在这些计算中相互作用势为

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

这里 U^{Sky} 是密度相关的Skyrme势, U^{Coul} 是库仑势, U^{Yuk} 表示有限核表面效应的Yukawa势, U^{Pauli} 是泡利势^[39,40], U^{MDI} 和 U^{sym} 分别为动量相关作用和对称势. 具体形式如下:

$$U^{\text{Sky}} = \alpha\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) + \beta\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^\gamma, \quad (2)$$

$$U^{\text{Yuk}} = t_3 \exp\left(\frac{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|}{m}\right) \left/ \frac{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|}{m} \right., \quad (3)$$

$$U^{\text{MDI}} = t_4 \ln^2 [t_5 (p_1 - p_2)^2 + 1] \frac{\rho}{\rho_0}, \quad (4)$$

$$U^{\text{Pauli}} = V_p \left(\frac{\hbar}{q_0 p_0}\right)^3 \exp\left(-\frac{(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)^2}{2q_0^2} - \frac{(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)^2}{2p_0^2}\right) \delta_{p_i p_j}, \quad (5)$$

$$U^{\text{Coul}} = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|}. \quad (6)$$

对称势 U^{sym} 采用以下形式:

$$U_1 = cF_1(u)\delta\tau_z, \quad (7)$$

$$U_2 = cF_2(u)\left(\delta\tau_z + \frac{1}{2}\delta^2\right), \quad (8)$$

$$U_0 = 0.0. \quad (9)$$

这里 $F_1(u) = u$, $F_2(u) = u^2$, $u \equiv \rho/\rho_0$, τ_z 是核子同位旋的第三分量, 其值对于质子为 -1, 对于中子为 +1. 取对称势的强度为 32MeV, 后者表示不考虑对称势(在图中用 U_0

标志). $\delta = \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho_n + \rho_p} = \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho}$ 为相对中子过剩, 其中的 ρ , ρ_0 , ρ_n 和 ρ_p 分别表示核密度、饱和核密度、中子和质子的分布密度. 为了研究动量相关作用对于碰撞过程中碎裂与耗散的影响, 碰撞过程分别在有动量相关作用(用MDI标记)和无动量相关作用(用NOMDI表示)两种情况下进行了模拟计算. 所用参数见表 1 所示.

表 1 所选用的势参数

	α/MeV	β/MeV	γ/MeV	t_3/MeV	m/fm	t_4/MeV	$t_5/\text{MeV} \cdot ^2$	V_p/MeV	$\rho_0/(\text{MeV}/c)$	q_0/fm
MDI	-390.1	320.3	1.14	7.5	0.8	1.57	5×10^{-4}	30	400	5.64
NOMDI	-356	303	1.16667	7.5	0.8	1.57	5×10^{-4}	30	400	5.64

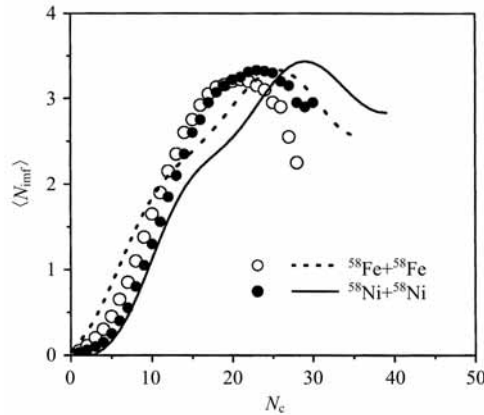


图 1 $^{58}\text{Ni}+^{58}\text{Ni}$ 和 $^{58}\text{Fe}+^{58}\text{Fe}$ 两个碰撞系统中, 中等质量碎片的平均多重性 N_{imf} 与荷电离子多重性 N_c 之间的关联

实心圈($^{58}\text{Ni}+^{58}\text{Ni}$)和空心圈($^{58}\text{Fe}+^{58}\text{Fe}$)为这两个系统对应的实验结果^[36], 实线与虚线分别为利用IQMD对这两个系统的计算结果. 中等质量碎片的电荷数取为 $3 < Z < 18$.

值得注意的是, 近期人们对中能重离子碰撞中集体流的研究结果表明, 介质中核子-核子碰撞截面似乎比我们以前所预料的要小. 介质中核子-核子碰撞截面的密度相关的表达式为^[26]

$$\sigma_{NN}^{\text{med}} = \sigma_{NN}^{\text{free}} \left(1 + \alpha \frac{\rho}{\rho_0}\right). \quad (10)$$

为了与集体流的实验数据相符合,一般选参数 α 为-0.2时,在入射能量小于400MeV的区间内,自由质子-中子的碰撞截面大约是自由质子-质子(或中子-中子)碰撞截面的三倍,这就产生了中能重离子碰撞中核子-核子碰撞的同位旋效应.同时,应该强调指出的是介质中核子-核子碰撞截面 σ_{np} , σ_{nn} (或 σ_{pp})以及它们之间的比值 σ_{np}/σ_{pp} 灵敏地依赖于分布密度在碰撞过程中的演化.目前,由于考虑介质中核子质量和不同介子(如 σ , ω , π 和 ρ 介子等)质量的修正,给出的介质中核子-核子碰撞截面具有多种不同的介质修正和不同的密度依赖形式,如G.Q.Li和R.Machleidt基于Bonn的N-N相互作用势和Dirac-Brueckner方法,研究入射能量在300MeV以下的介质中核子间的碰撞截面^[43,44],他们发现介质中核子-核子碰撞截面随密度的增加而减小,在入射能量高于125MeV、核物质的分布密度高于正常密度的情况下,介质中核子-核子碰撞截面略微增加.在他们的工作中没有考虑 ρ 介子质量的修正.李庆峰和李祝霞等^[45]在考虑 ρ 介子质量的介质修正的基础上,应用QHD-II型Lagrangian量研究了能量在800MeV以下的两体碰撞截面性质,G.J.Lolos等^[46]也作过同样的研究,其结果表明:介质中质子-中子的碰撞截面对于强子的分布密度的依赖是微弱的,但介质中质子-质子(或中子-中子)碰撞截面对于强子的分布密度具有明显的依赖性.为了研究MDI对于中能重离子碰撞中多重碎裂和耗散过程

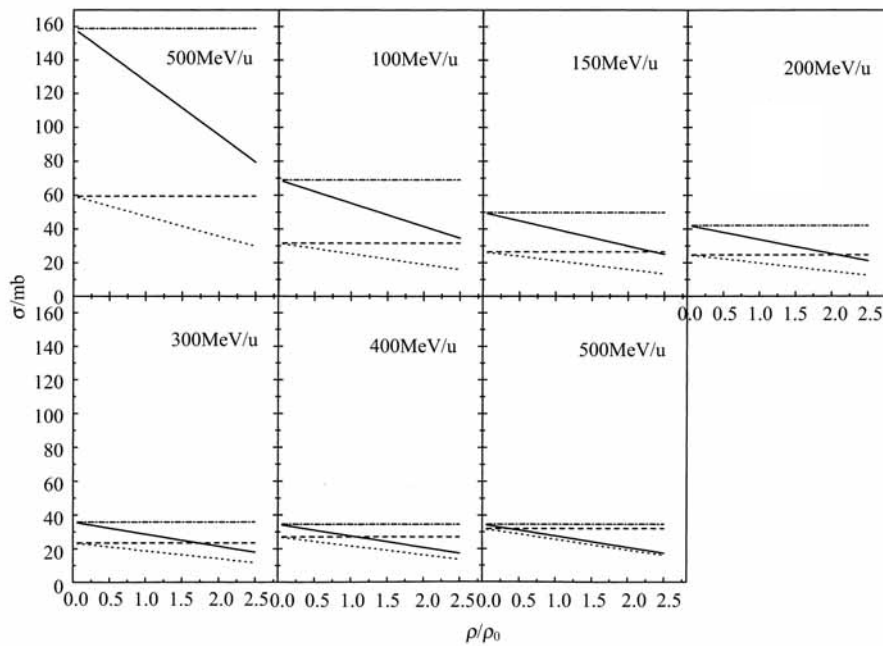


图 2 不同能量条件下,介质中中子-质子碰撞截面(实线)、质子-质子碰撞截面(点线)和自由中子-质子碰撞截面(点划线)、自由质子-质子碰撞截面(划线)随核密度的变化

的影响,我们仅选用方程(10)式所示的密度相关的核子-核子碰撞截面,以便固定截面对于介质的依赖关系而主要研究MDI对于核子-核子碰撞截面的同位旋效应的作用.

当然,这在本文所要研究的入射能区内不会影响我们的主要结论.因为在能量为400 MeV以下,考虑了 ρ 介子质量的介质修正之后,比值 σ_{np}/σ_{pp} 随密度的增加而减小,但总是大于1^[45,46].在图2给出了不同入射能量下,介质中中子-质子碰撞截面(实线)和质子-质子碰撞截面(点线)随核物质密度的变化曲线,同时也给出了相同条件下,自由中子-质子碰撞截面(点划线)和自由质子-质子碰撞截面(划线)随密度的变化.可以清楚的看到:介质中 σ_{np}/σ_{pp} , σ_{np} 和 σ_{pp} (或 σ_{nn})均随着入射能量和密度的增加而减小.相对应的自由核子-核子碰撞截面虽随入射能量的增加而减小,但与核物质分布密度无关,故呈现出两条水平线.

计算中,通过改进的并合模型^[34]来构造碎块,在这一方法中,碎块中两粒子间的相对动量和相对距离分别选为小于等于300 MeV/c和3.5 fm之内.同时,应用重构聚合模型^[35]来消除非物理的碎块.关于IQMD模型的详细描述见文献[3,28,30,31,34].

3 计算结果与讨论

3.1 IQMD 模型的检验

为检验模型程序和相应参数的合理性,对 $^{58}\text{Fe}+^{58}\text{Fe}$ 和 $^{58}\text{Ni}+^{58}\text{Ni}$ 两个碰撞系统在入射能量为75 MeV/N的情况下,中等质量碎片的多重性 N_{imf} 进行了计算.其中中等质量碎片包含的电荷数为 $3 < Z < 18$.图1给出了 N_{imf} 与荷电粒子多重性 N_c 之间的关联的计算结果和相应的实验数据的在同一标度下的比较,实验结果选自文献[36].图中实心圈和空心圈分别代表 $^{58}\text{Ni}+^{58}\text{Ni}$ 和 $^{58}\text{Fe}+^{58}\text{Fe}$ 两系统的实验结果,实线和虚线分别为利用IQMD模型对这两系统的数值计算结果.图中可以看到计算结果与实验值很好地符合,这表明:IQMD模型及其这里所选参数可以合理地模拟中能重离子碰撞的动力学过程.

3.2 动量相关作用对碎裂与耗散的影响

在本文计算中,用对某一物理量在考虑与不考虑核子-核子碰撞截面的同位旋依赖性的两种情形下,所得的计算值之差来定义核子-核子碰撞截面对这一物理量的同位旋效应.如用 σ^{iso} 和 σ^{noiso} 来表示考虑和不考虑同位旋效应时的核子-核子碰撞截面,那么, σ^{iso} 具体指: σ_{np} , σ_{nn} , 而 σ^{noiso} 为 $\sigma_{np}=\sigma_{nn}=\sigma_{pp}$, 这里 σ_{np} , σ_{nn} , σ_{pp} 分别表示介质中,中子-质子、中子-中子和质子-质子碰撞截面.

为了研究中能重离子碰撞中动量相关作用对碎裂与耗散的影响,分别计算原子核阻止 R 、中等质量碎片的多重性 N_{imf} 和中子发射数 N_n (质子发射数 N_p)在上述两种情形下的取值,并给出存在动量相关作用(MDI)和不存在动量相关作用(NOMDI)时,因核子-核子碰撞截面的同位旋依赖性所引起的这些物理量的差随时间的演化.其具体表达式为

$$\Delta R(\Delta \sigma, U_2^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) \equiv R(\sigma^{\text{iso}}, U_2^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) -$$

$$R(\sigma^{\text{noiso}}, U_2^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) ,$$

$$\Delta N_{\text{imf}}(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) \equiv N_{\text{imf}}(\sigma^{\text{iso}}, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) -$$

$$N_{\text{imf}}(\sigma^{\text{noiso}}, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) ,$$

$$\Delta N_{\text{n}}(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) \equiv N_{\text{n}}(\sigma^{\text{iso}}, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) -$$

$$N_{\text{n}}(\sigma^{\text{noiso}}, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) ,$$

$$\Delta N_{\text{p}}(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) \equiv N_{\text{p}}(\sigma^{\text{iso}}, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) -$$

$$N_{\text{p}}(\sigma^{\text{noiso}}, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI}(\text{NOMDI})) .$$

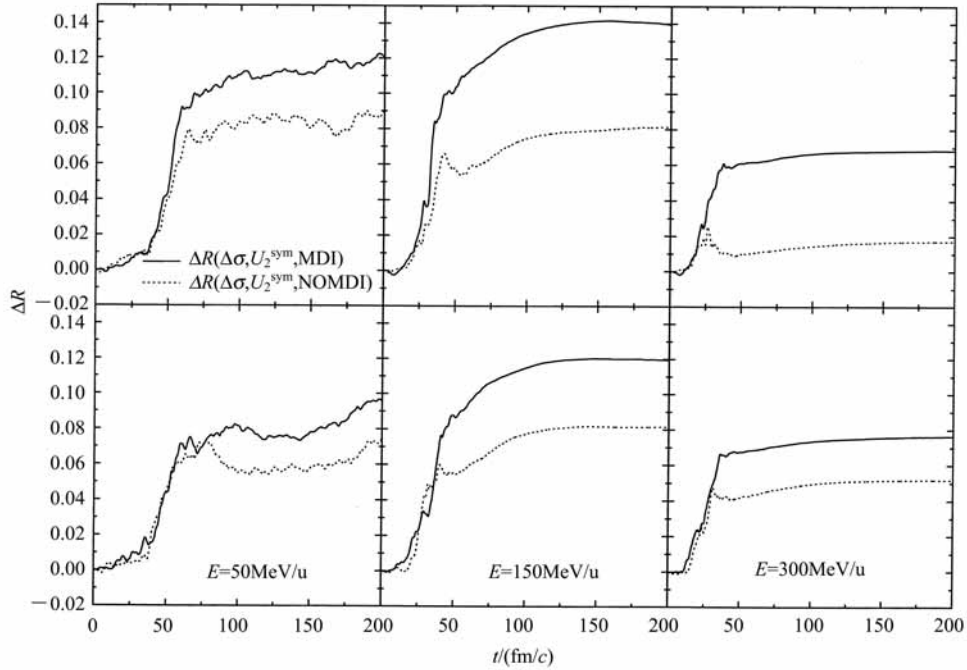


图 3 入射能量分别为 50MeV , 150 MeV , 300 MeV 时, $^{76}\text{Kr}+^{76}\text{Kr}$ (上图)和 $^{76}\text{Zn}+^{76}\text{Zn}$ (下图)两系统中 $\Delta R(\Delta\sigma, U_2^{\text{sym}}, \text{MDI})$ (实线)和 $\Delta R(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{NOMDI})$ (虚线)随时间的演化

原子核阻止 R 由下式计算 :

$$R = \frac{2 |p_{\perp}|}{\pi |p_{\parallel}|} = \frac{2}{\pi} \frac{\sum_i^A (p_x^2(i) + p_y^2(i))^{\frac{1}{2}}}{\sum_i^A |p_z(i)|} ,$$

其中 $p_x(i)$, $p_y(i)$ 和 $p_z(i)$ 分别是第 i 个核子的动量分量, $A = A_p + A_t$, A_p , A_t 分别是碰撞系统、弹核和靶核的质量.

图3给出了 $^{76}\text{Kr} + ^{76}\text{Kr}$ (上面一行)和 $^{76}\text{Zn} + ^{76}\text{Zn}$ (下面一行)两个碰撞系统分别在入射能量为50 MeV, 150 MeV和300 MeV的条件下, $\Delta R(\Delta\sigma, U_2^{\text{sym}}, \text{MDI})$ (实线)和 $\Delta R(\Delta\sigma, U_2^{\text{sym}}, \text{NOMDI})$ (虚线)随时间的演化, 这里碰撞参数为 $b=0.0$. 图中所有实线总是高于虚线, 这清楚地表明: 在本文所考虑的能区, 动量相关作用增强了原子核阻止对于介质中两体碰撞的同位旋效应的敏感性. 图4是 $E=100\text{MeV/u}$, $b=4.0\text{fm}$ 时, $^{58}\text{Fe} + ^{58}\text{Fe}$ (左边一列)和 $E=80\text{MeV/u}$, $b=0$ 时, $^{112}\text{Sn} + ^{40}\text{Ca}$ (右边一列)在有动量相关作用和无动量相关作用的条件下, 两个碰撞系统中截面的同位旋效应所引起的 N_{inf} 的时间演化. 图中

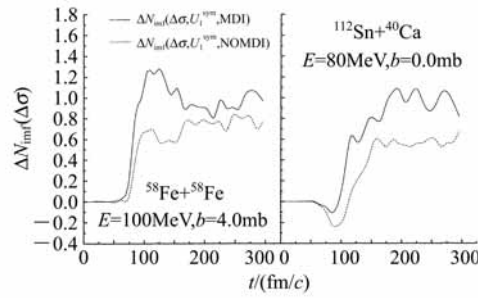


图4 $E=100\text{MeV}$, $b=4.0\text{fm}$ 时, $^{58}\text{Fe} + ^{58}\text{Fe}$ 和 $E=80\text{MeV}$, $b=0$ 时, $^{112}\text{Sn} + ^{40}\text{Ca}$ 中 $\Delta N_{\text{inf}}(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI})$ (实线)和 $\Delta N_{\text{inf}}(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{NOMDI})$ (虚线)随时间的演化

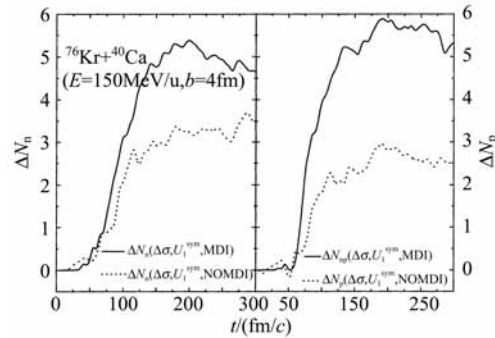


图5 $E=150\text{MeV}$, $b=0$ 的条件下 $^{76}\text{Kr} + ^{40}\text{Ca}$ 中 $\Delta N_n(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI})$ (实线)、 $\Delta N_n(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{NOMDI})$ (虚线)随时间的演化

$\Delta N_{\text{inf}}(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI})$ (实线)大于 $\Delta N_{\text{inf}}(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{NOMDI})$ (虚线)表明: 动量相关作用也增强了中等质量碎片的多重性对于介质中两体碰撞的同位旋依赖的敏感性.

现在, 再来研究动量相关作用对 neutron 发射数 N_n 和 proton 发射数 N_p 基于核子-核子碰撞截面的同位旋依赖性的影响, 图5给出了在有动量相关作用与无动量相关作用两种情况

下, $E=150\text{MeV/u}$ 和 $b=4.0\text{fm}$ 时 $^{76}\text{Kr}+^{40}\text{Ca}$ 系统中 $\Delta N_n(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI})$ (实线)、 $\Delta N_n(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{NOMDI})$ (虚线) (左边一列) 和 $\Delta N_p(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{MDI})$ (实线)、 $\Delta N_p(\Delta\sigma, U_1^{\text{sym}}, \text{NOMDI})$ (虚线) (右边一列) 随时间的演化. 与对 R 和 N_{int} 作用相同, 动量相关作用同样增强了 N_n 和 N_p 对于介质中核子-核子碰撞截面的同位旋效应的敏感性.

从上述结果中, 可以清楚地看到动量相关作用明显地增强了原子核阻止, 中等质量碎片的多重性, 以及核子的发射对于介质中核子-核子碰撞截面的同位旋效应的敏感性. 由于在两核发生碰撞的早期阶段, 当两核以较大的相对运动动量相互穿过时, 排斥性的动量相关作用将加大了核子向横向的运动, 因此, 增强了动量向横向的耗散, 使得原子核阻止、中等质量碎片的多重性以及核子的发射与没有动量相关作用时相比明显地增大. 另一方面, 动量相关作用与介质中核子-核子碰撞截面的能量相关性之间的耦合, 对于碎裂与耗散也会产生与此相同方向的影响. 正如图 2 所示, 中子-质子和质子-质子 (中子-中子) 碰撞截面以及它们的比值 σ_{np}/σ_{pp} 都随着相互碰撞的一对核子在质心系中的相对运动能量 \sqrt{s} 的减小而增加, 动量相关作用所导致的较大的横动量的转移, 使得在反应后期核子之间的 \sqrt{s} 减少, 与没有动量相关作用时的情形相比, 这不仅增大了核子-核子的碰撞截面, 而且增大了两类截面间的比值, 即增大了 σ_{np}/σ_{pp} (见图 2). 因此, 联系动量相关作用在反应早期与后期的作用, 我们得到结论: 动量相关作用明显地增强了原子核阻止, 中等质量碎片的多重性, 以及核子的发射对于介质中核子-核子碰撞截面的同位旋效应的敏感性.

参考文献(References)

- 1 Hussein M S, Rego R A, Bertulani C A. Phys. Rep., 1993, **201**: 279
- 2 LI B A, Ko C M, Bauer W. Int. J. Mod. Phys., 1998, **E7**: 147
- 3 LI B A, Schroder W U. Isospin. Physics in Heavy-Ion Collisions at Intermediate Energies. New York: Nova Science Publishers, Inc, 2001
- 4 Bethe H A. Rev. Mod. Phys., 1990, **62**: 801
- 5 Pethick C J, Ravenhall D G. Ann. ReV. Nucl. Part. Sci., 1995, **45**: 429
- 6 Wada R et al. Phys. Rev. Lett., 1987, **58**: 1829
- 7 Yennello S J et al. Phys. Lett., 1994, **B321**: 14; Nucl. Phys., 2001, **A681**: 317c
- 8 Pak R et al. Phys. Rev. Lett., 1997, **78**: 1022; 1997, **78**: 1026
- 9 Westfall G D. Nucl. Phys., 1998, **A630**: 27c; 2001, **A681**: 343c
- 10 Kunde G J et al. Phys. Rev. Lett., 1996, **77**: 2897
- 11 Miller M L et al. Phys. Rev. Lett., 1999, **82**: 1399

- 12 XU H et al. Phys. Rev. Lett., 2000, **85**: 716; Tsang M B et al. Phys. Rev. Lett., 2001, **86**: 5023
- 13 Schroder W U et al. Nucl. Phys., 2001, **A681**: 418c
- 14 Sobotka L G et al. Phys. Rev., 1994, **C55**: R1272; 2000, **62**: 031603
- 15 Rami F et al. Phys. Rev. Lett., 2000, **84**: 1120
- 16 TAN W P et al. MSUCL-1198, Phys. Rev., 2001, C: to be published
- 17 Farine M, Sami T, Remaud B et al. Z. Phys., 1991, **339**: 363
- 18 Muller H, Serot B D. Phys. Rev., 1995, **C52**: 2072
- 19 LI B A et al. Phys. Rev. Lett., 1996, **76**: 4492; 1997, **78**: 1644; 2000, **85**: 4221
- 20 Kortmeyer G, Bauer W, Kunde G J. Phys. Rev., 1997, **C55**: 2730
- 21 Colonna M et al. Phys. Lett., 1998, **B428**: 1; Baran V et al. Nucl. Phys., 1998, **A632**: 287; Toro M D et al. Nucl. Phys., 2001, **A681**: 426c
- 22 PAN J, Gupta S D. Phys. Rev., 1998, **C57**: 1839
- 23 Chomaz P H, Gulminelli F. Phys. Lett., 1999, **B447**: 221
- 24 Hombach A et al. Eur. Phys. J., 1999, **A5**: 77
- 25 LIU J Y et al. Nucl. Phys., 2001, **A687**: 475
- 26 Klakow D, Welke G, Bauer W. Phys. Rev., 1993, **C48**: 1982
- 27 CHEN K, Fraenkel Z et al. Phys. Rev., 1968, **166**: 949
- 28 Aichelin J. Phys. Rep., 1991, **202**: 233; Hartnack Ch et al. Euro. J. Nucl. Phys., 1998, **A1**: 151
- 29 LI B A. Nucl. Phys., 2001, **A681**: 434c
- 30 Aichelin J et al. Phys. Rev. Lett., 1987, **58**: 1926
- 31 Aichelin J et al. Phys. Rev., 1988, **C37**: 2451
- 32 Reinhard P G et al. Computational Nuclear Physics, Springer-Verlag, Berlin, 1991, **1**: 28—50; Danielewicz, Nucl. Phys., 2000, **A673**: 375
- 33 Alkhozov G et al. Nucl. Phys., 1977, **A280**: 365
- 34 Bertsch G F, Gupta S D. Phys. Rep., 1988, **160**: 1991
- 35 Ngo C, Ngo H, Leray S et al. Phys. Rep., 1989, **A499**: 148
- 36 Miller M I, Bjarki O, Magestro D J et al. Phys. Rev. Lett., 1999, **82**: 1399
- 37 LI B A. Phys. Rev., 2001, **C64**: 054604
- 38 LI B A. Phys. Rev. Lett., 2000, **85**(20): 4221—4224
- 39 LIU H, LIU J Y. Z. Phys., 1996, **A345**: 311
- 40 Dorso C, Duarte S, Randrup J. Phys. Lett., 1987, **B188**: 287
- 41 LIU J Y, GUO W J, WANG S J et al. Phys. Rev. Lett., 2001, **86**(6): 975—978; YANG Y F, LIU J Y, ZUO W et al. Chin. Phys. Lett., 2001, **18**(8): 1040—1043
- 42 LIU J Y, ZHAO Q, WANG S J et al. Phys. Rev., 2001, **C63**: 054612
- 43 LI G O, Machleidt R. Phys. Rev., 1993, **C48**: 1702
- 44 LI G O, Machleidt R. Phys. Rev., 1994, **C49**: 566
- 45 LI Q F, LI Z X, MAO G J. Phys. Rev., 2000, **C62**: 62014606
- 46 Lolos G J et al. Phys. Rev. Lett., 1998, **80**: 241

- 47 Gale C, Bertsch G, Gupta S D. Phys. Rev., 1987, **C35**: 1666
48 Jaivir Singh, Suneel Kumar, Rajeev K. Puri. Phys. Rev., 2001, **C63**: 054603
49 Jaivir Singh, Suneel Kumar, Rajeev K. Puri. Phys. Rev., 2000, **C62**: 044617

Role of Momentum Dependent Interaction on the Isospin Effects of Fragmentations and Dissipations at Intermediate Energy Heavy Ion Collisions*

XING Yong-Zhong¹⁻³ LIU Jian-Ye^{1,2} GUO Wen-Jun² ZUO Wei^{1,2} LI Xi-Guo^{1,2}

1 (Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator, Lanzhou 730000, China)

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

3 (Department of Physics, Tianshui Normal College, Gansu Tianshui 741000, China)

Abstract Based on an isospin-dependent quantum molecular dynamics model, the role of the momentum dependent interaction (MDI) on the isospin effects of fragmentations and dissipations in the intermediate energy heavy ion collisions are studied. It was found that the values of the nuclear stopping, the number of nucleon emissions and the multiplicity of the intermediate mass fragments with MDI are larger than those without MDI. Especially the differences between those quantities with isospin dependent in-medium nucleon-nucleon cross section and those without the isospin independent in-medium nucleon-nucleon cross section (i.e., the isospin effect of in-medium nucleon-nucleon cross section) under MDI are also larger than those differences without MDI in the relative high energy region, which means that the momentum dependent interaction enhances the sensitivities of those quantities to the isospin effect of in-medium nucleon-nucleon cross section at the relative high beam energies.

Key words isospin effect, fragmentation, nucleon-nucleon cross section, momentum dependent interaction

* Supported by the Major State Basic Research Development Program (G2000077407), One Hundred Person Project of Chinese Academy of Sciences National Natural Science Foundation of China (10175080, 10004012), and The CAS Knowledge Innovation Project (KJCX2-SW-N02)