

文章编号: 1007-4627(2014) 03-0285-06

对称能密度依赖的输运理论模型研究中的一些问题的讨论

李祝霞

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘要: 本文非常简要地介绍了目前通过重离子碰撞中的对称能敏感观测量获取对称能密度依赖的研究现状, 讨论了在输运理论模型计算中可能引起计算结果的不确定性的几个问题。特别与目前广泛采用的输运理论模型计算相关的 3 个方面的问题, 即对称势动量依赖项和中子、质子有效质量劈裂; 不同电荷态 Δ 产生的阈能和相关截面的介质修正; 输运理论模型中的多体关联和涨落等的处理等问题。

关键词: 重离子核反应; 对称能; 输运理论模型

中图分类号: O571.6 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.31.03.285

1 引言

对称能密度依赖的研究目前已成为核物理研究的一个热点, 经过多年的努力, 已经提出了很多灵敏实验观测量, 并通过同位旋扩散、双中子/质子比、轻荷电粒子集体流、 π^-/π^+ 比, 核素质量, 巨偶极共振、矮偶极共振等核反应和核结构研究中的观测量的实验和理论分析, 以及利用核天体研究中的中子星的质量和半径的观测结果对对称能的密度依赖给出了约束。目前对低密区对称能密度依赖已得到了大致不矛盾的结论, 排除了超硬和超软的可能性^[1-7]。但是, 从定量上看, 不同的实验观测量与不同的理论模型计算所得到的低密区对称能密度依赖, 无论是对称能系数 S_0 , 还是梯度 L 的具体范围仍存在一定的分歧。这些分歧一方面来源于不同的实验观测量的测量精度, 另一方面来源于理论计算结果的模型依赖和现有模型(包括其程序设计中的细节考虑)本身存在的问题。对于高密区对称能密度依赖的研究, 现有的实验结果还比较少, 而基于现有的实验数据, 由不同的理论模型计算给出了极为不同的甚至相反的结论^[8-11], 引起很大的困惑。对于通过重离子碰撞中的对称能灵敏观测量的输运理论模型计算与实验结果比较, 获取对称能密度依赖所出现的分歧, 以及可能引起分歧的

原因本文将简要进行分析, 以下从三个方面讨论可能引起现有输运理论模型计算结果不确定(不精确)的来源。

2 对称势的动量依赖和质子、中子质量劈裂

首先给出有效质量 m^* 定义:

$$\begin{aligned} \frac{m^*}{m} &= 1 - \frac{d}{d\omega} \sum(k, \omega)_{E_v} \\ &= \left\{ 1 - \left[\frac{\partial}{\partial \omega} \sum(k, \omega) \right]_{\omega=E_v} \right\} \times \\ &\quad \left\{ 1 + \frac{m}{k} \left[\frac{\partial}{\partial k} \sum(k, \omega) \right]_{\omega=E_v} \right\}^{-1} \\ &= \frac{\bar{m}}{m} \cdot \frac{\tilde{m}}{m} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $\sum(k, \omega)$ 是质量算符, \bar{m}/m 和 \tilde{m}/m 分别定义为:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{m}}{m} &= 1 - \left[\frac{\partial}{\partial \omega} \sum(k, \omega) \right]_{\omega=E_v}, \\ \frac{\tilde{m}}{m} &= \left\{ 1 + \frac{m}{k} \left[\frac{\partial}{\partial \omega} \sum(k, \omega) \right]_{\omega=E_v} \right\}^{-1} \end{aligned} \quad (2)$$

分别称为 E -mass 和 k -mass。 E -mass 又称为单粒子强度函数, 以上公式中 m , k , ω 分别为核子质量、

收稿日期: 2013-09-17; 修改日期: 2013-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(11375062, 10905021, 10979023, 11275052); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2013CB834400)

作者简介: 李祝霞(1941-), 女, 浙江杭州人, 研究员, 从事理论核物理研究; E-mail: lizwux9@ciae.ac.cn.

动量和能量, E_ν 表示单粒子态 ν 的能量。质量算符至少应计算到二级以上才能给出 E -mass, 而计算 k -mass 只须计算到 Hartree-Fock(H-F) 项^[12]。下面只讨论到 H-F 项。显然, 在同位旋不对称介质中, 中子和质子的有效质量会不一样, 即出现质量劈裂。为了说明中子、质子质量劈裂与对称能动量相关项的关系, 我们以 Skyrme 能量密度泛函为例。

在 H-F 近似下, Skyrme 能量密度泛函可写为

$$H = \frac{\hbar^2}{2m} [\tau_p(r) + \tau_n(r)] + \frac{1}{4} t_0 [(2+x_0)\rho^2 - (2x_0+1)(\rho_p^2 + \rho_n^2)] + \frac{1}{24} t_3 \rho^\alpha [(2+x_3)\rho^2 - (2x_3+1)(\rho_p^2 + \rho_n^2)] + \frac{1}{8} [t_1(2+x_1) + t_2(2+x_2)] \tau \rho + \frac{1}{8} [t_2(2x_2+1) - t_1(2x_1+1)] (\tau_p \rho_p + \tau_n \rho_n), \quad (3)$$

式中, τ 为动能密度; $\tau = \tau_n + \tau_p$; ρ 为粒子数密度 $\rho = \rho_n + \rho_p$ 。

从 Skyrme 能量密度泛函可以得到有效质量为

$$\frac{\hbar^2}{2m_q^*} = \frac{\hbar^2}{2m_q} + \frac{1}{8} [t_1(2+x_1) + t_2(2+x_2)] \rho + \frac{1}{8} [t_2(2x_2+1) - t_1(2x_1+1)] \rho_q. \quad (4)$$

单粒子势为

$$U_q(r) = \frac{1}{2} t_0 [(2+x_0)\rho - (1+2x_0)\rho_q] + \frac{1}{24} t_3 \rho \left\{ (2+x_3)(2+\alpha)\rho^{\alpha+1} - (1+2x_3) \left[2\rho^\alpha \rho_q + \alpha\rho^{\alpha-1} (\rho_n^2 + \rho_p^2) \right] \right\} + \frac{1}{8} [t_1(2+x_1) + t_2(2+x_2)] \tau + \frac{1}{8} [t_2(2x_2+1) - t_1(2x_1+1)] \tau_q. \quad (5)$$

式(4)和(5)中的下标 q 为 n 或 p 。质量的修正项(有效质量)由能量密度泛函式(3)对动量的微分得到(见式(4)中的第2, 3项), 而对称势中的动量相关项则由能量密度泛函对密度的微分得到(见式(5)中的第3, 4项)。对比式(4)和(5)的最后两项, 可以发现其系数完全一样, 即有效质量劈裂和对称势的动量相关项都来源于能量密度泛函式(3)中的第4, 5项, 它们同时都依赖于密度和动量。可以看出, 对称势动量相关项

的完全和严格确定与有效质量劈裂的确定应是自洽的、分不开的。目前, 对称势的动量相关项和有效质量劈裂尚缺乏可靠的约束。

Xu 等^[13]通过核子普适光学势同时获得在饱和和密度处($k = k_f$)对称能系数和梯度, 以及中子、质子质量劈裂分别是 $E_{\text{sym}}(\rho_0) = 31.3$ MeV, $L(\rho_0) = 52.7$ MeV, $m_n^* - m_p^* = 0.32\delta$, 此处 δ 是同位旋不对称度。除了核子普适光学势本身有较大不确定性会造成对称能和中子、质子质量劈裂的不确定需进一步工作之外, 为了获得对称势的密度依赖的更确切知识, 对在饱和密度以外密度区中子、质子的质量劈裂的行为的研究显然也很重要。对于对称能的密度依赖目前已经做了大量的研究, 但不确定性仍比较大, 尤其在高密区。而对中子、质子的质量劈裂在饱和密度外的行为的研究目前还比较少, 虽有一些研究, 但缺乏与实验观测量的比较。龙文辉等^[14]基于密度相关的相对论 H-F Approach 计算, 给出有效质量劈裂与中子、质子不对称度和单粒子能量的关系, 其结果表明有效质量是动量和能量的函数, 在低能时 $m_n^* > m_p^*$, 当能量升高时, m_n^* 下降, m_p^* 变化不大, 因而, 在达到一定能量时成为 $m_p^* > m_n^*$ 。重离子碰撞中随入射能量的升高, 考虑核子的能量和动量的变化, 中子和质子质量劈裂的情况有可能随之变化, 出射粒子(包括轻荷电粒子)能谱可能反映这个变化。目前, 对中子、质子的质量劈裂相应的灵敏观测量, 以及通过与实验测量结果比较, 得到的相应的约束十分缺乏。最近, 张英逊等^[15]进一步更新了 ImQMD 程序, 完整引入 Skyrme 能量密度泛函中的动量相关项, 以便寻找对对称能和中子、质子的质量劈裂的灵敏观测量。他采用 SLy4, SKI2, SkM* 和 Gs 等四组 Skyrme 力参数。由这四组 Skyrme 力参数给出的核态方程的压缩系数 K_0 都很接近, 而对称能梯度和有效质量劈裂则不相同。其中, SLy4 和 SkM* 给出的 L 都为 46 MeV, 而 SKI2 和 Gs 的 L 很相近, 分别为 104 和 96 MeV。由 SLy4, SKI2 给出饱和密度处 $m_p^* > m_n^*$, 而 SkM* 和 Gs 均有 $m_n^* > m_p^*$ 。采用这四组 Skyrme 力参数分别计算了入射能量为 50 MeV/u $^{124}\text{Sn} + ^{124}\text{Sn}$ 和 $^{112}\text{Sn} + ^{112}\text{Sn}$ 反应中出射中子/质子产额比 $y(n)/y(p)$, 以及 $^{124}\text{Sn} + ^{124}\text{Sn}$ 和 $^{112}\text{Sn} + ^{112}\text{Sn}$ 反应的双出射中子/质子产额比 $DR(n/p)$ 的能谱, $DR(n/p) =$

$[y(n)/y(p)_{124\text{Sn}+124\text{Sn}}]/[y(n)/y(p)_{112\text{Sn}+112\text{Sn}}]$ 。同时还分析了同位旋扩散 $R_i = (2X - X_{AA} - X_{BB}) / (X_{AA} - X_{BB})$, 这里 X 是指一个同位旋灵敏观测量, 下标 A 和 B 分别指 ^{124}Sn 和 ^{112}Sn , X_{AA} 和 X_{BB} 分别指 $^{124}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$ 反应和 $^{112}\text{Sn}+^{112}\text{Sn}$ 反应的观测量结果, X 指 $^{124}\text{Sn}+^{112}\text{Sn}$ ($^{112}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$) 反应中的同位旋灵敏观测量, 因此, 为了得到同位旋扩散 R_i , 需同时得到 3 个反应体系的同位旋灵敏观测量的值。图 1(a) 分别给出采用 SLy4, SkI2, SkM* 和 Gs 得

到的 R_i 计算结果, 图 1(b) 给出采用 SLy4, SkI2, SkM* 和 Gs 得到的 R_i 的快度分布, 不同线型(颜色) Skyrme 力计算的结果, 可以明显看出 R_i 对对称能的密度依赖灵敏, 但对质量劈裂不灵敏。这是由于 R_i 与中子、质子的扩散有关, 主要受对称势的影响而受影响较弱。图 2 给出 $y(n)/y(p)$ 和 DR(n/p) 能谱, 很显然, $^{124}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$ 的 $y(n)/y(p)$ 和 DR(n/p) 能谱的低能区对质量劈裂不很灵敏, 但高能部分对质量劈裂很灵敏。

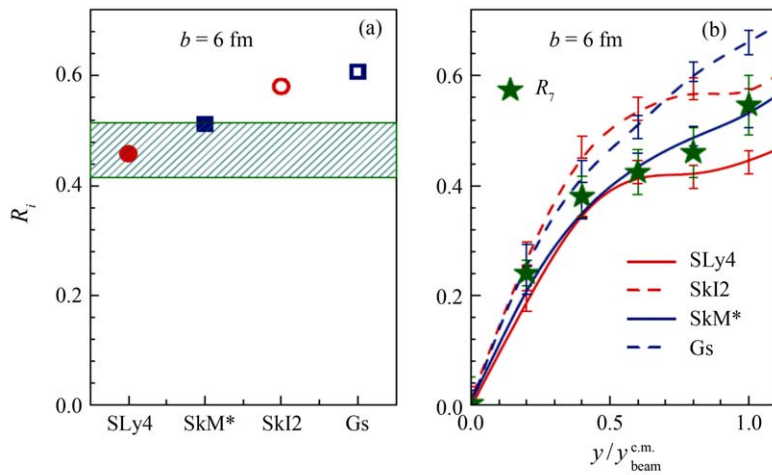


图 1 (在线彩图) 50 MeV/u $^{124}\text{Sn}+^{112}\text{Sn}$ 反应同位旋扩散 R_i (a) 和 R_i 快度分布 (b)

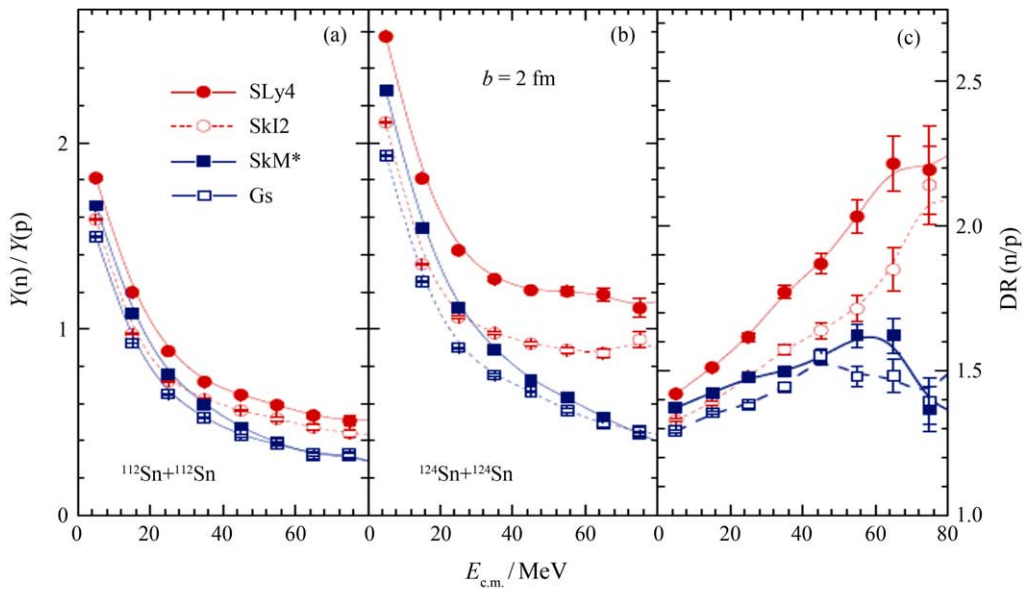


图 2 (在线彩图) 50 MeV/u $^{112}\text{Sn}+^{112}\text{Sn}$ (a), $^{124}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$ (b) 反应出射中子/质子产额比 $y(n)/y(p)$ 的能谱及 $^{124}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$ $^{112}\text{Sn}+^{112}\text{Sn}$ 的双中子/质子比 DR(n/p) 的能谱 (c)

图 2 显示质子、中子质量劈裂对出射中子/质子比有明显影响, 这是由于中子、质子有效质量不同会直接影响中子和质子的动能, 从而影响出射中子、质子的数量。当改变入射能量时, DR(n/p) 能谱计算还表明, 当入射能量增加到 200~300 MeV/u 对质量劈裂的灵敏度达到最大。相关的实验数据将有可能揭示有效质量劈裂在不同入射能量时的变化。

总之, 中子、质子质量劈裂的灵敏实验观测的研究还比较缺乏, 相应的实验数据更缺乏, 进一步寻找灵敏实验观测和更多的实验数据是十分必要的。实际上, 约束中子、质子质量劈裂即约束对称能的动量相关项对于精确确定非对称核物质物态方程是十分重要的。

3 Δ 产生阈能、截面介质修正的同位旋依赖

目前提出的高密区对称能的密度依赖的灵敏观测包括重离子碰撞中产物的 π^-/π^+ , k^-/k^+ 产额比和质子、中子集体流等。在输运理论模型中不同电荷 π 和 k 介子产生的计算中离不开 Δ 的产生、输运和衰变。因此, π^-/π^+ , k^-/k^+ 的计算结果与不同电荷态 $\Delta(\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^-, \Delta^0)$ 的产生阈能、截面以及它们在同位旋非对称核介质中的性质紧密相关。

首先是非对称核介质中的相关两体截面的计算, 包括以下截面:

$$NN \leftrightarrow N\Delta, \quad NN \leftrightarrow NN^*, \quad NN \leftrightarrow \Delta\Delta,$$

$$\Delta \leftrightarrow N\pi, \quad N^* \leftrightarrow N\pi, \quad NN \leftrightarrow NN\pi(s\text{-state}).$$

其中, $NN \leftrightarrow N\Delta$ 包括

$$p+p \rightarrow n+\Delta^{++},$$

$$p+p \rightarrow p+\Delta^+,$$

$$n+p \rightarrow n+\Delta^+,$$

$$n+p \rightarrow p+\Delta^0,$$

$$n+n \rightarrow n+\Delta^0,$$

$$n+n \rightarrow p+\Delta^-$$

等。在文献[16-18]中基于推广的量子强子动力学模型(extended QHD), 采用闭合时间回路格林函数方法, 计算了反应道 $NN \leftrightarrow N\Delta$, $NN \leftrightarrow NN^*$, $NN \leftrightarrow$

$\Delta\Delta$ 的介质中截面, 表明截面在介质中有明显的修正, 但是, 在文献[16-18]中并没有考虑 Δ 的不同电荷态在同位旋非对称介质中的修正, 当考虑同位旋效应时, 截面的介质修正目前尚没有看到有关的计算, 也不清楚到底是否重要。文献[16-18]中采用的闭合时间回路格林函数可直接应用于计算不同电荷态 Δ 在非对称核介质中的截面修正。

其次是 Δ 产生的阈能问题, 由于在同位旋不对称介质中, 质子、中子、不同电荷 Δ 有效质量的修正以及自能项等都会依赖于介质的同位旋不对称度和介质密度等, 从而影响各 Δ 产生道的阈能。在文献[19]以及该文中引用的文献对此问题也有提及。以 $nn \rightarrow p\Delta^-$ 为例, $\sqrt{S_{th}} = m_p^* + m_{\Delta^-}^* + \Sigma_0(p) + \Sigma_0(\Delta^-)$ 。由于同位旋不对称介质对不同电荷态的性质的修正不同, 即同位旋不对称介质中 $m_{\Delta^-}^*$ 和 $\Sigma_0(\Delta^-)$ 会不同于其他的 Δ 电荷态。从而影响不同电荷态的 Δ 产生的阈能, 最终影响在输运模型计算中的 Δ 产生。基于 extended QHD 模型初步计算表明在由核子和 Δ (考虑同位旋自由度) 组成的物质中, 由于不同电荷态 Δ 的性质在介质中的修正不同造成出现不同电荷 Δ 态的比依赖于密度与同位旋不对称度。最后, Δ 的衰变 ($\Delta \rightarrow N\pi$) 宽度在同位旋不对称介质中的修正问题也值得考虑。不同电荷态 Δ 的衰变宽度在同位旋不对称介质中修正很可能不一样, 同时还与不同电荷的 π 的谱函数有关, 在输运理论模型描写中, Δ 产生和衰变的过程会进行多次, 其介质修正效应目前研究得不够, 继续深入研究是非常有必要的。

4 多体关联和涨落效应及其他

经过多年对对称能的密度依赖的研究, 目前在低密区, 尽管从定量上看, 从不同的实验观测与理论计算比较所抽取的对称能密度依赖, 无论是对称能系数 S_0 还是梯度 L 仍存在不少分歧, 但得到了大致不矛盾的结论, 排除了超硬和超软的可能性。但是, 在高密区情况变得十分复杂。对同一个 π^-/π^+ 产额比的实验数据(FOPI/GSI) 不同输运理论模型(程序包)分析却得到截然不同的超软或超硬的高密区对称能密度依赖行为^[8-10]。此外, UrQMD 模型计算, 在充分考虑了实验条件后对 FOPI/LAND 组的轻碎片椭圆流做了分析, 发现对称能在高密区的密

度依赖和低密区对称能的密度依赖形式大致一致, 没有大的冲突^[11]。为了理清原因所在, 这里分析利用 π^-/π^+ (FOPI/GSI) 实验数据获取高密区对称能密度依赖的3个不同的研究工作^[8-10]。首先对其采用的平均场部分或核态方程部分及 π 产生相关的截面部分进行比较。文献[8]采用IBUU(04), 其平均场部分是根据Gogny有效相互作用的H-F计算得的平均场形式进行参数化得到的, 其中包括动量相关的对称势, 文中没有提及有关 π 产生的截面处理, 通过与FOPI/GSI π^-/π^+ 产额比实验结果比较, 发现仅当采用超软对称能时才能较好重现实验结果。文献[9]采用LQMD, 相互作用采用Skyrme能量密度泛函, 没有动量相关对称势, 有关 π 产生的截面处理是按照文献[20]计算的。结果表明, 仅当采用超硬对称能时才能较好地重现实验结果。文献[10]采用BL模型, 该模型是在BUU基础上加随机项构成。采用了与文献[9]一样的Skyrme能量密度泛函, 没有动量相关对称势。有关 π 产生的截面处理也与文献[9]一样。然而, 其计算结果却与文献[8]一致而与文献[9]不一样。比较这三项研究工作, 我们觉得很困惑, 在用输运理论模型分析实验结果时, 除了核子相互作用, 两体截面包括有关 π 产生的截面等主要物理输入不同即相关性, 这种物理输入量不同引起的观测量计算结果的差别外, 还与具体采用模型(程序)有如此大的相关性, 这种由模型(程序)不同引起的有关(我们想要获得的)物理信息的不确定性, 真的超出由核子相互作用、两体截面等这些物理输入的不同, 引起最终结果(所需物理信息)的不确定性吗? 这需要对不同模型的差别进行更加深入的研究。

目前, 用得最多的微观输运理论模型包括BUU和QMD两大类, 这两类模型存在一些基本的差别, 也许也是影响计算结果的因素之一。BUU方程是TDHF方程的经典极限+碰撞项, 通常采用试验粒子方法求解。在平均场近似下, 多体关联和涨落在很大程度上被减弱了。在QMD模型中, 每个核子的波函数采用在相空间定域的高斯波包(满足测不准关系), 多体波函数由直接乘积得到, 通过变分得到多体波函数的运动方程。在以上近似下该模型处理了多体问题, 而不必引入平均场近似。文献[21]的研究指出对单体观测量两种模型给出大致一致的结果。对输

运模型中的多体关联和涨落问题曾经引起过一些讨论, 最近, 又引起了注意, 例如在文献[22]中对这一问题进行了一些讨论。这可能是与最近的重离子反应的实验和理论研究进展有关。我们知道, 绝大多数实验观测量与成团过程直接或间接有关, 而成团过程与多体关联和涨落直接有关。因此, 实验观测量的计算结果很可能与模型中多体关联和涨落的处理相关。文献[23]指出有限温度核物质的成团化效应和结团性质对低密度态方程研究是至关重要的。在最近对于熔合反应的研究中发现^[24], 在低能重离子熔合反应中多体关联和涨落也起了很重要的作用。正是由于考虑多体关联和涨落的重要性, 最近的TDHF计算中也开始引入涨落效应。因此个人觉得, 花一点时间来考虑如何在BUU或QMD模型中正确处理多体关联和涨落问题, 搞清楚它们会对观测量的计算带来多大的影响是很有必要的。

此外, 目前大家应用的BUU和QMD模型由于目的不同, 经过多人多次修改已有很多不同程序版本, 这些不同的程序(程序包)在一些细节的处理上可能差别比较大(如对Pauli阻塞的不同处理), 有时会对结果产生明显的影响。对于对称能密度依赖这样一个小效应量的研究, 需要理论模型和实验测量足够精确, 更需要我们的理论模型和程序设计不断改进, 做到尽可能正确和完善, 在符合大量实验观测量的基础上, 才能得到比较可靠的对称能密度依赖的约束。

5 小结

本文对利用重离子碰撞中的灵敏观测量获取对称能密度依赖约束的现状进行了简要分析, 为了进一步缩小对称能密度依赖约束范围, 特别是缩小对高密区的对称能密度依赖的约束的分歧, 迫切需要提高微观输运理论计算结果的可靠性和精度。为此本文着重对目前微观输运理论模型计算中可能引起结果不确定的一些因素, 即对称能密度依赖和质子、中子的质量劈裂; Δ 产生阈能、截面介质修正的同位旋依赖; 多体关联和涨落效应以及程序相关的其他问题等进行了讨论。通过分析可以看出, 应对目前的输运理论模型和程序设计不断改进, 做到尽可能正确和完善, 在符合大量实验观测量的基础上才能得到比较可靠的包括高密区在内的对称能密度依赖的约束。

参考文献:

- [1] TSANG M B, ZHANG Yingxun, DANIELEWICZ P, *et al.* Phys Rev Lett, 2009, **102**: 122701.
- [2] ANDREA C, GIANLUCA C, ANGELA B, *et al.* Phys Rev C, 2010, **81**: 041301(R).
- [3] LI B A, CHEN L W, KO C M. Phys Rept, 2008, **464**: 113.
- [4] DANIELEWICZ P, LEE J. Nucl Phys A, 2009, **818**: 36.
- [5] CENTELLES M, ROCA-MAZA I X, VINAS I X, *et al.* Phys Rev Lett, 2009, **102**: 122502.
- [6] WIELAND O, BRACCO A, CAMERA F, *et al.* Phys Rev Lett, 2009, **102**: 092502.
- [7] LIU Min, WANG Ning, LI Zhuxia, *et al.* Phys Rev C, 2010, **82**: 064306.
- [8] XIAO Zhigang, Li Baoan, Chen Liewen, *et al.* Phys Rev Lett, 2009, **102**: 062502.
- [9] FENG Zhaoqing, JIN Genming. Phys Lett B, 2010, **140**: 683 .
- [10] XIE Wenjie, SU Jun, ZHU Long, *et al.* Phys Lett B, 2013, **718**: 1510.
- [11] RUSSOTTO P. WU P Z, ZORIC M, *et al.* Phys Lett B, 2011, **697**: 471.
- [12] LI Zhuxia, KLEMT V. Nucl Phys A, 1981, **93**: 364.
- [13] XU Chang, Li Baoan, Chen Liewen. Phys Rev C, 2010, **82**: 054607.
- [14] LONG Wenhui, van GIAI N, MENG Jie. Phys Lett B, 2006, **640**: 150.
- [15] ZHANG Yingxun, TSANG M B, LI Zhuxia, *et al.* Phys Lett B, 2014, **732**: 186.
- [16] MAO Guangjun, LI Zhuxia, ZHUO Yizhong, *et al.* Phys Rev C, 1997, **55**: 792.
- [17] MAO Guangjun, LI Zhuxia, ZHUO Yizhong. Phys Rev C, 1996, **53**: 2933.
- [18] MAO Guangjun, NEISE L, STÖCKER H, *et al.* Phys Rev C, 1998, **57**: 1938.
- [19] TORO M D, BARAN V, COLONNA M. J Phys. G: Nucl Part Phys, 2010, **37**: 083101.
- [20] HUBER S, AICHELIN J. Nucl Phys A, 1994, **573**: 587.
- [21] AICHELIN J A, HARTNACH C, BOHNET A, *et al.* Phys Lett B, 1989, **224**: 34.
- [22] PAPA M. Phys Rev C, 2013, **87**: 014001 .
- [23] NATOWITZ J. B, RÖPKE G, TYPEL S, *et al.* Phys Rev Lett, 2010, **111**: 012501.
- [24] WEN Kai, FUMIHIKO S, LI Zhuxia, *et al.* Phys Rev Lett, 2013, **111**: 012501 .

A Discussion on the Problems in the Study of the Density Dependence of the Symmetry Energy with Transport Models

LI Zhuxia¹⁾

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract: This article briefly discusses the deviations appeared in the constraints on the density dependence of the symmetry energy obtained from the sensitive observables in the heavy ion collisions. The problems which possibly influence the constraints obtained from the comparison between the transport model calculations and experimental measurement of isospin sensitive observables are discussed. The three problems: (1) The momentum dependent part of symmetry potential and the neutron, proton effective mass splitting, (2) The isospin dependence of the medium correction of the thresholds and cross sections for different charged Δ production, (3) Many-body correlation and fluctuation treatment in transport model and other things in the transport model codes are discussed in more detail for the reference of the colleagues with common interest in nuclear community.

Key words: heavy ion collision; symmetry energy; transport model

Received date: 17 Sep. 2013; **Revised date:** 28 Sep. 2013

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(11375062, 10905021, 10979023, 11275052); National Basic Research Program of China(973 Program)(2013CB834400)

1) E-mail: lizwux9@ciae.ac.cn.

<http://www.npr.ac.cn>