

文章编号: 1007- 4627(2000)04-0210-02

$^9, ^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 近垒熔合*

刘祖华

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘要: 阐述了 $^9, ^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 近垒熔合反应研究的意义, 给出实验结果并讨论弹核破裂对近垒熔合反应截面的影响.

关键词: 晕核; 弹核破裂; 近垒熔合

中图分类号: O571.4 文献标识码: A

1 引言

由于晕核的奇异特性, 目前晕核的近垒熔合反应受到普遍关注. 理论上讨论最多的系统是 $^{11}\text{Li} + ^{208}\text{Pb}^{[1,2]}$. 首先, 由于中子晕的存在, ^{11}Li 的均方根半径比 $r_0 A^{1/3}$ 系统化值明显偏大, 因此熔合位垒降低, 熔合截面增大; 其次, ^{11}Li 可能存在软偶极共振, 入射道与软偶极共振激发的耦合使熔合位垒出现一个分布, 因而也会使近垒熔合截面增强. 但是晕核, 如 ^{11}Li , 易破裂. 关于晕核破裂对熔合截面的影响, 存在着完全相反的看法. 按不同的理论观点, 由于晕核破裂可能会使近垒熔合截面比一维位垒量子穿透预言增强^[1]或减小^[2]. 因此非常有必要在实验上作晕核近垒熔合激发曲线的精细测量, 以判断何种理论观点正确. ^{11}Be 是个中子晕核, 最后一个中子的结合能 $S_n = 0.503 \text{ MeV}$, 晕中子的结合很松散, 破裂几率大, 因此是研究破裂效应的理想系统. ^9Be 是个弱束缚核, 中子结合能 $S_n = 1.67 \text{ MeV}$, 也易破裂. 为了比较, 我们测量了 $^9, ^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 近垒熔合反应激发函数. 这是日本 RIKEN 和意大利 Padova 大学的合作研究项目. 中国原子能科学研究院的研究者参加了该项目的合作研究.

2 实验安排

$^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 实验在日本 RIKEN 进行. 100 MeV/u 的 ^{13}C 轰击 ^9Be 初级靶, 产生约 65 MeV/u 的 ^{11}Be 束流, 然后分别通过厚度为 6.1 mm 和 5.2 mm 的 Al 片, 得到能量约 45 MeV , 能量分散约 50% 的 ^{11}Be 束流. 实验中, ^{11}Be 能量用飞行时间逐一事件测量. ^{209}Bi 靶厚 $370 \mu\text{g/cm}^2$, 以 2.0 mg/cm^2 的

Kapton 膜为底衬, 以便停阻反应中产生的蒸发残余核. 在 135° 距靶 11 cm 处放置一灵敏面积 150 mm^2 的金硅面垒探测器, 测量从蒸发残余核发射的 α 粒子. 在 20° 方向置一金硅面垒探测器测量弹性散射, 并以 20° 角的 Rutherford 截面作归一. 在质心系能量 $35 \text{ MeV} \leq E_{c.m.} \leq 70 \text{ MeV}$ 范围内, 测量到了下列蒸发道: ($^{11}\text{Be}, 4n$) ^{216}Fr , $T_{1/2} = 700 \text{ ns}$, $E_\alpha = 9.0 \text{ MeV}$; ($^{11}\text{Be}, 5n$) ^{215}Fr , $T_{1/2} = 90 \text{ ns}$, $E_\alpha = 9.4 \text{ MeV}$. 其中 ($^{11}\text{Be}, 3n$) ^{217}Fr , $T_{1/2} = 22 \mu\text{s}$, 由于半衰期过长, 实验中未作测量.

$^9\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 实验在德国慕尼黑大学串行加速器上进行. ^{209}Bi 靶厚度为 $200 \mu\text{g/cm}^2$, 以 $150 \mu\text{g/cm}^2$ 厚的碳作底衬. 反冲的蒸发残余核停止在碳底衬内. 探测器的安排与 $^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 实验类同. 测量了下列蒸发道的 α 粒子发射: ($^9\text{Be}, 4n$) ^{214}Fr , $T_{1/2} = 5 \text{ ms}$, $E_\alpha = 8.5 \text{ MeV}$; ($^9\text{Be}, 3n$) ^{215}Fr , $T_{1/2} = 90 \text{ ns}$, $E_\alpha = 9.36 \text{ MeV}$ 和 ($^9\text{Be}, 2n$) ^{216}Fr , $T_{1/2} = 700 \text{ ns}$, $E_\alpha = 9.01 \text{ MeV}$. 实验以 0.5 MeV 为步长, 测量了质心系能量为 $36 \text{ MeV} \leq E_{c.m.} \leq 50 \text{ MeV}$ 的熔合反应蒸发残余各道的截面. 由各分道截面之和得熔合反应截面. 实验误差为统计误差.

3 结果与讨论

$^9, ^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 熔合反应截面如图 1 所示. 图中的空三角代表考虑裂变和 ($^{11}\text{Be}, 3n$) ^{217}Fr 蒸发残余道后可能的上下限. 图中的曲线代表耦合道计算. 其中虚线采用标准相互作用势, 实线用 M3Y 核子-核子相互作用下双折叠模型计算核相互作用势. 实验结果有两点值得注意. 耦合道计算结果表明, 在近垒和垒下能区, ^9Be 和 ^{11}Be 熔合截面有明显的差别.

* 收稿日期: 2000-02-31,

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19675071)

作者简介: 刘祖华(1940-), 男(汉族), 浙江舟山人, 研究员, 从事核裂变、放射性核束实验及晕核性研究.

由于 ^{11}Be 最后一个中子的晕结构, 预言的熔合截面应比 ^9Be 相应截面大一个数量级. 而 ^9Be , ^{11}Be 的实验熔合截面在近垒和垒下能区很接近. 其次耦合道计算结果与 ^{11}Be 的实验结果一致, 而 ^9Be 的实验截面在近垒和垒下明显高于理论预言.

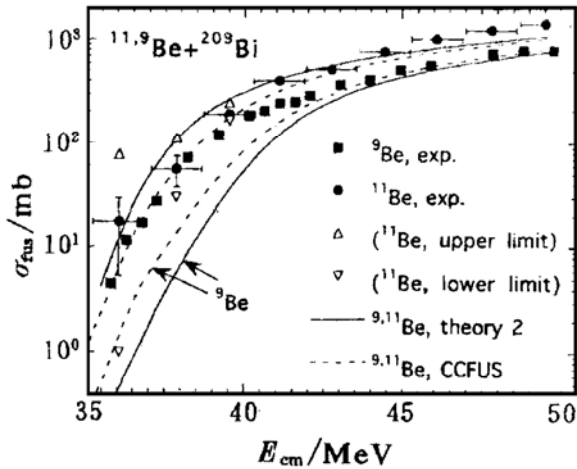


图1 $^9,^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 熔合实验与理论激发函数

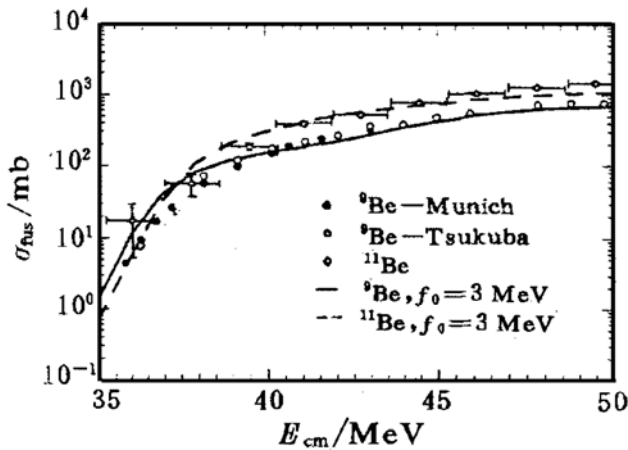


图2 考虑弹核破裂效应的耦合道模型计算的 $^9,^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 熔合激发函数与实验结果的比较

参 考 文 献:

[1] Dasso C H, Vitturi. Does the Presence of ^{11}Li Breakup Channels Reduce the Cross Section for Fusion Processes? *Phys Rev*, 1994, C50: R12- 14.

如前所述, 实验目的是研究中子晕核在碰撞过程中破裂对近垒熔合的影响. 以上耦合道计算中尚未考虑弹核破裂. Dasso 和 Vitturi 的耦合道处理^[1]中考虑了与破裂道的耦合. 我们用他们的理论处理对 ^9Be , $^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 熔合反应作了计算. 计算中用了图1中同样的折叠势, 与破裂道的耦合强度 f_0 作为可调参数. 图2是计算结果与实验截面的比较. 图中虚线和实线分别代表 $^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ ($f_0 = 0$) 和 $^9\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ ($f_0 = 3 \text{ MeV}$) 两反应系统的理论计算激发函数. 该结果出乎预料. 因对于 ^{11}Be , $f_0 = 0$ 表明破裂对熔合过程的影响可忽略. 而对于 ^9Be , $f_0 = 3 \text{ MeV}$ 时才能描写实验结果, 说明 ^9Be 破裂对近垒熔合有不可忽略的效应. 然而 ^{11}Be 的最后一个中子的结合能 $S_n = 0.502 \text{ MeV}$, 而 ^9Be , $S_n = 1.67 \text{ MeV}$, 显然 ^{11}Be 比 ^9Be 更易破裂, 如有破裂效应, $^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 系统应更明显. 可是实验结果却完全相反.

上述分歧的一个重要原因可能在于实验结果的某种不确定性. 由于众所周知的原因, 放射性束 ^{11}Be 的实验测量困难很大, 特别是实验中未测到 $(^{11}\text{Be}, 3n)^{217}\text{Fr}$ 道的截面. 而 Cascade 计算表明 $3n$ 道在近垒和垒下有可观的截面. 为了使 $^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 的实验结果更可靠, 合作组准备今年在日本 RIKEN 重做这一实验.

总之, 晕核近垒熔合反应是当前国际上核物理研究的热点之一. 一些国际上有名的实验室都在竞相作晕核熔合反应研究. 本文只介绍了 $^9,^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 近垒熔合的最近结果. 由于放射性核熔合反应实验的难度, 虽则各国实验家们作了大量努力, 至今尚未就晕核破裂效应作出明确的结论.

Near-barrier Fusion of $^9,^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ *

LIU Zu-hua

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

Abstract: The purpose and importance of the study of $^9,^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ near-barrier fusion were reviewed. The breakup effects of the halo nuclei on fusion were discussed and compared with the experimental results of $^9,^{11}\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ systems.

Key words: halo nuclei; projectile breakup; near-barrier fusion

* Foundation item: NSFC(19675071)