

厚德博学 止于至善

Welcome to Henan Normal University

第十五届全国核结构大会-桂林

2014.10.24-28

对称能同质异位素产额比观测方法

马春旺

machunwang@126.com

河南师范大学粒子物理与原子核物理研究所

报告提纲

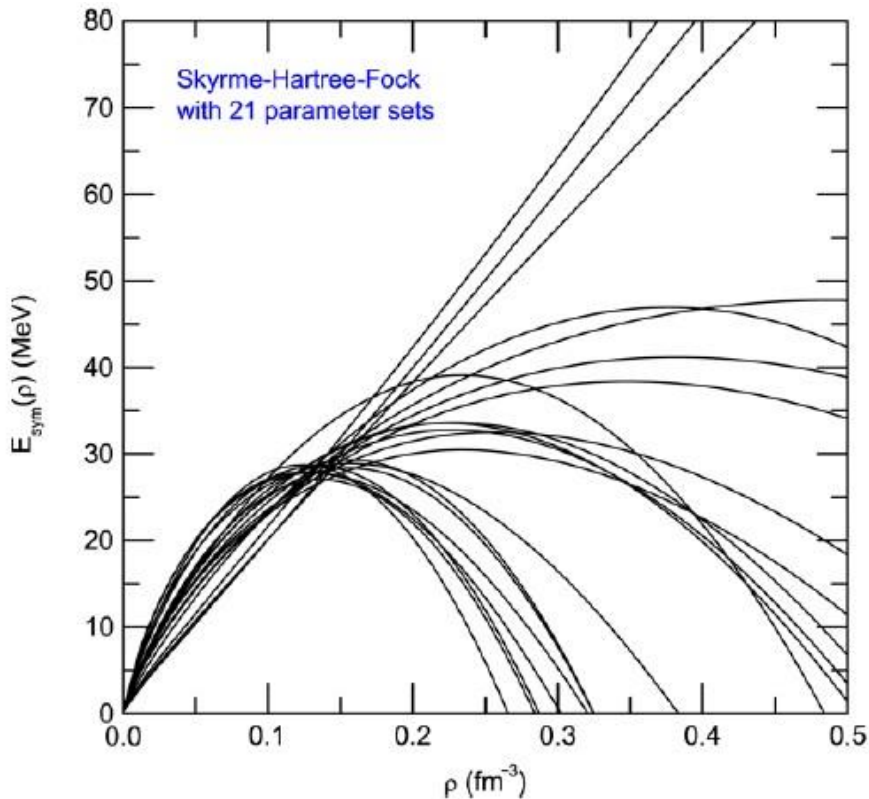
- * 背景和动机
- * IBD方法简介
- * 结果和讨论
- * 总结

1. 背景和动机

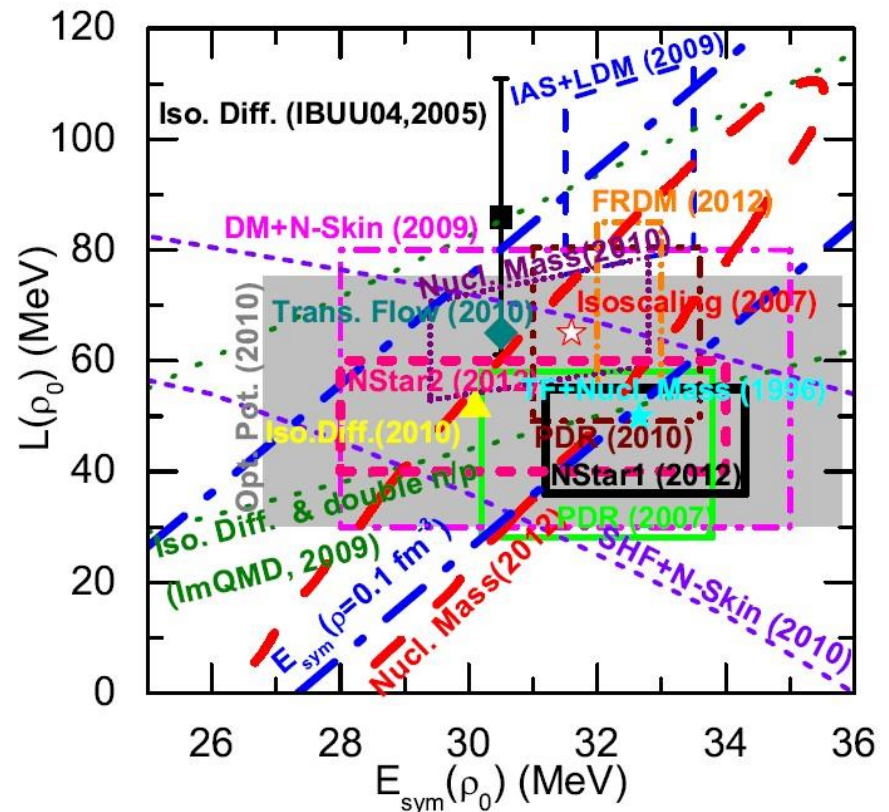
- * 对称能是当前核物理研究的一个重要问题
- * 对称能依赖于温度和密度，理论研究核实验研究具有困难
- * 重离子核反应中，可产生从亚饱和密度到超饱和密度的核物质，使得重离子核反应成为研究对称能的重要实验方法
- * 对称能或者核物质密度不能从实验上直接测量，均需要通过间接观测量提取。比如通过余核产额等

1. 背景和动机

* 复杂的对称能——理论和实验两方面的结果



BA Li et al. PR464(2008)113



LW Chen, arXiv1212.0284(2012)[nucl-th]

1. 背景和动机

- * 对称能对温度和密度的复杂依赖关系，使得理论和实验研究均具有困难，不同的观测结果之间有较大差异。
- * 目前，提出可靠的实验观测量，仍然是研究核对称能的重要任务。

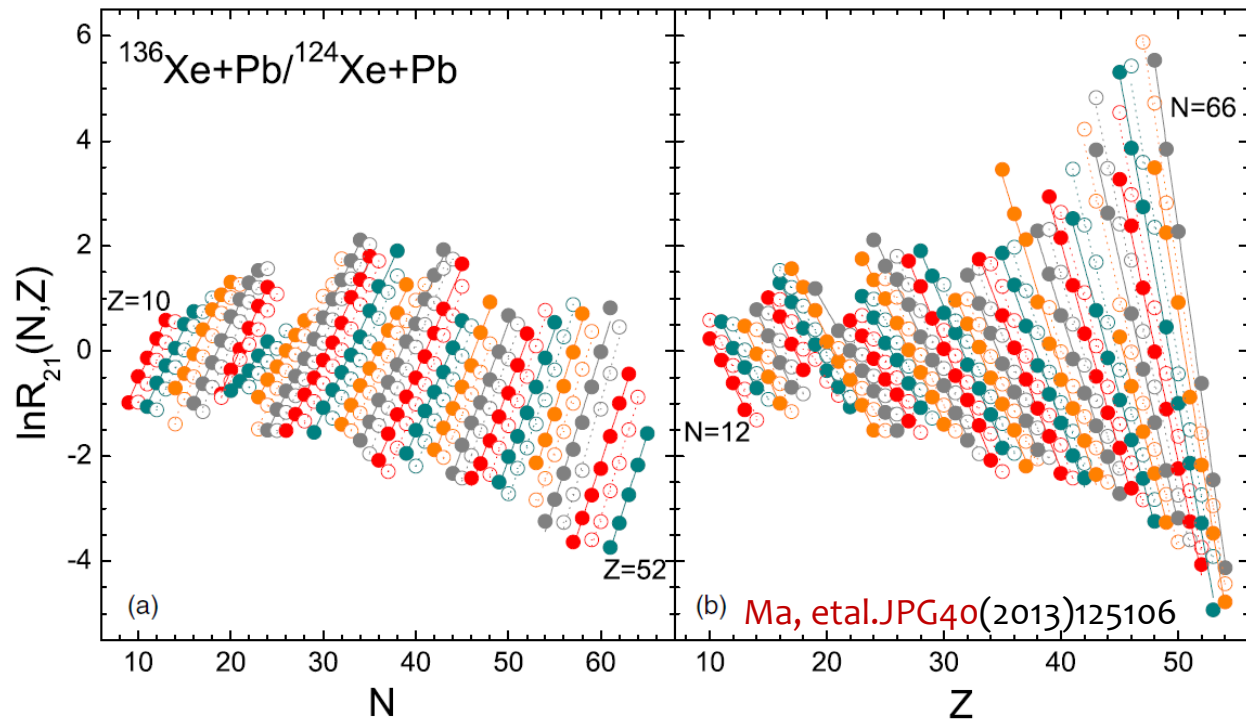
2. IBD 方法

- * 在研究对称能的诸多观测量中，同位旋标度方法是一种研究亚饱和密度核物质对称能的重要方法
- * 同位旋标度：两个类似反应同位素（同中子素）产额比的标度现象
- * 同位旋标度现象在理论和实验中均得到了证实

$$* R = y_2(N, Z) / y_1(N, Z) \\ = C \exp(\alpha N + \beta Z)$$

$$* \alpha = (\mu_{n2} - \mu_{n1}) / T \\ = \frac{\Delta \mu_{n21}}{T};$$

$$* \beta = (\mu_{p2} - \mu_{p1}) / T \\ = \frac{\Delta \mu_{p21}}{T};$$



2. IBD 方法

- * 类似与同位旋标度，在单个反应中定义同质异位素产额比 (Isobaric yield ratio, IYR)
- * $R = y(A, I+2)/y(A, I)$,
 - * y 和 A : 截面和质量数
 - * $I = N - Z$ 中子剩余度
 - * $y(A, I) = CA^\tau \exp\{[F(A, I) + N\mu_n + Z\mu_p]/T\}$
- * $R = \exp\{[F(A, I + 2) - F(A, I) + \mu_n - \mu_p]/T\}$
- * 截面中系统依赖项 CA^τ 取消。
- * 在巨正则理论和修改的Fisher模型中有类似的结果。

2. IBD 方法

* 从IYR开始

$$* R = \exp\{[F(A, I + 2) - F(A, I) + \mu_n - \mu_p] / T\}$$

$$* \ln R = [\Delta F(A, I + 2, I, A) + \Delta\mu_{np}] / T$$

$$* \Delta\mu_{np} = \mu_n - \mu_p$$

* 在两个反应中，定义IYR的差，即 IBD，

$$\begin{aligned} * \Delta_{21} \ln R &= \frac{[(\mu_{np})_2 - (\mu_{np})_1]}{T} \\ &= \frac{[\mu_{n2} - \mu_{n1} - (\mu_{p2} - \mu_{p1})]}{T} = \frac{\Delta\mu_{n21} - \Delta\mu_{p21}}{T} \end{aligned}$$

2. IBD 方法

- * 同位旋标度方法和IBD方法均与化学势差相关,
- * $\alpha = (\mu_{n2} - \mu_{n1})/T = \Delta\mu_{n21}/T;$
- * $\beta = (\mu_{p2} - \mu_{p1})/T = \Delta\mu_{p21}/T;$
- * IBD 和同位旋标度方法结果的关系为:
 - * $\Delta_{21} \ln R = \frac{\Delta\mu_{n21} - \Delta\mu_{p21}}{T} = \alpha - \beta$

2. IBD 方法

化学势与密度

- * $\alpha = \ln\rho_{n2} - \ln\rho_{n1};$

反映中子密度差

- * $\beta = \ln\rho_{p2} - \ln\rho_{p1};$

反映质子密度差

- * 反映了系统的密度差异

- * 在IBD结果中,

E. Geraci et al., Nucl. Phys. A 732, 173 (2004).

- *
$$\begin{aligned}\Delta_{21}\ln R &= \alpha - \beta = \ln\rho_{n2} - \ln\rho_{n1} - (\ln\rho_{p2} - \ln\rho_{p1}) \\ &= \Delta(\ln\rho_n)_{21} - \Delta(\ln\rho_p)_{21} \\ &= \ln\rho_{n2} - \ln\rho_{p1} - (\ln\rho_{n1} - \ln\rho_{p1}) \\ &= \Delta(\ln\rho_{np})_2 - \Delta(\ln\rho_{np})_1\end{aligned}$$

与同位旋标度方法相比，IBD方法的结果不经过中间提取，因此其结果更接近真实情况。

2. IBD 方法

化学势与密度

* 进一步的，在IBD方法中，

$$* \Delta_{21} \ln R = \alpha - \beta = \ln \rho_{n2} - \ln \rho_{n1} - (\ln \rho_{p2} - \ln \rho_{p1})$$

$$\begin{aligned} \textcircled{1} &= \Delta(\ln \rho_n)_{21} - \Delta(\ln \rho_p)_{21} \\ &= \ln \rho_{n2} - \ln \rho_{p1} - (\ln \rho_{n1} - \ln \rho_{p1}) \\ \textcircled{2} &= \Delta(\ln \rho_{np})_2 - \Delta(\ln \rho_{np})_1 \end{aligned}$$

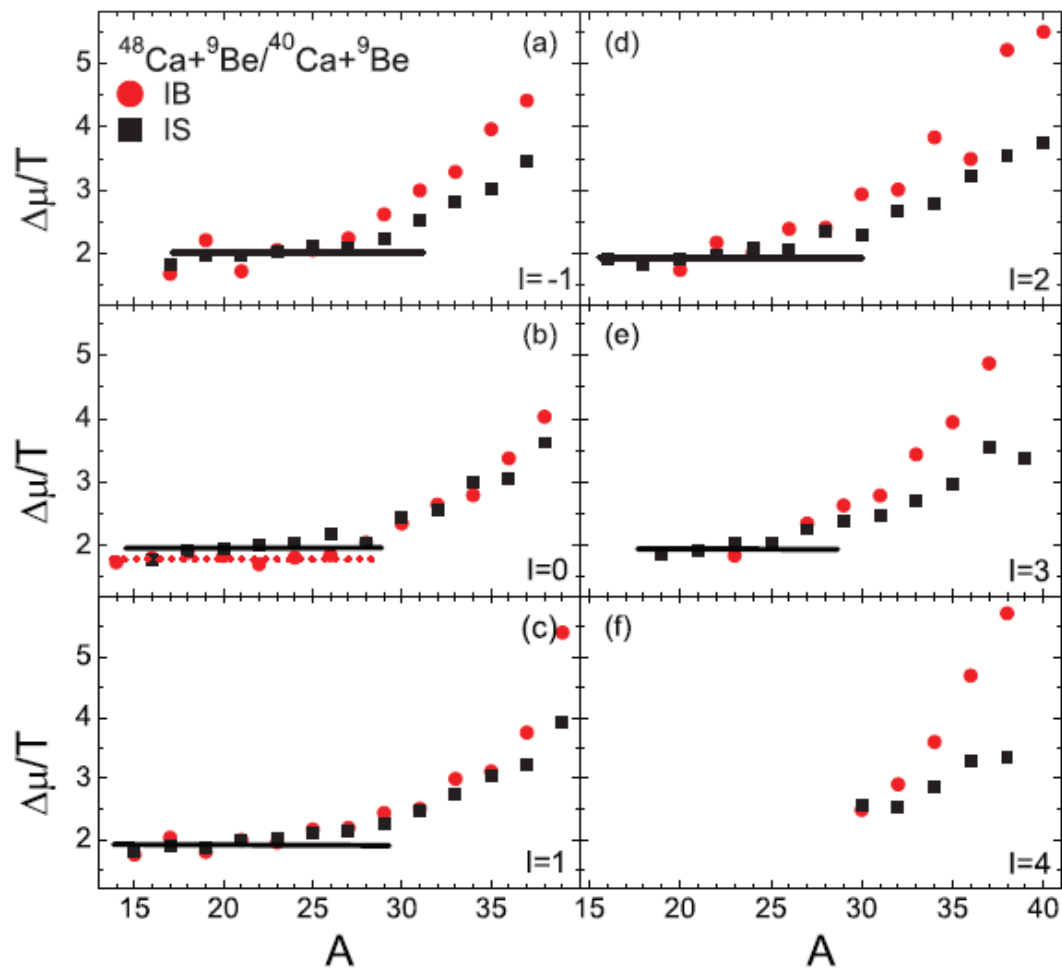
1. 如果中子密度差异可以忽略，IBD的结果反映系统的中子密度差异 (**isotopic projectiles**);
2. 如果系统1中中子和质子密度差异可以忽略，IBD 反映系统2中的中子和质子密度差异 (**reaction 1, symmetric projectile**);
3. 实际上，质子密度较容易测量，方便对中子密度的研究。
4. 理论上，IBD 方法在HIC中是密度的敏感观测量。

3. 结果与讨论

- * IBD方法和同位旋标度结果的比较
- * 140A MeV 炮弹碎裂反应
- * $^{40}\text{Ca} + ^9\text{Be}$ (symmetric projectile)
- * $^{48}\text{Ca} + ^9\text{Be}$ (neutron-rich projectile)
- * $^{58}\text{Ni} + ^9\text{Be}$ (symmetric projectile)
- * $^{64}\text{Ni} + ^9\text{Be}$ (neutron-rich projectile)

3. 结果与讨论

- * $^{40,48}\text{Ca}$ reactions
- * 证明IBD同位旋标度方法结果相同 (除部分核外)

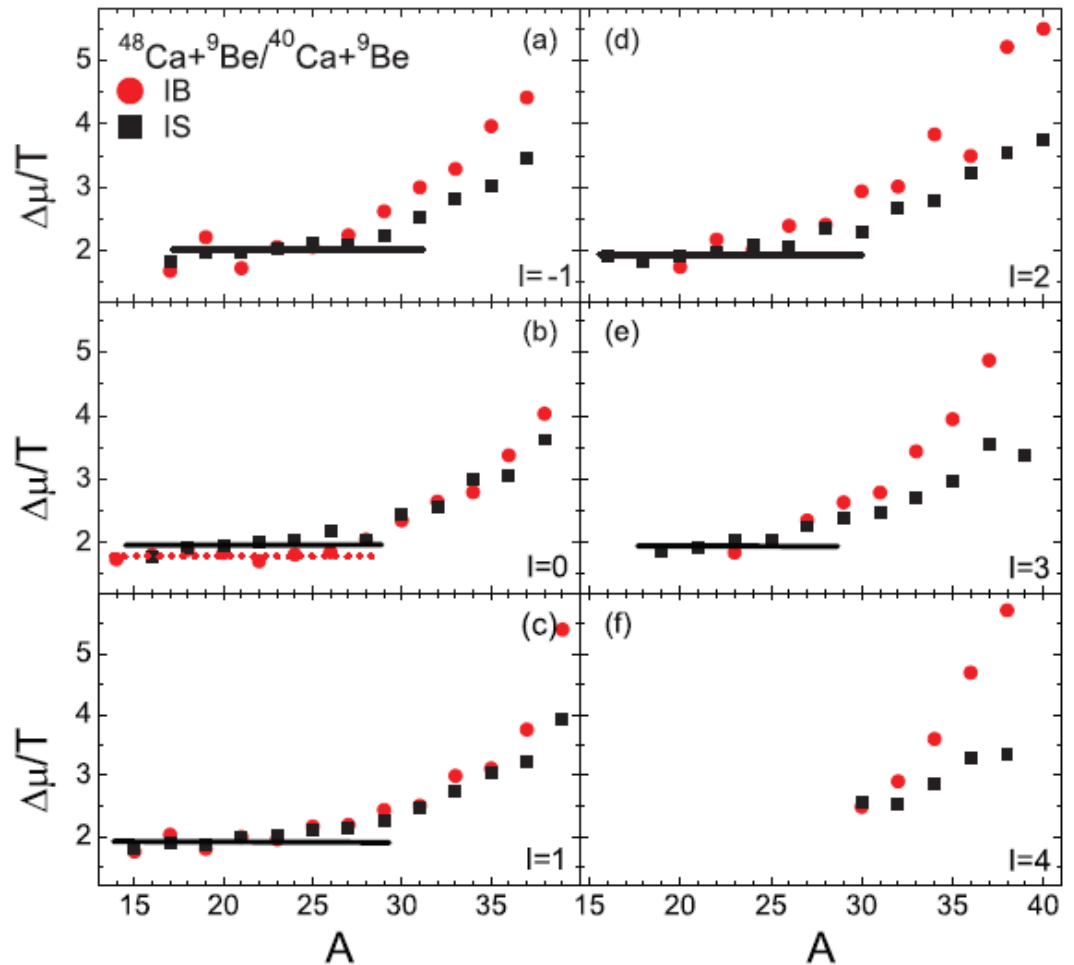


isotopic projectiles

3. 结果与讨论

- * $^{40,48}\text{Ca} + ^9\text{Be}$
- * IBD-平台 (lines)
- * $H \approx 2$
- * $\Delta_{21} \ln R$
 $= \Delta(\ln \rho_n)_{21} - \Delta(\ln \rho_p)_{21}$
- * 假设 $^{40,48}\text{Ca}$ 质子分布相近
- * $\Delta_{21} \ln R = \Delta(\ln \rho_n)_{21}$

标志中子密度差

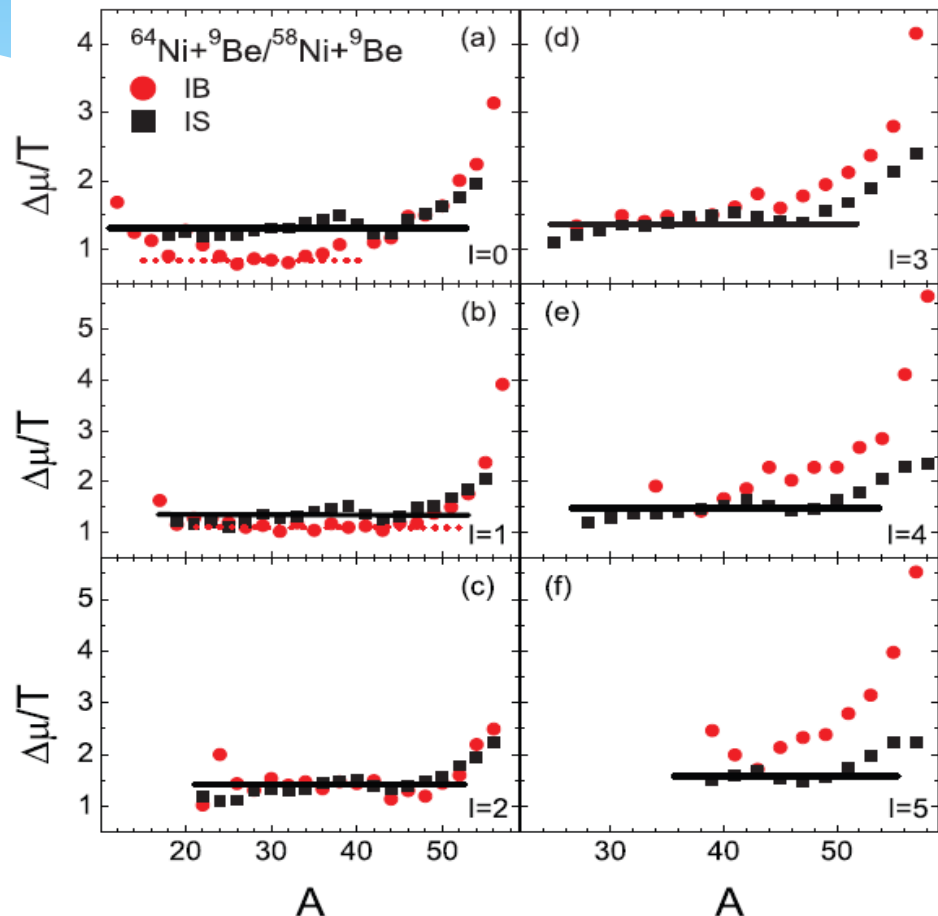


isotopic projectiles

3. 结果与讨论

- * $^{58,64}\text{Ni}$ reactions
- * IBD-平台 (lines)
- * $H \approx 1.4$
- * 假设 $^{58,64}\text{Ni}$ 质子密度相近
- * $\Delta_{21} \ln R = \Delta(\ln \rho_n)_{21}$

标志中子密度差异

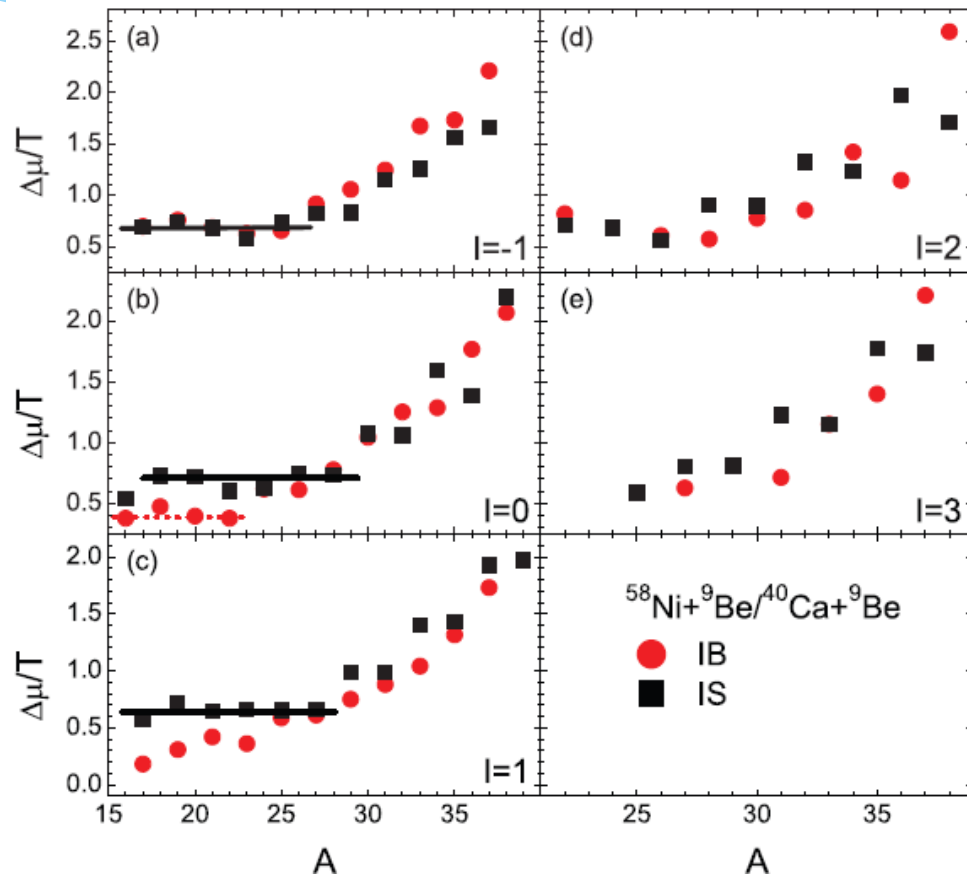


isotopic projectiles

3. 结果与讨论

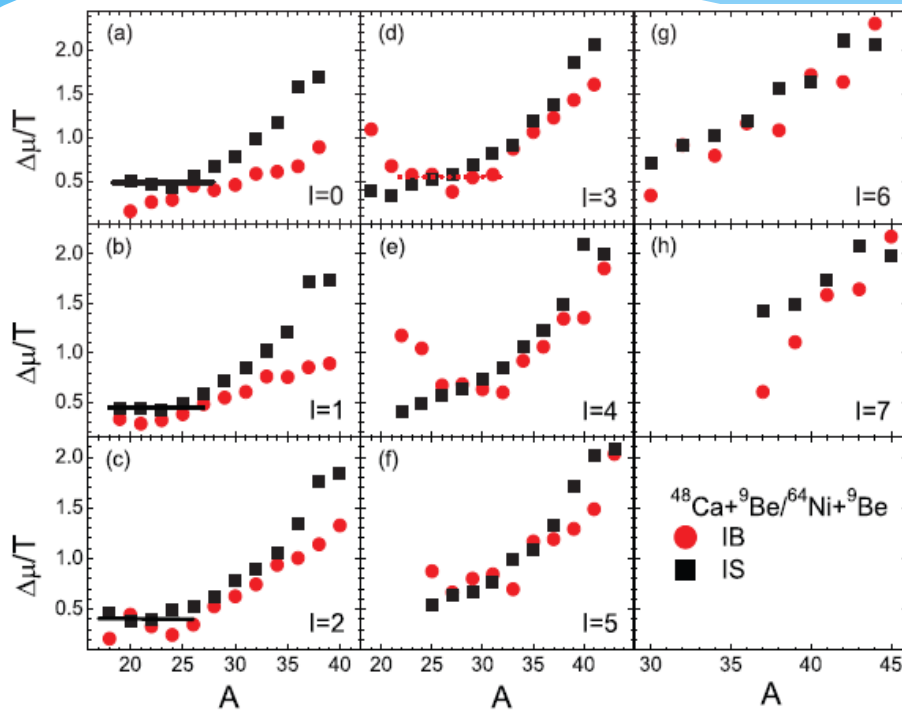
- * CA^τ 在IBD方法中消去,方便分析不同系统的结果
- * 对称炮弹体系
- * $^{58}\text{Ni}/^{40}\text{Ca}$ reactions
- * IBD-平台(lines)
- * $H \approx 0.3-0.7$
- * $\Delta_{21} \ln R = \Delta(\ln \rho_{np})_2 - \Delta(\ln \rho_{np})_1$

Difference between
Neutron and proton densities



symmetric projectiles

3. 结果与讨论



* 丰中子炮弹系统

* $^{48}\text{Ca}/^{64}\text{Ni}$ reactions

* IBD-平台 (lines)

* $H \approx 0.3-0.5$

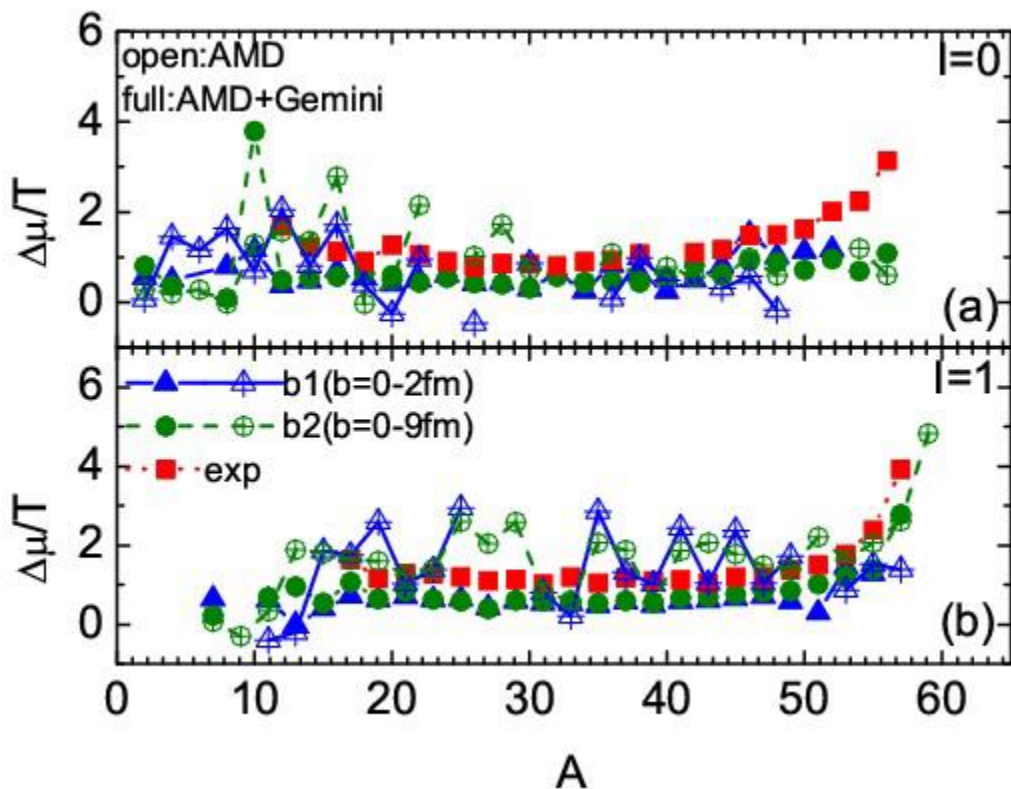
* $\Delta_{21} \ln R = \Delta(\ln \rho_{np})_2 - \Delta(\ln \rho_{np})_1$

* IBD 标志两个系统 $\Delta(\ln \rho_{np})$ 的差

Neutron-rich projectiles

3. 结果与讨论

- * AMD验证
- * AMD可以较好的符合实验结果，但相对AMD+gemini退激发的结果，实验值偏高。
- * 中心反应产物和全部反应产物结果趋势一致，差异不大
- * 退激发对结果影响较大



4. 总结

- * 理论上，IBD方法和同位旋标度方法结果相同，但IBD方法的结果不是通过拟合参数得到结果，而是从截面直接得到，更加接近真实值
- * 揭示了IBD结果同系统密度的关系。
- * IBD方法是密度的敏感观测量。
- * AMD理论计算结果与实验结果能较好符合，但是结果受退激发影响比较大。

更多讨论，请关注：

Ma C W, Wang S S, Zhang Y L, Wei H L, [PRC87, 034618 \(2013\)](#); [JPG 40 \(2013\) 125106](#);
C. W. Ma, J. Yu, X. M. Bai, Y. L. Zhang, H. L. Wei, S. S. Wang, [PRC 89, 057602 \(2014\)](#).
C.-W. Ma, X.-M. Bai, J. Yu, H.-L. Wei, [Eur. Phys. J. A 50, 139 \(2014\)](#).

* 成员

* 王闪闪，张艳丽，乔春源

谢谢关注！