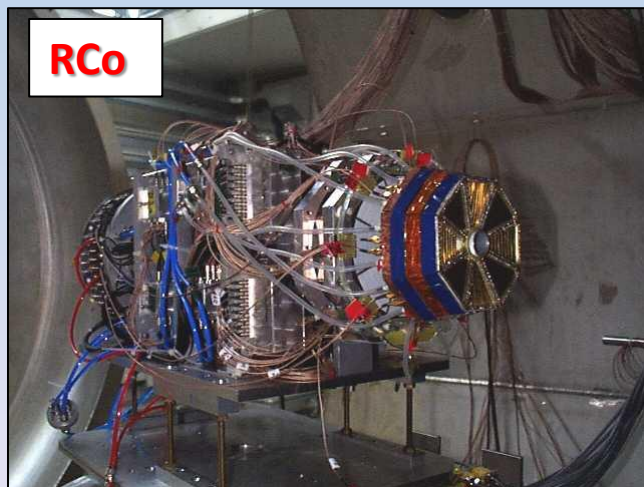


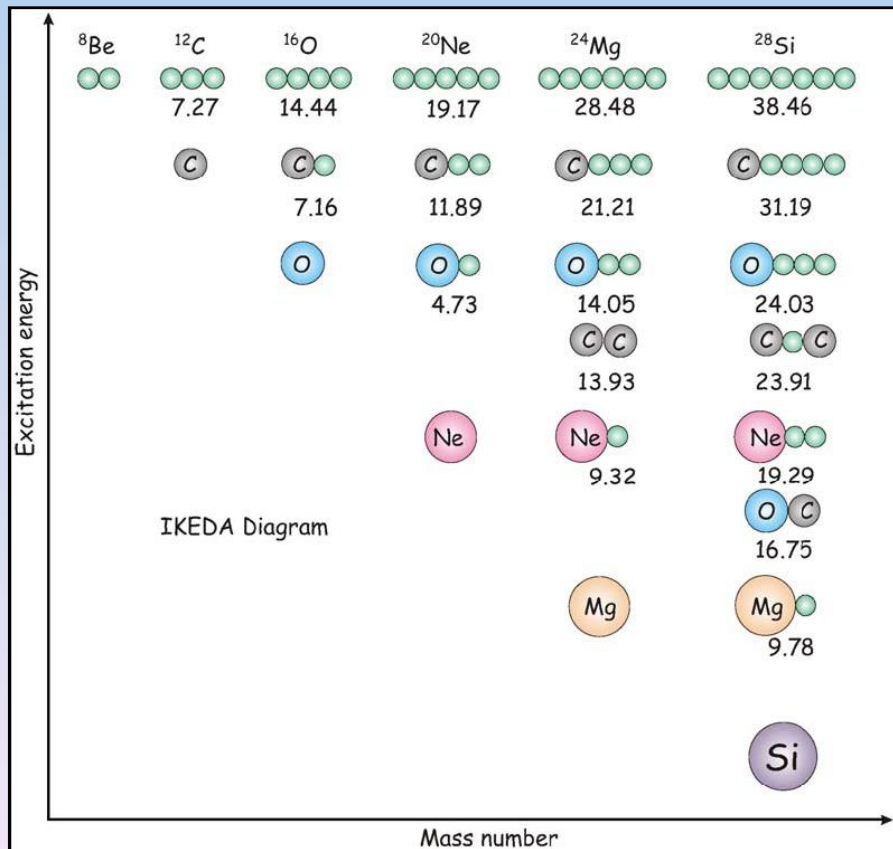
Natura a cluster dei nuclei studiata di recente con GARFIELD a Legnaro

NUCL-EX

S.Barlini per la collaborazione NUCL-EX

Le campagne «Delight» con GARFIELD+Rco setup:

Evidenza del clustering nucleare –inteso come pre-formazione di strutture ad alpha all'interno dei nuclei- studiando il decadimento del nucleo composto formato nell'urto di ioni leggeri

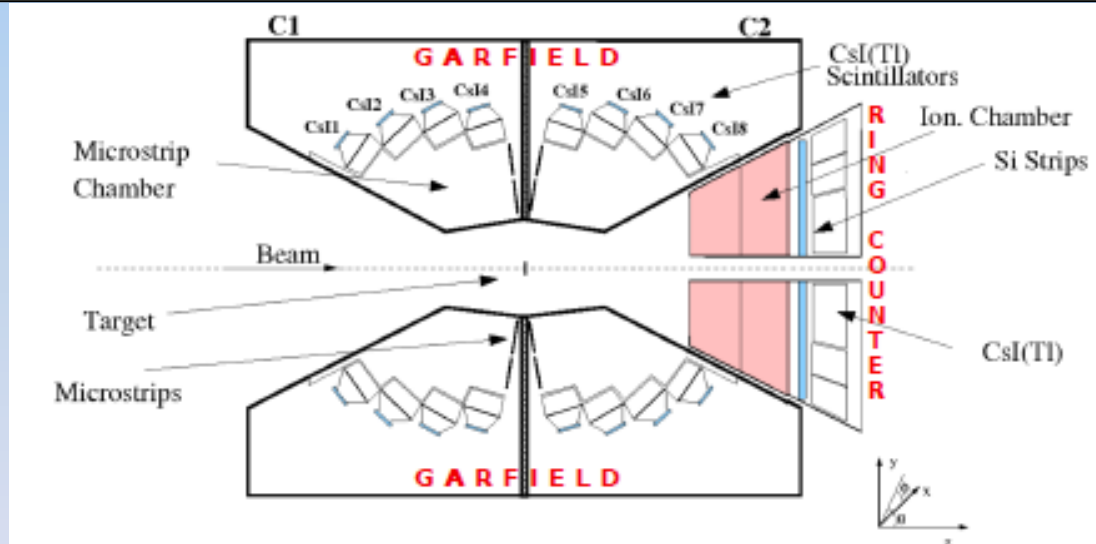


Il diagramma di IKEDA suggerisce come per gli ioni leggeri con $N=Z$ a partire da certe soglie di energia sia possibile avere delle sotto-strutture clusterizzate ad alpha.

Creando quindi questi nuclei attraverso urti tra ioni leggeri in uno stato eccitato è possibile evidenziarne la struttura a cluster come deviazioni rispetto al comportamento puramente statistico del suo decadimento.

Le campagne «Delight» con GARFIELD+Rco setup:

Evidenza del clustering nucleare –inteso come pre-formazione di strutture ad alpha all'interno dei nuclei- studiando il decadimento del nucleo composto formato nell'urto di ioni leggeri



**Copertura angolare
totale di circa 80%**

GARFIELD:

μ SGC + CsI(Tl), 180 CsI

per la rivelazione di LCP e frammenti:

- ✓ Bassa soglia di identificazione (0.8–1 MeV/u)
- ✓ Buona copertura angolare $30^\circ < \theta_{\text{lab}} < 150^\circ$, divisa in 24 settori azimutali
- ✓ Identificazione in Z fino a circa Z~20 ed in massa per LCP

RCo:

IC+Si+CsI(Tl), 64 telescopi

- ✓ Rivelazione degli ER con basse soglie di identificazione
- ✓ Alta granularità e risoluzione angolare: 0.8° per $5^\circ < \theta_{\text{lab}} < 17^\circ$
- ✓ Ottima risoluzione energetica (Silicio a strips ~0.3% e CsI(Tl) ~2-3%)

Le campagne «Delight» con GARFIELD+Rco setup:

Evidenza del clustering nucleare –inteso come pre-formazione di strutture ad alpha all'interno dei nuclei- studiando il decadimento del nucleo composto formato nell'urto di ioni leggeri

Reazione	Efascio (MeV)	Nucleo Composto	E_{CN}^* (AMeV)
$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$	95	$^{24}\text{Mg}^*$	2.6
$^{12}\text{C}+^{13}\text{C}$	95	$^{25}\text{Mg}^*$	2.6
$^{14}\text{N}+^{10}\text{B}$	80.7	$^{24}\text{Mg}^*$	2.6
$^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$	90	$^{28}\text{Si}^*$	2
	110		2,2
	130		2,6
$^{24}\text{Mg}+^{12}\text{C}$	133	$^{36}\text{Ar}^*$	1.7
$^{24}\text{Mg}+^{13}\text{C}$	115	$^{37}\text{Ar}^*$	1.7

Confronto tra lo stesso nucleo composto creato attraverso un canale di reazione α -cluster ed uno non α -cluster con un modello di decadimento statistico

Necessità di un modello statistico dedicato allo studio del decadimento dei nuclei leggeri ($A < 25$)

HFI calculation (Baiooco et al.)

Modello di decadimento statistico nel quale sono stati inseriti e considerati i decadimento discreti per le particelle leggere

Analisi di $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$

G. Baiocco et al., Phys. Rev. C 87(2013), 054614

L. Morelli et al., Journ. Of Phys. G., vol. 41(2014), 075107

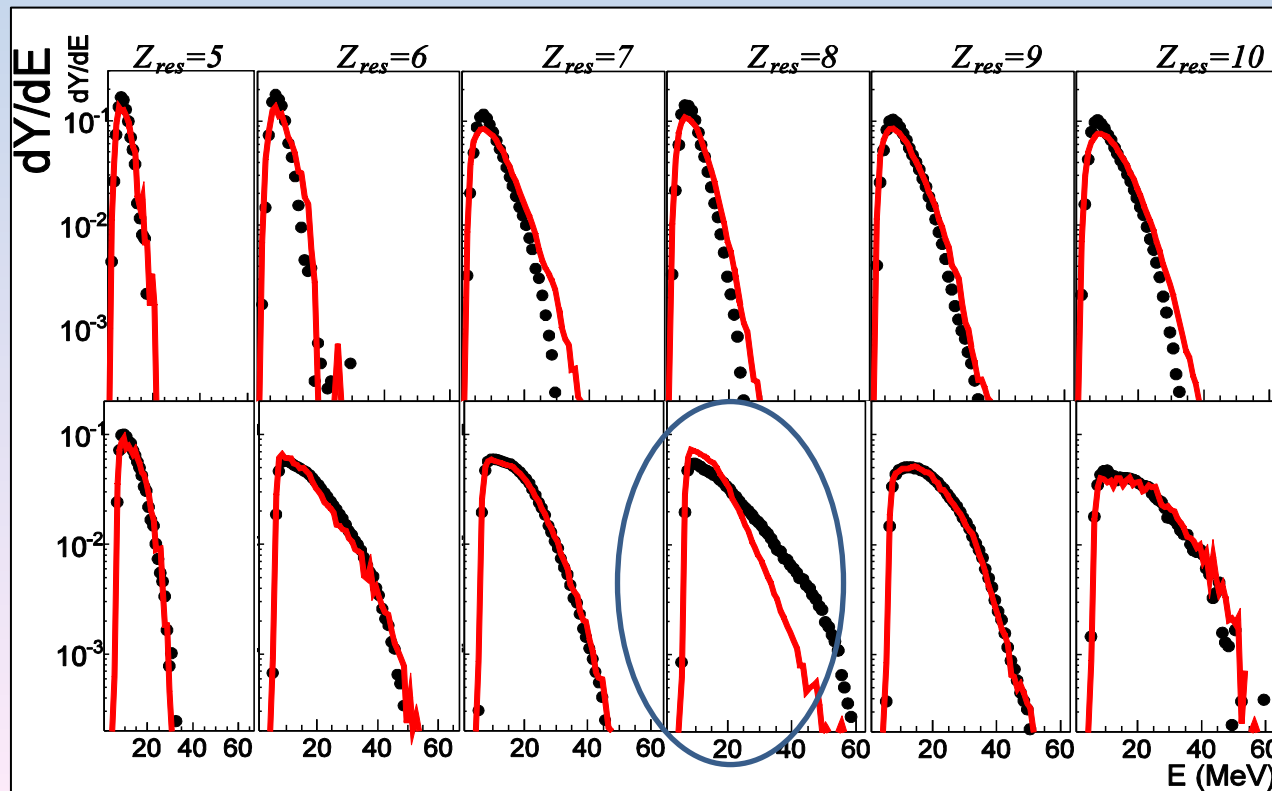
L. Morelli et al., Journ. Of Phys. G., vol. 41(2014), 075108

Selezione “minimum bias”: LCP in Garfield ed ER nel Rco con $Z_{\text{riv}} \geq 10$

- Buon accordo sulle variabili globali (distribuzione in Z, molteplicità....)
- Buon accordo sugli spettri energetici e sulle distribuzioni angolari per LCP in coincidenza con gli ER

...MA

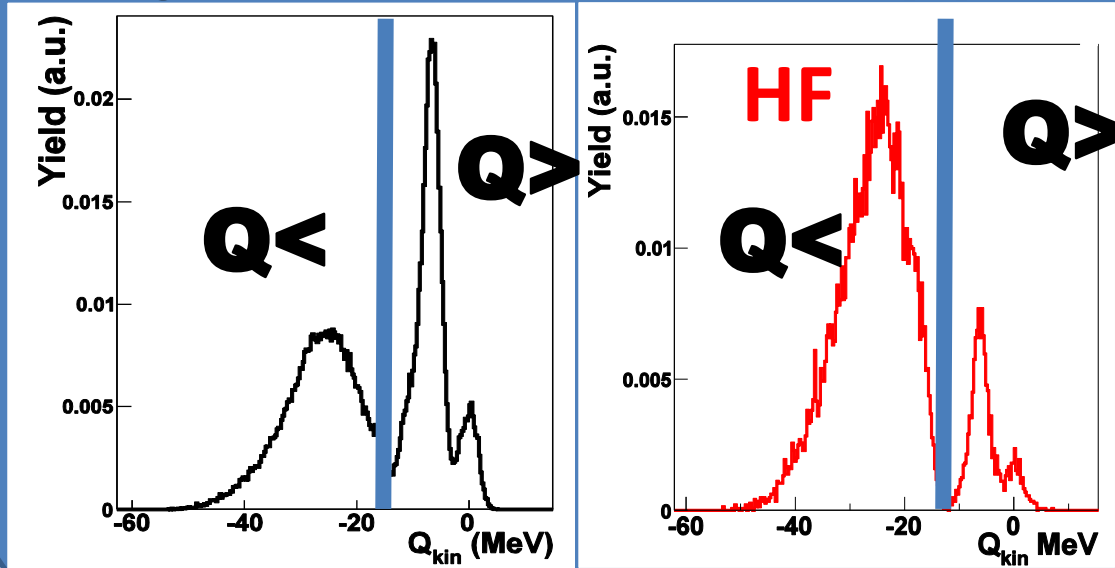
problema evidente negli spettri di energia per le α per eventi COMPLETI ($Z_{\text{riv}}=12$) in coincidenza con $Z_{\text{ER}}=8$



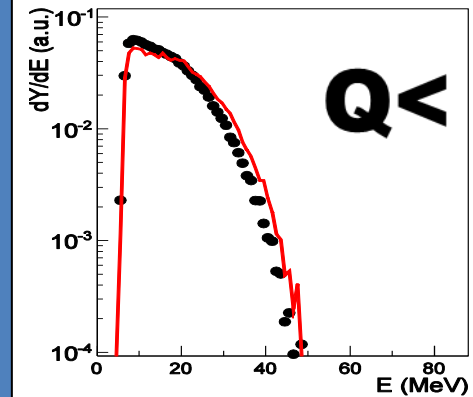
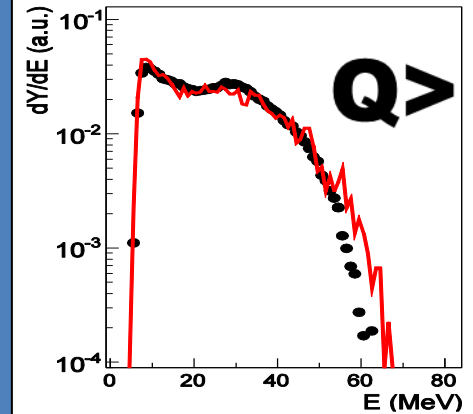
Spettri di energia di α in coincidenza con diversi Z_{ER} per eventi completi ($Z_{\text{riv}}=12$)

Analisi di $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$: eventi completi

$$Q_{kin} = E_{kin} - E_{beam} = \sum_{i=1}^N E_i - E_{beam}$$



Spettri di energia per α in eventi completi

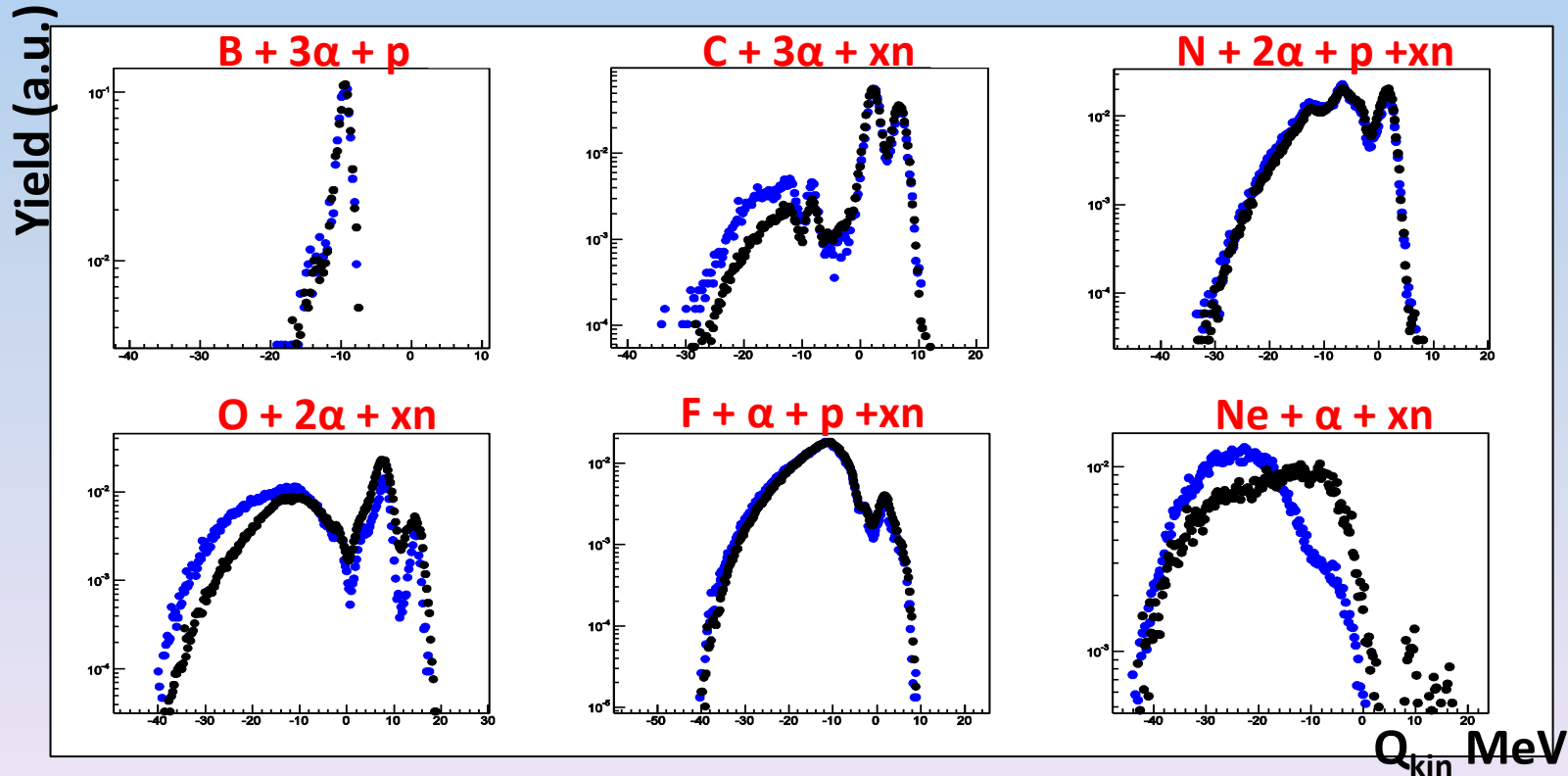


- Struttura simile nei Q-valori tra sperimentale e modello
- Evidente popolamento diverso tra i canali con ($Q<$) e senza ($Q>$) emissione di neutroni.
- Forma dello spettro in energia delle alpha associate ai 2 casi singolarmente ben riprodotta!

Analisi di $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ vs $^{14}\text{N} + ^{10}\text{B}$: eventi completi

$$Q_{kin} = E_{kin} - E_{beam} = \sum_{i=1}^N E_i - E_{beam}$$

Dal momento che dal punto di vista del modello (statistico) I due sistemi sono UGUALI, devo fare direttamente un confronto tra I dati sperimentali



- Differenze nella percentuale relativa di $Q >$ e $Q <$ nei canali a solo emissione di alpha: effetti del canale di entrata confermati (al netto di differenze nella distribuzione del momento angolare!)

Analisi di $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ vs $^{14}\text{N} + ^{10}\text{B}$: eventi completi

N+B reaction

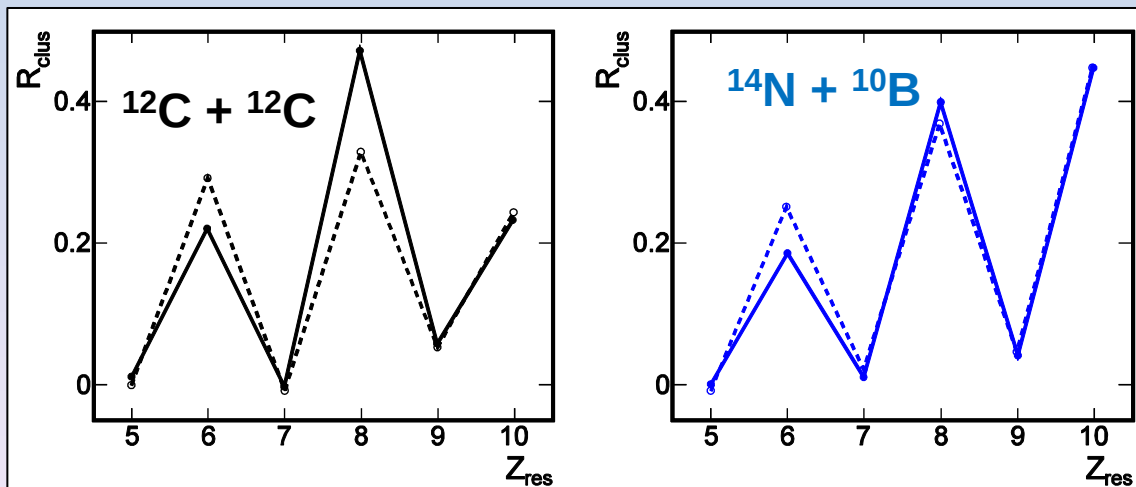
C+C reaction

Z_{res}	channel	BR_e (N+B)	BR_t (N+B)	BR_e (C+C)	BR_t (C+C)
6	C+3 α + xn	96%	77%	98%	78%
8	O+2 α + xn	56%	15%	63%	15%
10	Ne+ α + xn	47%	3%	26%	3%

Le probabilità di emissione dei canali SOLO alpha sono maggiori delle previsioni statistiche per ENTRAMBI i sistemi

$$R_{clus}(Z) = \frac{Y_{exp}(Z; n_Z \alpha)}{Y_{exp}(Z)} - \frac{Y_{HFl}(Z; n_Z \alpha)}{Y_{HFl}(Z)}$$

- $Y(Z; n_Z \alpha)$ = eventi con $Z_{ER}=Z$ e $n_Z = \max$ numero possibile di α
- $Y(Z)$ = numero di eventi con $Z_{ER}=Z$



Le due linee corrispondono alla selezione $Q >$ o $Q <$ per i vari Z_{ER}

$R_{clus}(Z)=0$ indica un accordo con il modello statistico

- ✓ I canali con $Z_{ER}=6,8,10$ mostrano un decadimento alpha privilegiato
- ✓ Anche per la reazione N+B si evidenzia una struttura α -cluster nel $^{24}\text{Mg}^*$ o nei suoi nuclei figli.

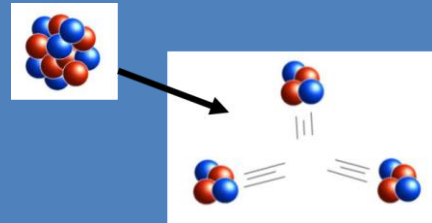
Hoyle State

L.Morelli et al., Journ. Of Phys. G., vol. 43(2016), 045110

$^{12}\text{C}^*$ Hoyle state in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}@95\text{ MeV}$

Urti periferici: $^{12}\text{C}^*$ come scattering inelastico del proiettile $\rightarrow 3\alpha$ nel RCo e nessun altra particella



Urti periferici: selezione eventi

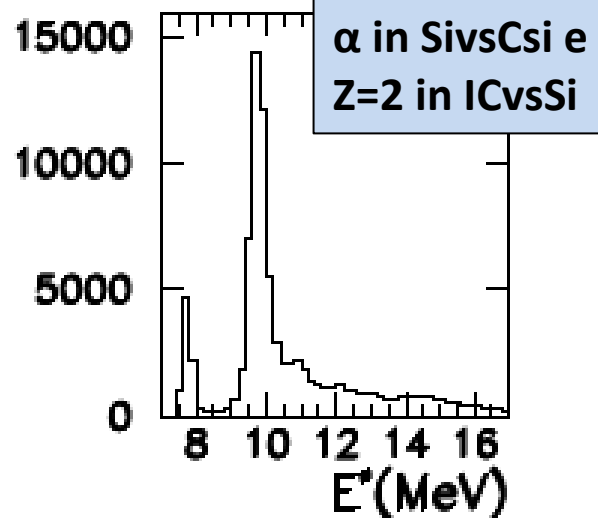
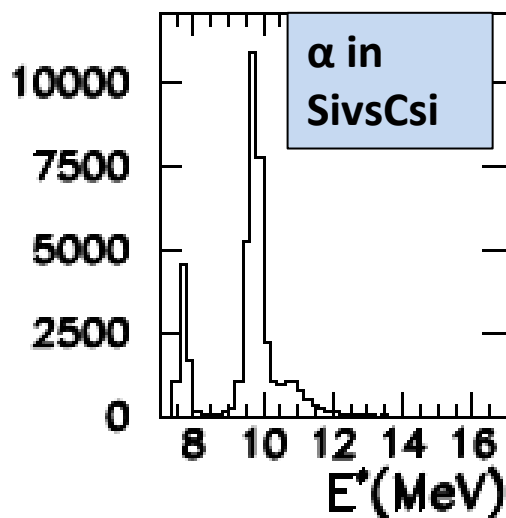
$$E_{12\text{C}}^* = \sum_{i=1}^3 E_{\alpha_i} - \frac{P_c^2}{2MC} + 7.272$$

Energia di eccitazione del ^{12}C ricostruito

Somma energie delle 3α

Energia cinetica ^{12}C iniziale (ricostruito dagli impulsi delle 3α)

Energia minima liberata nella reazione



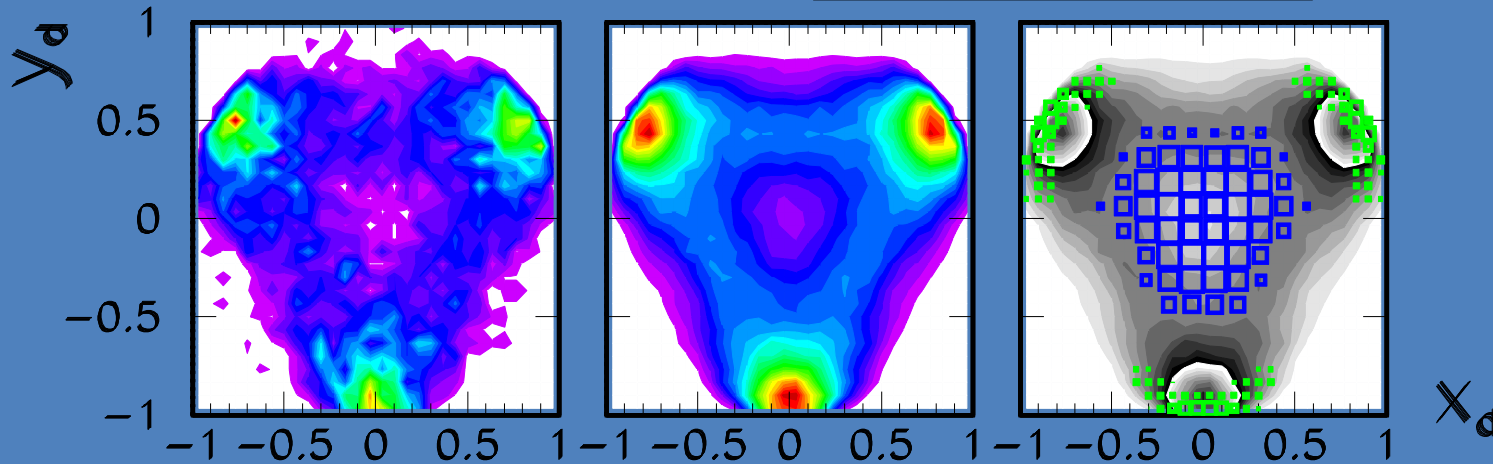
$^{12}\text{C}^*$ Hoyle state in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$: dec. sequenziale o diretto?

Urti periferici: $^{12}\text{C}^* \rightarrow 3\alpha$

Energy DALITZ Plot

$$X = \frac{\sqrt{3}(E_i - E_j)}{E_{\text{tot}}}$$

$$Y = \frac{2E_k - E_i - E_j}{E_{\text{tot}}}$$



Dati sperimentali

HFI

Confronto tra modelli:

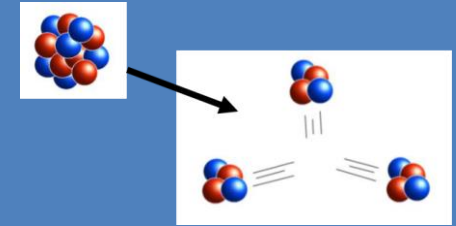
- HFI
- DDE (dec. diretto)
- DDL (dec. sequenziale)

I dati sono coerenti con un decadimento sequenziale attraverso la formazione di un ^8Be

$^{12}\text{C}^*$ Hoyle state in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}@95\text{ MeV}$

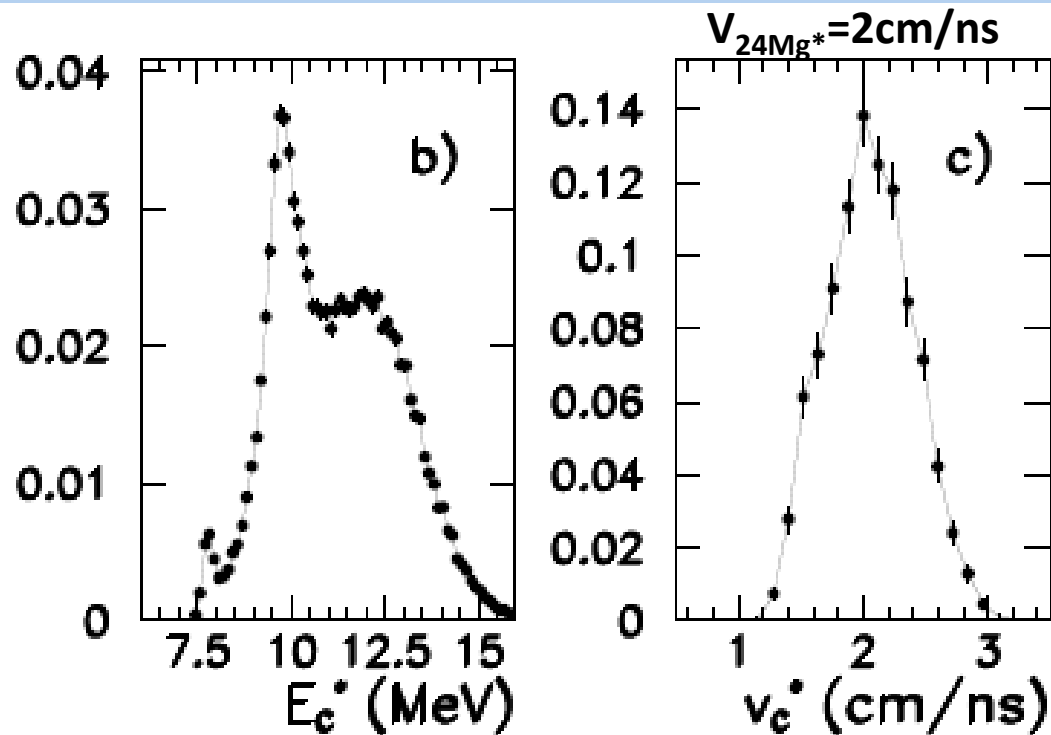
Urti centrali: $^{12}\text{C}^*$ prodotto nel decadimento del $^{24}\text{Mg}^*$



SELEZIONE:

- 5 particelle (per aumentare la statistica)
- $Z=2$ (per ragioni di soglia) rivelate in coincidenza

Check della selezione:



E_c^* da 3 delle alpha rivelate

Velocità del CM delle 3α che decadono dallo stato di Hoyle

$^{12}\text{C}^*$ Hoyle state in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$

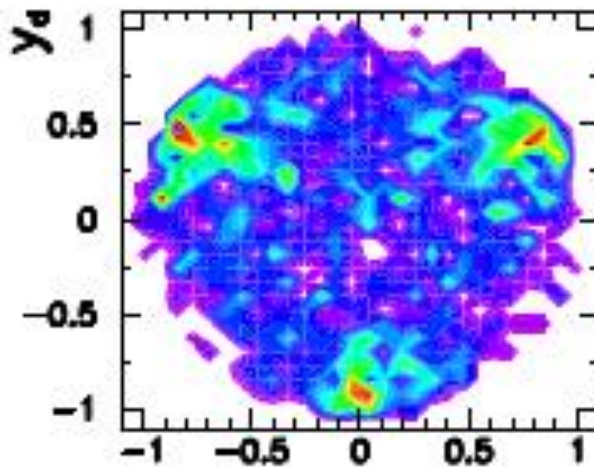
$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}@95\text{ MeV}$

Urti centrali: $^{12}\text{C}^*$ prodotto nel decadimento del $^{24}\text{Mg}^*$

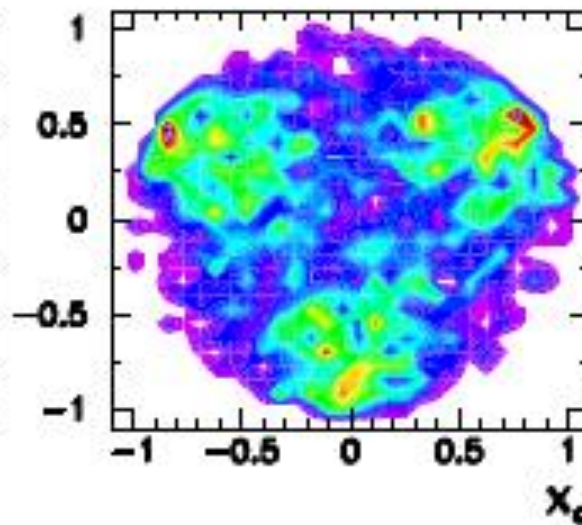
Energy DALITZ Plot

$$X = \frac{\sqrt{3}(E_i - E_j)}{E_{\text{tot}}}$$

$$Y = \frac{2E_k - E_i - E_j}{E_{\text{tot}}}$$



Dati sperimentali



HFI

Statistica molto bassa, ma nessuna evidenza di decadimento diretto anche “in-medium”

... GRAZIE PER L'ATTENZIONE!