La fisica nucleare a Firenze

andando verso SPES (Selective Production of Exotic Species ai Laboratori Nazionali di Legnaro)

Due linee di ricerca

• struttura nucleare (esperimento GAMMA)



sezioni/dipartimenti Fi-Ge-LNL-Mi-Na-Pd-Pg laboratori: LNL - Ganil - ISOLDE - GSI

• dinamica di reazioni (esperimenti FIESTA e NUCLEX)



Fi-LNL-Na LNL-LNS-Ganil





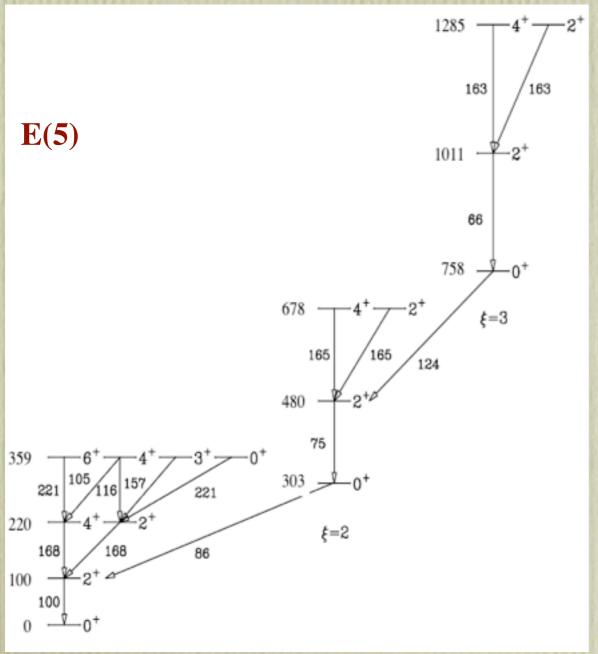
Esperimento GAMMA

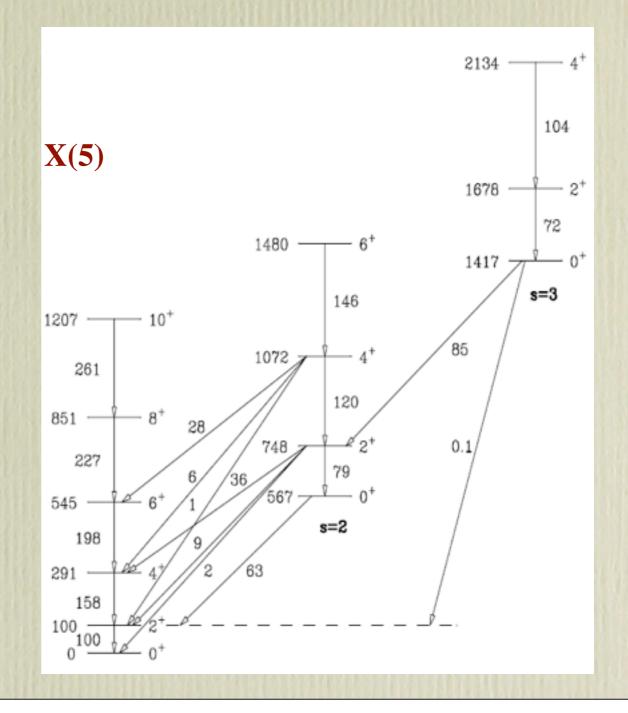
- 5 ricercatori (due universitari, uno INFN, due associati senior), un assegnista, due tecnici (uno INFN, uno universitario).
- attività di ricerca:
 - studio delle possibili "simmetrie" dei nuclei pari-pari con A-130, in particolare delle simmetrie al punto critico che descrivono transizioni di fase tra due forme nucleari differenti: X(5) da una forma sferica ad una prolata assiale, E(5) da una forma sferica a una forma gamma instabile (cioè suscettibile di deformazioni asimmetriche).



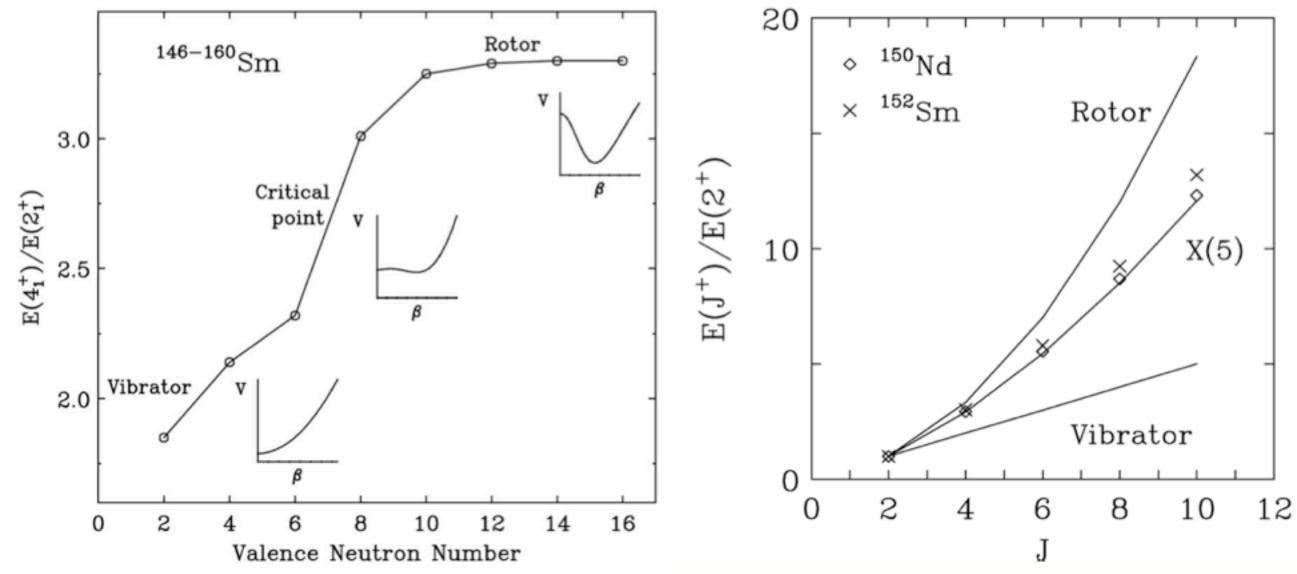
In queste simmetrie viene risolta in modo analitico l'equazione di Bohr adottando al punto critico una forma semplificata di potenziale nucleare.

Si ottengono così previsioni per gli autovalori dell'energia e per le probabilità di transizione libere da parametri, a meno di un fattore di scala.







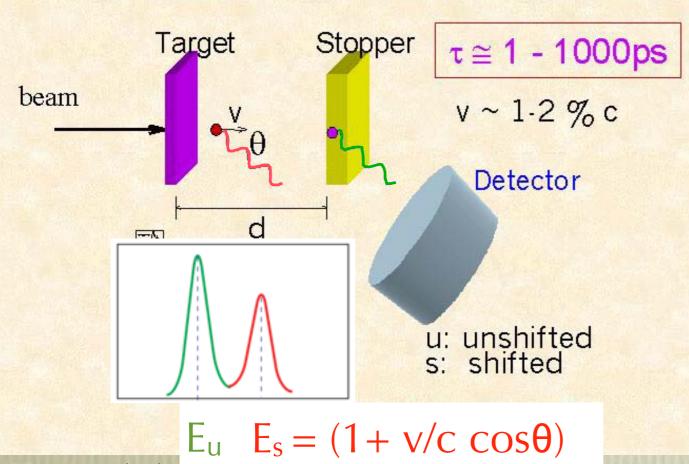


I rapporti di energia costituiscono un'informazione "al primo ordine" che può essere utilizzata per fare una prima selezione dei nuclidi candidati per una certa simmetria. Sono però gli andamenti dei rapporti delle probabilità di transizione determinanti nel confronto con le previsioni di modello.



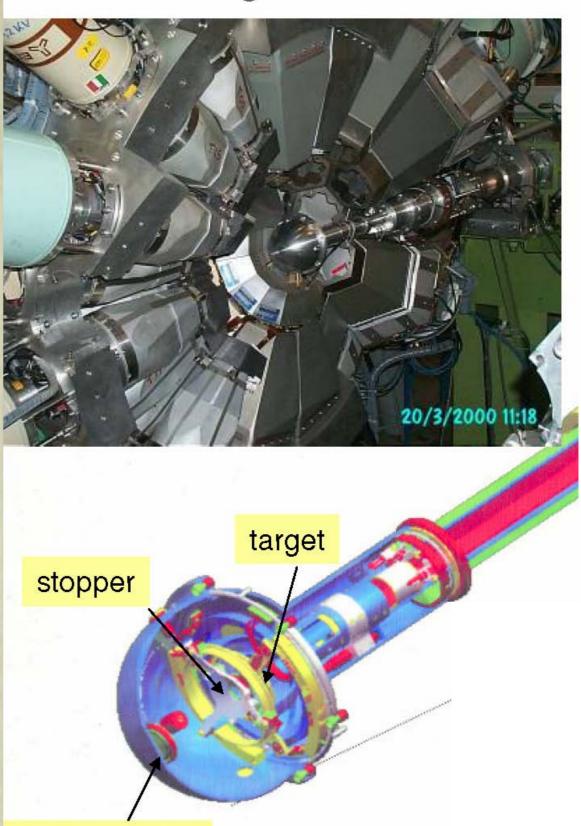
un esempio: misure di vite in ^{122,124}Ba con il metodo Recoil Distance Doppler Shift con il plunger del gruppo di fisica nucleare dell'Università di Colonia e l'array di rivelatori al germanio GASP dei LNL

The Recoil Distance Doppler-Shift Method



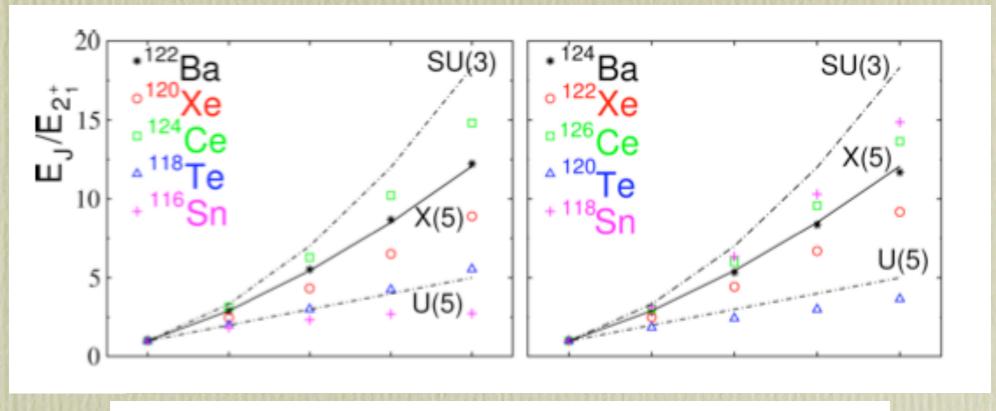
The Köln Plunger

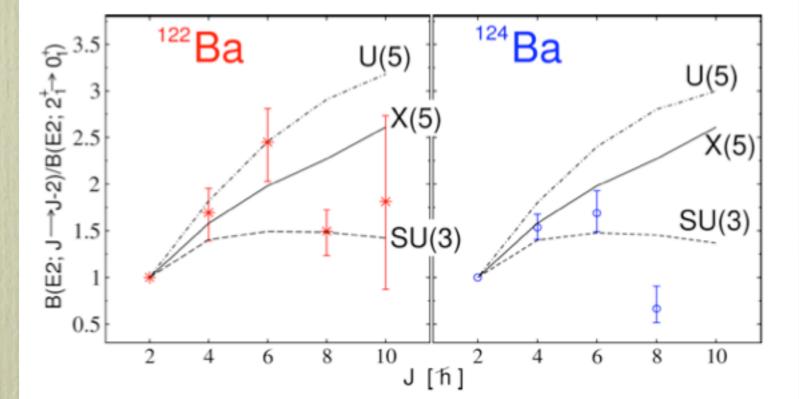
beam stopper





Risultati sperimentali ottenuti:





[P.G. Bizzeti et al. AIP Conf.Proc. 1090, 352 (2009)]



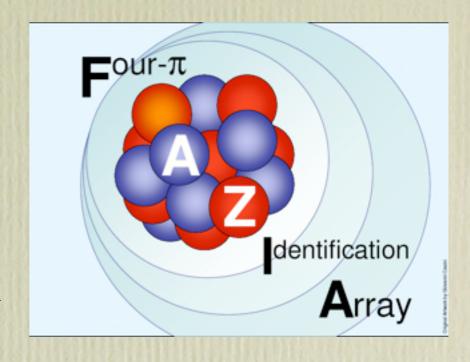
Esperimento NUCLEX

- 9 ricercatori (5 universitari, tre INFN, un associato senior), 2 tecnologi (un art.23, un associato senior), un assegnista, un dottorando. due tecnici INFN.
- attività di ricerca copre due fronti:
 - studio dei meccanismi di reazione e di termodinamica nucleare in reazioni fra ioni pesanti
 - R&D intenso sui rivelatori nell'ambito della collaborazione internazionale FAZIA (argomento di un futuro talk)



FAZIA Four-pi A and Z Identification Array

FAZIA ha iniziato quest'anno la fase 2 (2009-2011): scopo è la realizzazione e test di un prototipo costituito da ~200 telescopi. Si vogliono così iniziare le prime sperimentazioni di fisica.

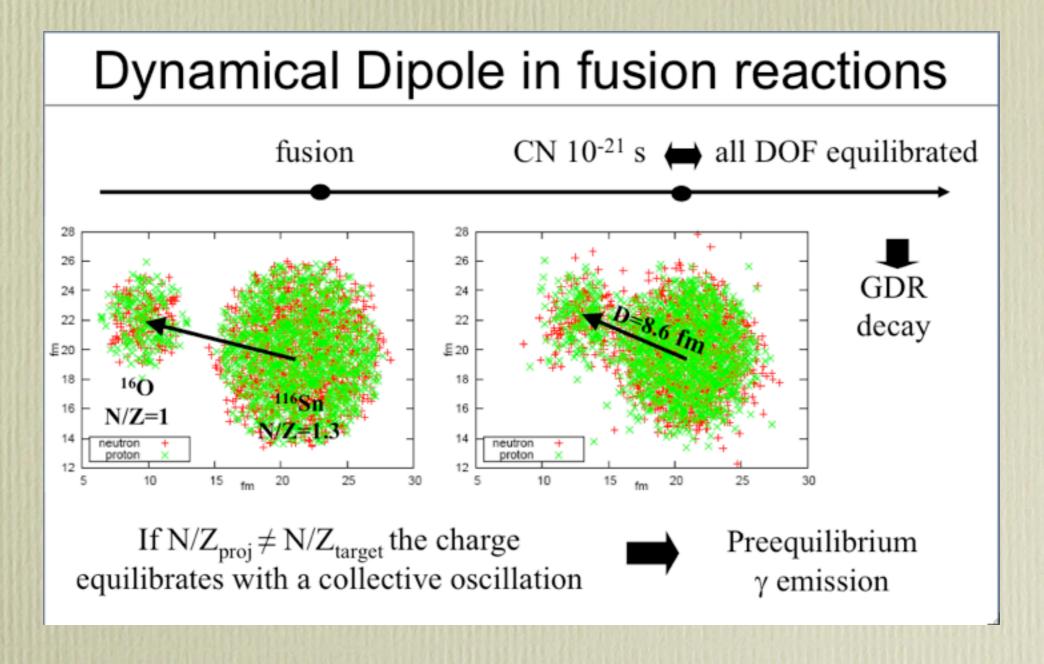


Final goal: detector array for lower (SPIRAL2 / LNL / SPES) and higher energy (GANIL / LNS / EURISOL) studies with exotic and stable beams.

Unit-charge identification up to Z=70, mass identification up to max A=50. Expected energy resolution better than 1% in the whole range from 10 MeV to 100 AMeV.



un esempio: studio dell'emissione dipolare pronta di raggi γ in reazioni di fusione-evaporazione con asimmetria di carica nel canale di ingresso (emissione di Dipolo Dinamico).

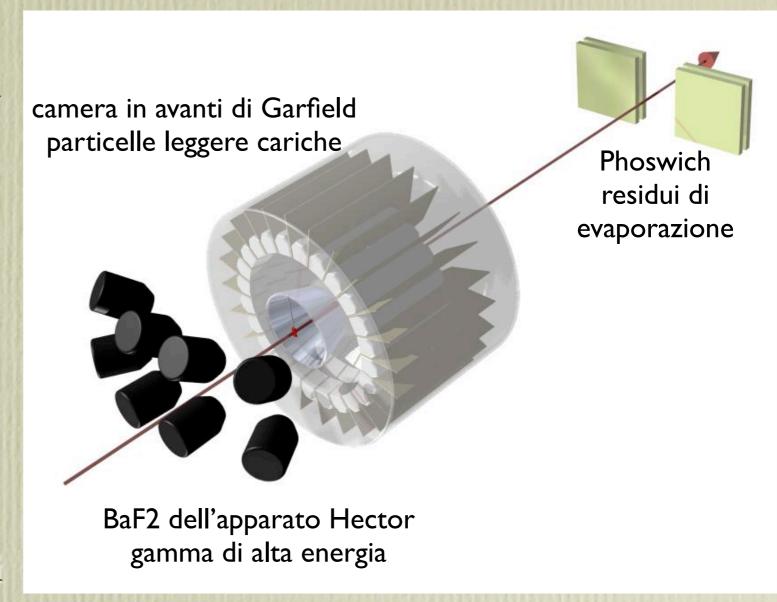




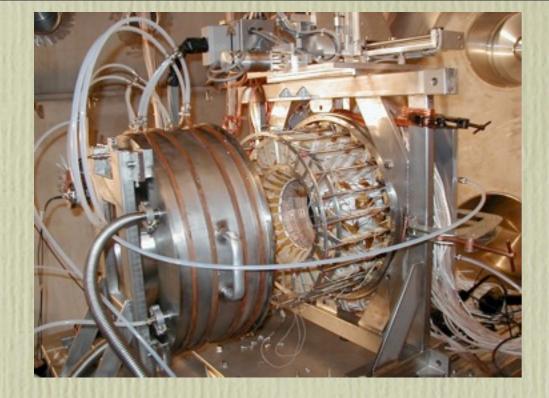
Confronto fra gli spettri di gamma di alta energia da uno stesso nucleo composto (stessa E* e J_{CN}) prodotto in reazioni con differente distribuzione di carica:

- •asimmetrica ¹⁶O+¹¹⁶Sn
- •simmetrica ⁶⁴Ni+⁶⁸Zn

Misure ai LNL con l'apparato Hector (raggi gamma di alta energia), Garfield (particelle leggere cariche) e un "muro" di phoswich (nucleo residuo).



[A. Corsi et al. Phys.Lett. B 679, 197 (2009)]



Garfield detector: almost 4π , two drift chambers with gaseous microstrip detectors (ΔE) and CsI(Tl) scintillators (E).



140 mm

Fig. 1. Digitizing channel.

Moduli di acquisizione sviluppati a Firenze: campionamento digitale + elaborazione del segnale in tempo reale.

322 canali!

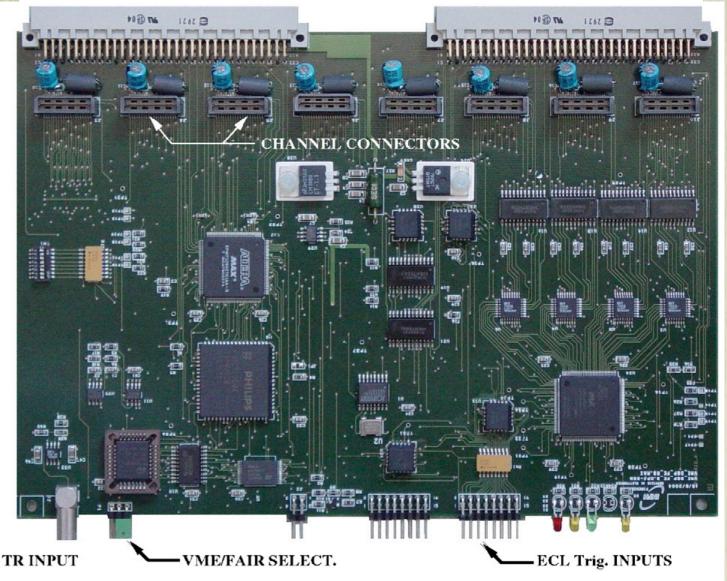


Fig. 3. A 6U VME mother-board.



Esperimento FIESTA

- 3 ricercatori (due universitari, uno INFN).
- attività di ricerca:
 - Dinamica della Fissione in sistemi di fissilità intermedia e sistemi pesanti.
 - Dipendenza dall'isospindella densità dei livelli.
 - Fissione superasimmetrica



$$\rho(U) = \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp(2\sqrt{aU})}{a^{1/4} U^{5/4}}$$

1)
$$a = \alpha A$$

 $\alpha = 0.1097$

2)
$$a = \alpha A / \exp[\beta(N - Z)^2]$$

 $\alpha = 0.111$ $\beta = .000641$

3)
$$\alpha = \alpha A / \exp[\gamma (Z - Z_0)^2]$$

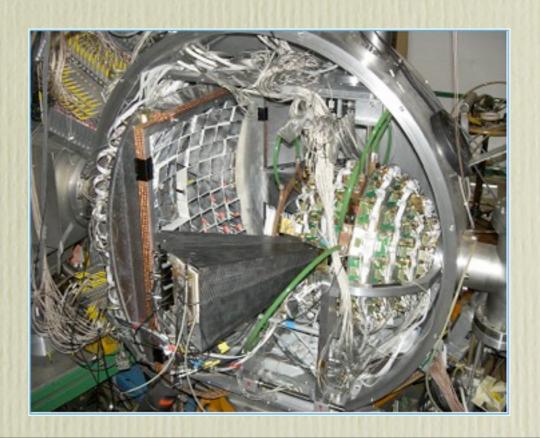
 $\alpha = 0.1138 \quad \gamma = 0.0493$

Al-Quraishi et al., Phys. Rev. C63

- un esempio: studio degli effetti di isospin sulla densità di livelli a bassa energia di eccitazione nei nuclei:
- indicazioni di diminuzioni drastiche della densità di livelli nucleari per nuclei esotici
- nel sistema ¹⁵⁶Er prodotto ad un'energia di 90 MeV non c'è evidenza di effetti di isospin
- misurare un ampio insieme di osservabili per imporre forti vincoli ai modelli

misure dicoincidenze LP-FF, LP-ER

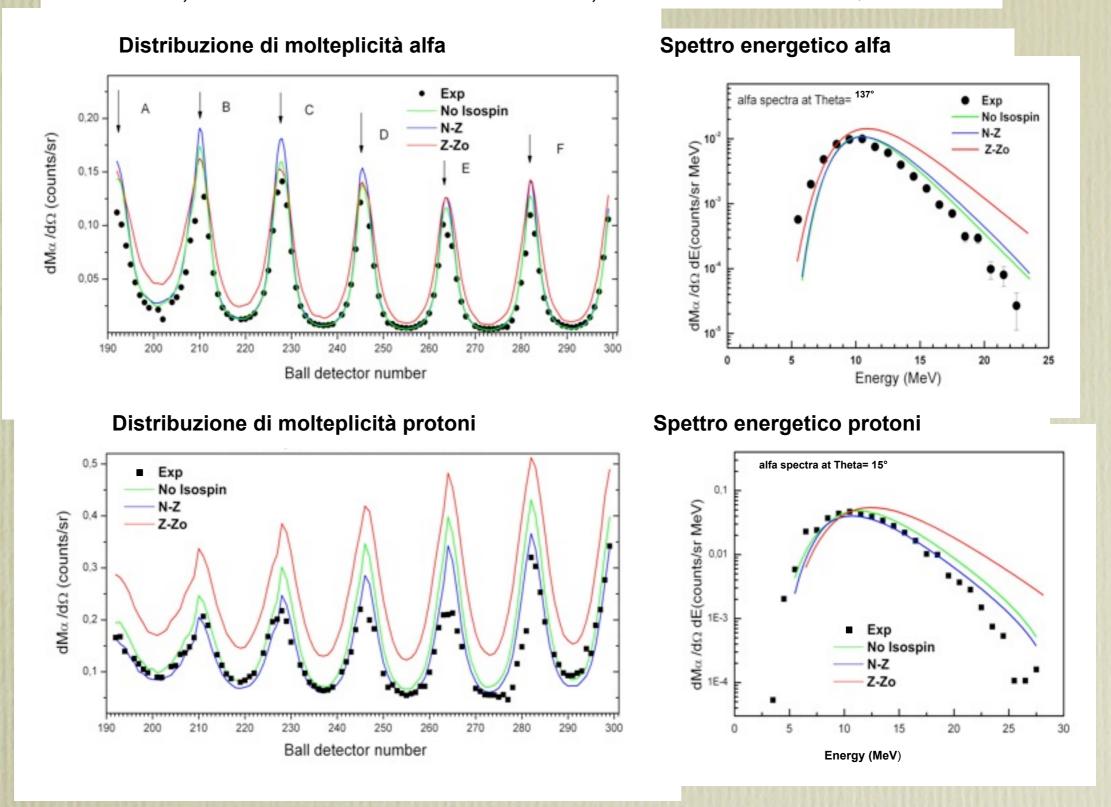
- apparato 8πLP per LP
- PPAC a settori per ER
- spettrometro a TOF CORSET per FF



8πLP



Codice Lilita; coefficienti di trasmissione di Modello Ottico; densità di livelli come in Al-Quraishi et al.



• emissione troppo vicino alla valle di stabilità?

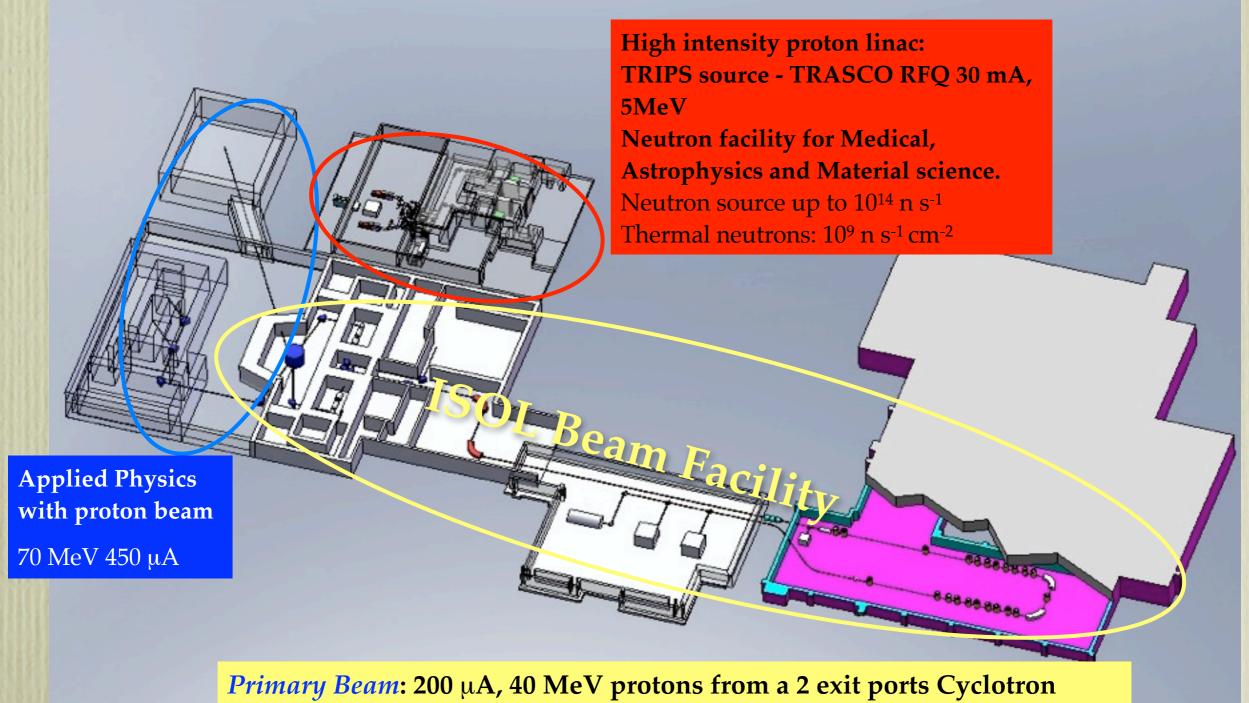
I ricercatori di tutte le linee sono impegnati a vario livello nel progetto SPES per la realizzazione di una facility per fasci radioattivi ai LNL.

Il direttore dei LNL ha recentemente sottolineato che i laboratori ospitano SPES, ma che SPES è di tutto l'INFN e quindi richiede il supporto di tutte le Sezioni INFN coinvolte.



The SPES Project @ LNL a multi-user project





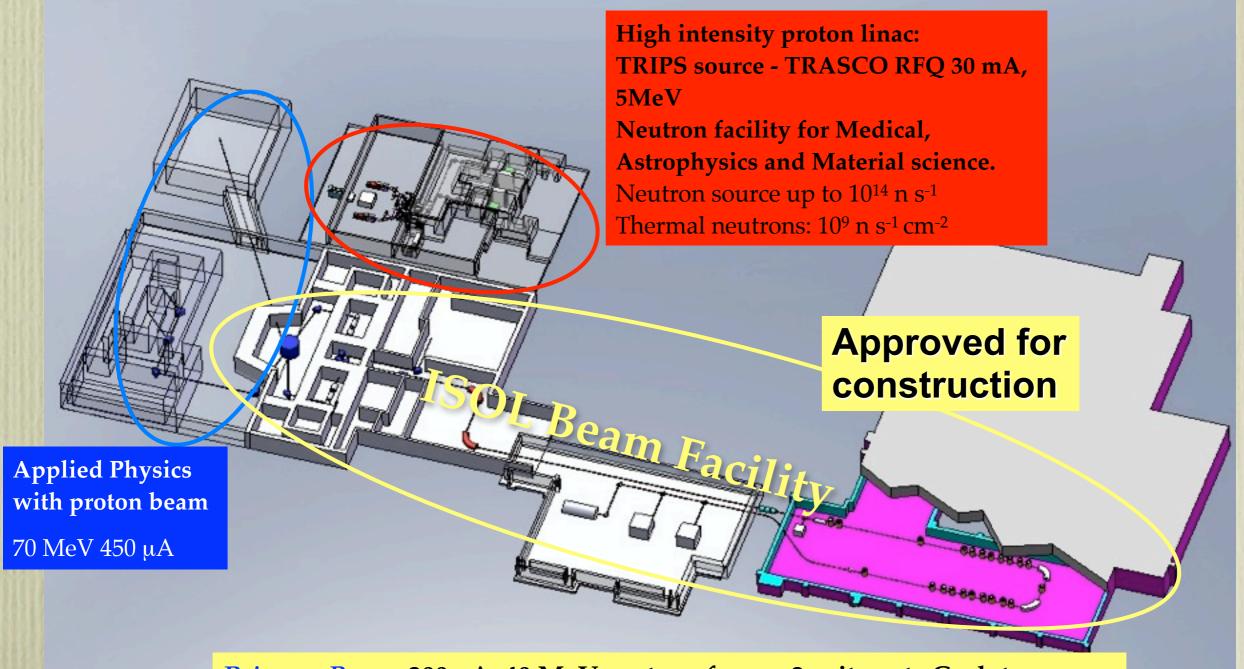
Production Target: UCx 10¹³ fission s⁻¹

Re-accelerator: ALPI Superconductive Linac up to 15 AMeV for A=130



The SPES Project @ LNL a multi-user project





Primary Beam: 200 µA, 40 MeV protons from a 2 exit ports Cyclotron

Production Target: UCx 10¹³ fission s⁻¹

Re-accelerator: ALPI Superconductive Linac up to 15 AMeV for A=130



SPES



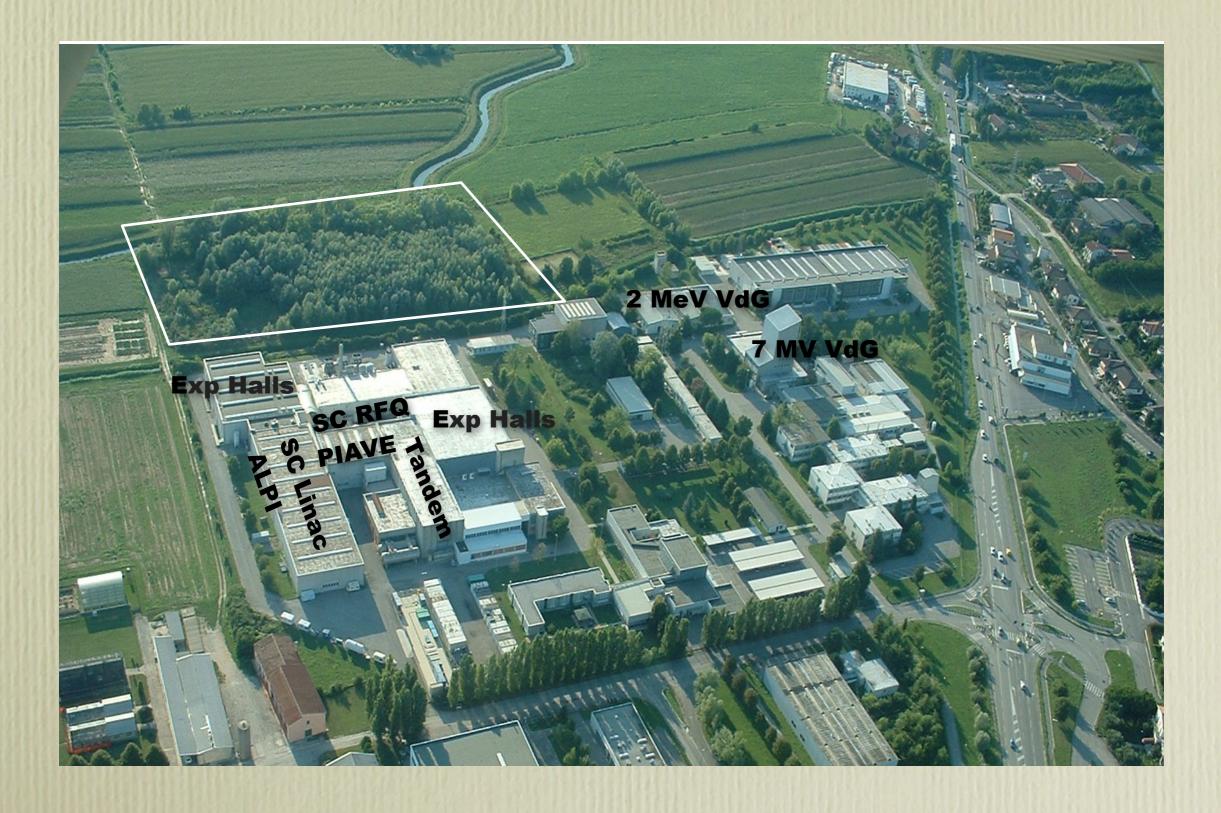
Nel 2008 INFN ha approvato e finanziato, con un impegno di 18 MEuro, la prima fase di SPES, che consiste principalmente in:

- acquisizione e installazione di un ciclotrone di alta intensità (-1 mA) con energia fino a 70 MeV (gara di acquisto in corso).
- realizzazione dell'edificio che ospiterà il ciclotrone e i laboratori di ricerca fisica (progettazione di massima già acquisita, gara per la progettazione definitiva in corso)



I Laboratori Nazionali di Legnaro

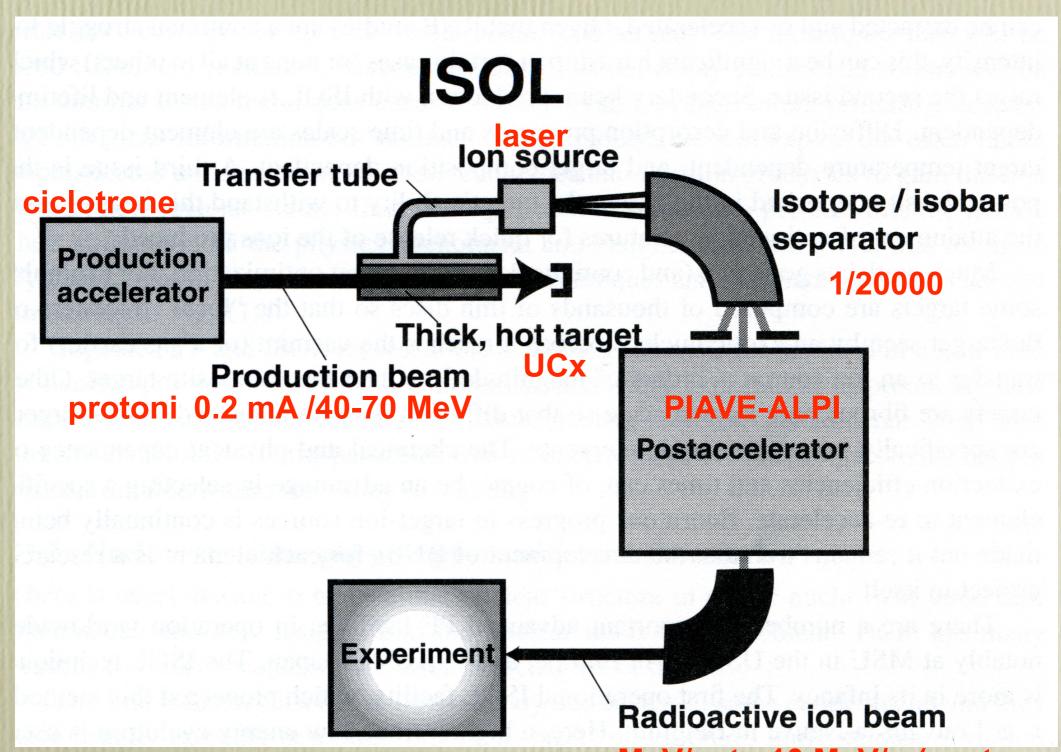






Metodo ISOL (isotope separator on-line)





MeV/u to 10 MeV/u (ms to several s)





- SPES produrrà ioni radioattivi per urti di protoni su una targhetta di Uranio.
- L'interesse per la fisica di base è principalmente nella postaccelerazione di questi ioni e nello studio delle successive collisioni su idonei bersagli.
- Per la fase di post-accelerazione si userà l'acceleratore ideato e costruito a Legnaro (PIAVE-ALPI), che andrà modificato per le necessità del progetto SPES.
- Il progetto è in concorrenza con un progetto francese (SPIRAL2, costo 100Meuro) ma è anche complementare allo stesso: sono di interesse per la comunità scientifica vari tipi di fasci, alcuni dei quali potranno essere prodotti in Francia e altri in Italia.





• Esiste ed è operativo un accordo internazionale (LEA, Laboratori Europei Associati) che vede SPIRAL2 e SPES come partners di una attività comune.

	Primary beam	Power on target	Fission s ⁻¹	post acceleratore	max AMeV A=130 20+	132Sn rate
SPES	p 40 MeV 200µA	8 kW	~10 ¹³	Linac	10 - 14	3·10 ⁸
SPIRAL2	d 40 MeV 5 mA	200 kW	~10 ¹⁴	Ciclotrone	6	2·10 ⁹
HI- ISOLDE	p1GeV 2μA	0.4 kW	~4 • 1012	Linac	5 - 10	2 · 10 ⁸



SPES timetable



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Facility design					All Market		
First Target and ion source						MENT	Harris Co.
Second target and ion source							
Authorization to operate							
Building construction						THE REAL PROPERTY.	
Target installation and commissioning							
Completion of RFQ for Neutron Facility							
Installation and commissioning Neutron Facility							
Cyclotron construction							
Cyclotron Installation and commissioning							
Alpi preparation for post acceleration							
Installation of RIBs transfer lines and spectrometer							
Complete commissioning							

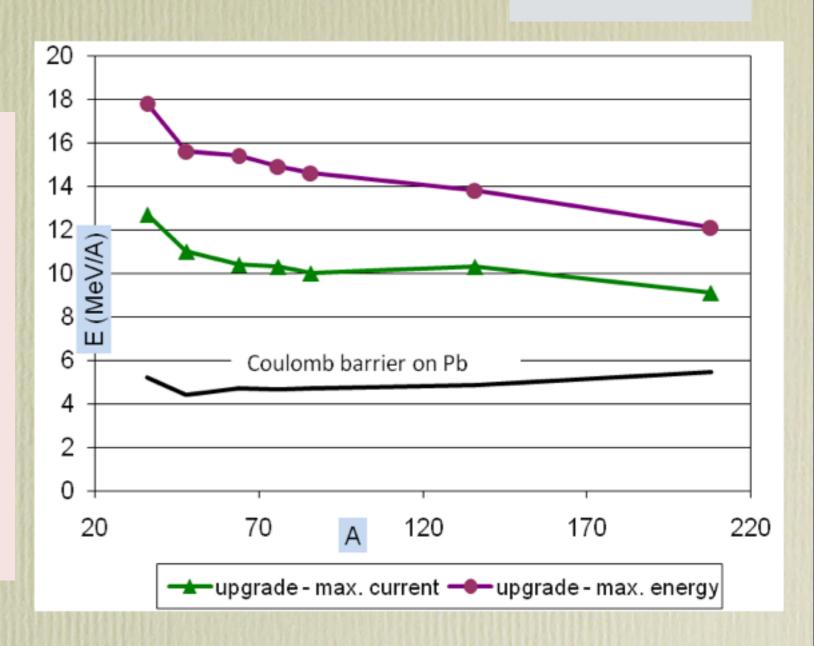


SPES physics



Study of neutron-rich nuclei Beam energy from a few MeV/n up to 15 MeV/n Intensities up to 10⁸ pps

- Coulomb excitation
- Multi nucleon transfer
- Direct reactions in inverse kinematics
- Fusion-Fission reactions



Nuclear spectroscopy

- Shell evolution
- High spin
- Shape transition

Reaction mechanisms

- Sub barrier fusion
- Fission dynamics
- Level density

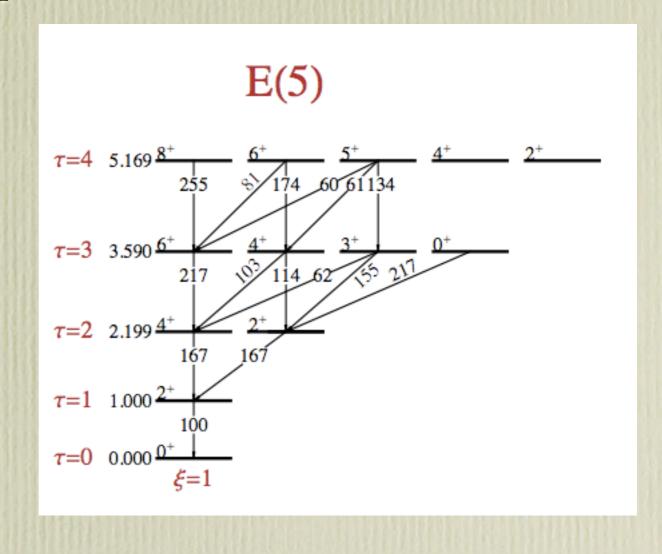
Eccitazione Coulombiana di nuclei ricchi di neutroni con A-150

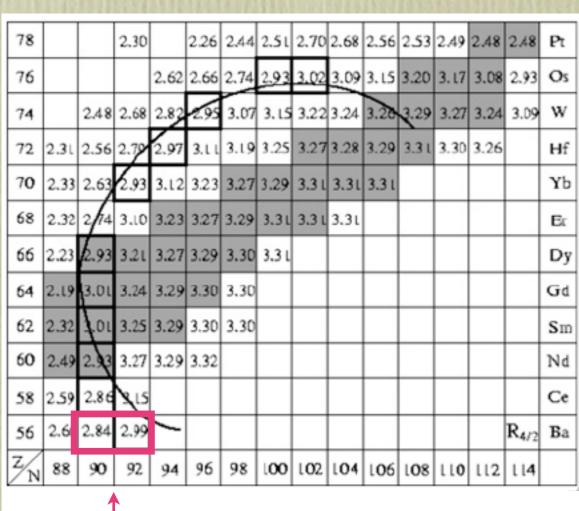
Abbiamo visto che per studiare le simmetrie E(5) e X(5) le energie di eccitazione non bastano: occorrono le probabilità di transizione.

Una possibilità per misurare le probabilità di transizione: eccitazione

coulombiana multipla del proiettile radioattivo su un bersaglio pesante.

Importante specialmente per nuclei al punto critico E(5).



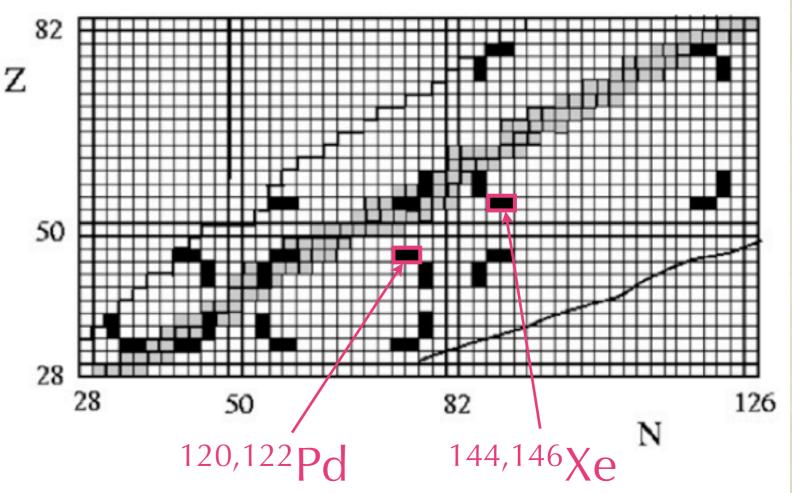


possibili candidati X(5) ...



... e E(5)

from McCutchan, J. Phys. G 31 (2005)



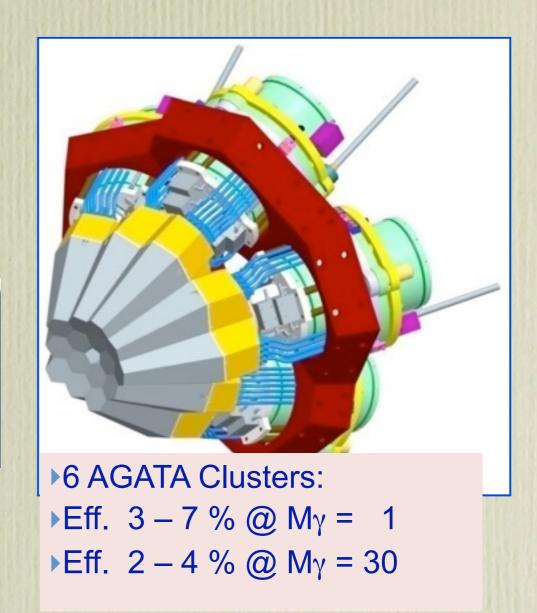
A. Nannini 22/02/2010

che cosa occorre:

- fasci con intensità circa 10⁵ p/s e energia ~ 5 MeV/A
- rivelatore di ioni in avanti con buona risoluzione angolare (angoli -10-50)
- array di rivelatori gamma







Deep Inelastic Collisions con fasci esotici attorno a 10 MeV/A

Studiare il meccanismo di bilanciamento di carica all'aumentare del grado di libertà di isospin della reazione, impiegando fasci esotici da SPES (ad es. ¹³²Sn, ¹⁴³Cs) su target con N/Z -1 (ad es. ⁴⁰Ca).

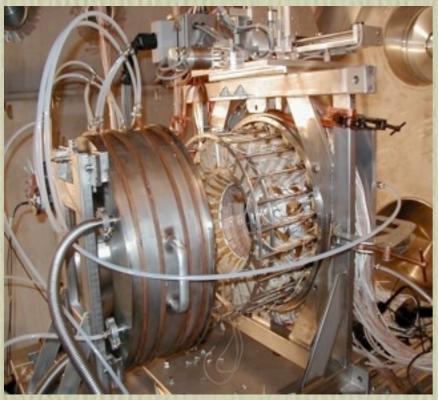
Le distribuzioni in massa, carica e angolo delle particelle leggere cariche emesse dal QT e dal QP variano al variare del grado di asimmetria dell'isospin dei frammenti, quindi la loro misura può fornire informazioni sullo scambio i carica fra i due nuclei interagenti durante il contatto.

Il bilanciamento di carica è previsto dipendere dal termine di simmetria dell'equazione di stato nucleare, si possono quindi dedurre informazioni sull'andamento di questo termine per valori di bassa densità nucleare (al "collo" materia nucleare più diluita).

che cosa occorre:

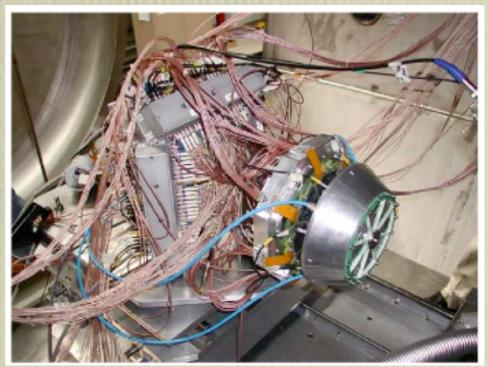
• rivelatore di particelle cariche leggere emesse dai frammenti QT e QP

• rivelatore del frammento QP (angoli 5~15)

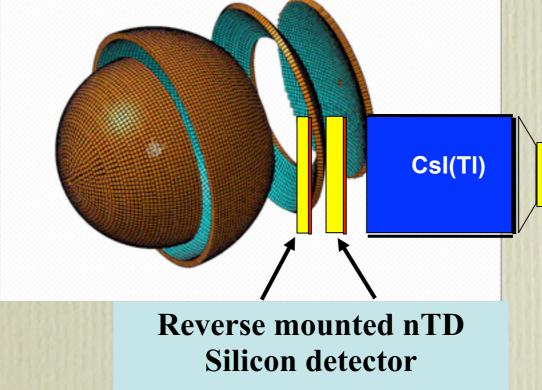


GARFIELD

RCO



... e FAZIA



A. Nannini 22/02/2010

Studio degli effetti di isospin sulla densità di livelli

Rapporto tra le sezioni d'urto dei canali di decadimento 1n e 2n, come risultano da calcoli di Modello Statistico nei 3 approcci considerati, per reazioni effettuabili con fasci ottenibili con SPES (AX + 4He).

