

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

Ricercatore responsabile locale: **Augusto Brondi**

Rappresentante Nazionale: **G. PRETE - A. BRONDI**

Struttura di appartenenza: **LNL - Napoli**

Posizione nell'I.N.F.N.: **Ricercatore - Incaricato di Ricerca**

INFORMAZIONI GENERALI	
Linea di ricerca	Reazioni nucleari indotti da ioni pesanti
Laboratorio ove si raccolgono i dati	Laboratori Nazionali di Legnaro. Texas A&M University, Ciclotron Institute, Texas (U.S.A)
Sigla dello esperimento assegnata dal Laboratorio	EDEN
Acceleratore usato	Tandem XTU+Linac Alpi - Ciclotrone Superconduttore K500
Fascio (sigla e caratteristiche)	Ioni pesanti ad energie < 20 AMeV. Alfa e ioni pesanti ad energie > 20 AMeV RIB presso Texas A & M University
Processo fisico studiato	Decadimento di nuclei caldi. Emissione di prefissione. Dinamica delle collisioni. Densità dei livelli nucleari in nuclei alla o vicini alla chiusura di shell. Astrofisica nucleare
Apparato strumentale utilizzato	Sistema di rivelazione 8π LP (Rivelatore a 4π per particelle cariche) + Trigger per frammenti di fissione e residui di evaporazione + Rivelatori per neutroni. Neutron Ball + Odoscopio per particelle cariche. Fragmentation line
Sezioni partecipanti all'esperimento	LNL, Padova, Firenze, Napoli, Bari.
Istituzioni esterne all'Ente partecipanti	Texas A&M University, Ciclotron Institute, College Station, Texas (U.S.A.). BARC, Bombay (India).
Durata esperimento	1998-2003 (si chiede il prolungamento per i prossimi tre anni)

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO

2001

In ML

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA	IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale
		Parziali	Totale Compet.	
Viaggi e missioni	Interno 2 turni x 5 ricercatori x 7 gg.- 2 riunioni x 6 ricercatori x 2 gg. 4 interventi tecnici x 2 tecnici x 7 gg. 1 turno coll. TAMU x 5 ricercatori x 7 gg. Mobilità responsabile nazionale	37 15 12 5	69	
	Estero TEXAS: 1 turno x 5 ricercatori x 7 gg. TEXAS: montaggio e test stru. x 2 ricercatori x 7 gg. Contatti con gruppi esteri: BARC Bombay, India	25 10 5	40	
Materiale Consumo	Riparazione elettronica moduli frontend e Fair Rivelatori Csl+fotodiodi di ricambio e riparazioni 2 rivelatori gas x 8pLP (progetto,meccanica,stampati,montaggio) Supporti magnetici e consumo esperimenti 8pLP e TAMU	10 10 20 20	60	
Traspe. e facch.				
Spese Calcolo	Consorzio			
	Ore CPU Spazio Disco Cassette Altro			
Affitti e manutenz. apparecchiati.				
Materiale Inventariabile	1 Modulo ADC per rivelatore a gas 1 Modulo TDC per rivelatore a gas	8 8	16	
Costruzione Apparat.				
Totale			185	
Note:				

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

ALLEGATO MODELLO EC 2

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO****In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	69	40	60				16		185
2002	82	45	35				20		182
2003	47	45	30				0		122
TOTALI	198	130	125				36		489

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

Presso la sezione di Napoli i tecnici afferiscono ai Servizi della Sezione, per cui non viene indicato un elenco nominativo delle partecipazioni ai singoli esperimenti.
La disponibilità assicurata dai servizi della Sezione è riportata nel mod.EC/EN 7a.

Mod. EC. 3

(a cura del responsabile locale)

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

PREVENTIVO GLOBALE PER L'ANNO

2001

In ML

Struttura	A CARICO DELL' I.N.F.N.									A carico di altri Enti
	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp. e Facch.	Spese Calc.	Affitti e Manut. Appar.	Mater. inventar.	Costruz. appar.	TOTALE Compet.	
BARI	32	8	41	3			20		104	0
FIRENZE	24	10	17				20		71	0
L.N.L.	26	40	130	10			50		256	0
NAPOLI	69	40	60				16		185	0
PADOVA	38	50	93				23		204	0
TOTALI	189	148	341	13			129		820	0

NB. La colonna **A carico di altri Enti** deve essere compilata **obbligatoriamente**

Note:

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

A) ATTIVITA' SVOLTA NELL'ANNO 2000

Vedi allegato.

B) ATTIVITA' PREVISTA PER L'ANNO 2001

Vedi allegato.

C) FINANZIAMENTI GLOBALI AVUTI NEGLI ANNI PRECEDENTI

In ML

Anno Finanziario	Missioni interno	Missioni estero	Materiale di consumo	Trasp. e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e Manut. Apparec.	Materiale inventar.	Costruz. apparati	TOTALE
1998	137	77	230	5		111			560
1999	117	58	156			68			399
2000	138	94	178	5		97			512
TOTALE	392	229	564	10		276			1471

Consuntivo scientifico esperimento EDEN (1998-2000)

L'esperimento EDEN e' iniziato nel 1998 con un piano triennale che prevedeva l'inizio della π LP presso i Laboratori Nazionali di Legnaro ed una attivita' in collaborazione con la Texas A&M University (TAMU) per lo studio della dinamica della fissione nucleare e della diseccitazione del nucleo composto in esperimenti presso il Tandem-Linac dei LNL e il Ciclotrone del TAMU.

L'esperimento si conclude quindi alla fine dell'anno in corso avendo effettuato la sperimentazione secondo il programma presentato ed entro i limiti di spesa previsti (1511ML assegnati su 1837ML previsti dal piano triennale).

Nel corso del triennio sono state completate delle ricerche che hanno portato alla pubblicazione dei lavori nel seguito elencati. Questi studi hanno riguardato tematiche diverse per le quali sono stati utilizzati apparati per la rivelazione di gamma e particelle. In particolare alcuni esperimenti, condotti in collaborazione con il gruppo GASP, hanno messo in luce l'influenza del canale di ingresso in reazioni di fusione ed il ruolo delle reazioni di fusione incompleta nel popolamento di stati ad alto spin.

L'apparato GASP e' stato anche utilizzato per un'indagine sulla fissione spontanea e sulla fissione indotta in reazioni con ioni pesanti attraverso misure di coincidenza gamma-frammenti di fissione.

In collaborazione con il TAMU si e' portata a termine l'analisi della diffusione inelastica di particelle alfa su ^{209}Bi . La distribuzione del numero dei neutroni evaporati e' stata analizzata con il modello statistico e si e' determinata la distribuzione dell'energia di eccitazione del frammento primario del bersaglio in funzione della perdita di energia del proiettile mettendo in evidenza come questa quantita' non sia una buona misura dell'energia di eccitazione trasferita. Le conseguenze di questa osservazione sono state incluse nello studio della emissione di gamma di GDR.

Si e' condotta inoltre un'indagine comparativa tra lo spettro delle particelle alfa misurate nel canale dei residui di evaporazione e quello nel canale di precisione per il sistema composto ^{198}Pb . Il confronto evidenzia il grado di deformazione del nucleo composto in via di fissione al momento della emissione alfa.

Infine sono stati presentati i risultati delle misure di test e di funzionamento del rivelatore 8π LP e del sistema di acquisizione connesso.

Oltre che con il TAMU si sono avviate collaborazioni scientifiche con il BARC di Bombay (India), con cui si hanno attualmente scambi regolari di ricercatori, e il laboratorio di Louvain-la-Neuve (Belgio). In campo nazionale si sono realizzati esperimenti in collaborazione con il gruppo di Bari per misure di neutroni (apparato Ripen) e con il gruppo di Padova del prof. Signorini per lo studio del break-up del ^6Li .

L'attivita' sperimentale con 8π LP e' iniziata nel dicembre 98 dopo il commissioning dell'apparato.

Con 8π LP si sono realizzati 5 esperimenti che hanno avuto come oggetto:

- 1 Lo studio della fissione indotta da reazioni di trasferimento su un bersaglio di Th ($^{28}\text{Si}+^{232}\text{Th}$ $E_{\text{lab}}=340\text{MeV}$).
- 2 Lo studio del processo di fissione e del decadimento evaporativo con un sistema composto di media fissilita' ($^{32}\text{S}+^{100}\text{Mo}$ $E_{\text{lab}}=240\text{MeV}$).
- 3 Lo studio della fissione dei nuclei composti prodotti con reazioni di fusione incompleta ($^{19}\text{F}+^{209}\text{Bi}$ $E_{\text{lab}}=130\text{MeV}$).
- 4 Lo studio della barriera di emissione in nuclei eccitati ($^{32}\text{S}+^{58}\text{Ni}$ $E_{\text{lab}}=350\text{MeV}$).
- 5 Lo studio del break-up coulombiano del ^6Li nell'interazione con un bersaglio di Pb ad energie prossime alla barriera.

Questi esperimenti sono stati approvati dal PAC dei LNL.

I primi tre esperimenti hanno riguardato lo studio della dinamica del processo di fissione.

Con l'esperimento ($^{28}\text{Si}+^{232}\text{Th}$ $E_{\text{lab}}=340\text{MeV}$) si è studiata la fissione indotta da processi di trasferimento. I frammenti simili al proiettile (PLF) sono stati rivelati con telescopi al silicio, ed è stato utilizzato come rivelatore dei frammenti di fissione (FF) l'intera PALLA di $8\pi\text{LP}$ (125 rivelatori da 35° a 170°). Sono state inoltre rivelate in coincidenza le particelle leggere sul MURO e sulla stessa PALLA e i neutroni evaporati a due angoli, uno in avanti e uno all'indietro. L'analisi preliminare dei dati relativi ai neutroni ha messo in evidenza molteplicità di prefissione compatibili con un ritardo della fissione di 2×10^{-21} sec e valori per le temperature di pre e post-fissione rispettivamente di 2.24 MeV e 1 MeV consistenti con una energia di eccitazione del nucleo composto di 218 MeV assumendo per il parametro di densità dei livelli $a=A/8 \text{ MeV}^{-1}$. Il confronto con i dati relativi alle particelle leggere è in corso di analisi. Dalle coincidenze PLF-FF si è ricavata la yield della fissione indotta dal trasferimento di nucleoni e l'anisotropia della fissione in funzione dello Z trasferito. L'analisi preliminare ha messo in evidenza un aumento della fissione e dell'anisotropia al crescere dello Z trasferito con un massimo per $Z_{\text{trasf}}=4$. Questo comportamento potrebbe indicare la presenza di un break-up del proiettile che inibisce il trasferimento di energia di eccitazione e momento angolare; è in corso un'analisi più approfondita.

Nel secondo esperimento ($^{32}\text{S}+^{100}\text{Mo}$ $E_{\text{lab}}=240 \text{ MeV}$) sono state osservate le particelle leggere rivelate in coincidenza con i residui di evaporazione ed i frammenti di fissione. In questa reazione infatti sono presenti entrambi i processi con sezioni d'urto comparabili. Per questo esperimento sono stati effettuati due turni di misura: uno con $8\pi\text{LP}$ ed un secondo, in collaborazione con il gruppo di Bari, sul punto misura dell'esperimento Ripen4 attrezzato per la rivelazione dei neutroni. Dalla misura della molteplicità di neutroni e particelle cariche di precissione e dagli spettri di energia, utilizzando il modello statistico, si può ottenere una stima del tempo di durata del processo nonché della deformazione media del sistema composto in via di scissione. Sulla base del modello la deformazione nucleare influenza il momento d'inerzia, la barriera di emissione e le energie di legame delle particelle; queste quantità determinano le forme spettrali nonché la competizione tra l'emissione di particelle cariche e neutroni soprattutto a causa della forte dipendenza della energia di legame delle particelle cariche dal grado di deformazione del nucleo. Ne risulta una maggiore probabilità di emissione per le particelle cariche nella evoluzione del nucleo da una configurazione di equilibrio a quella del punto sella, ed una maggiore probabilità di emissione per i neutroni nel passaggio dalla configurazione di punto sella alla scissione. Il codice statistico utilizzato per l'analisi dei dati, PACE, è stato implementato per tener conto della deformazione media del nucleo - fissione e l'analisi dell'esperimento è in corso.

Anche l'esperimento $^{19}\text{F}+^{209}\text{Bi}$ $E_{\text{lab}}=130 \text{ MeV}$ ha avuto come obiettivo lo studio della fissione. In precedenti misure sullo stesso sistema è stata osservata una anisotropia nella misura della distribuzione angolare dei frammenti lontana dalle previsioni del modello. L'esperimento vuole evidenziare la presenza di processi di fusione incompleta che potrebbero giustificare questo disaccordo. La misura della distribuzione angolare dei frammenti di fissione è stata ottenuta con dei rivelatori a piccolo angolo solido e con due rivelatori al silicio a strip ($5 \times 7 \text{ cm}^2$) si è misurato l'angolo di correlazione tra i frammenti. In coincidenza con i frammenti sono state inoltre rivelate le particelle leggere sul MURO di $8\pi\text{LP}$.

Dallo studio delle distribuzioni angolari e degli angoli di folding è possibile individuare la presenza di componenti di fissione dovute a trasferimento incompleto di impulso e le loro relazioni con le particelle leggere rivelate in coincidenza. Con l'analisi fino ad ora condotta si è ricavata la distribuzione angolare dei FF e si è osservato come l'angolo di correlazione medio aumenti per gli eventi di fissione in coincidenza con particelle alfa rivelate nel MURO. È in corso un'analisi quantitativa per mettere in evidenza la presenza di un trasferimento incompleto di impulso.

Con l'esperimento $^{32}\text{S}+^{58}\text{Ni}$ $E_{\text{lab}}=350 \text{ MeV}$ si è condotto uno studio sul processo di fusione-evaporazione per verificare le previsioni sul decadimento del nucleo composto basate sul modello

statistico e sul modello di coalescenza. Obiettivo dell'esperimento e' quello di evidenziare l'emissione di cluster da zone di bassa densita' alla periferia del nucleo che potrebbero spiegare l'abbondanza di particelle alfa di bassa energia osservata sperimentalmente ma non prevista dal modello statistico. Anche per questo esperimento e' in corso l'analisi dei dati. Dal confronto con il modello statistico (CASCADE) si e' osservato che le forme spettrali di protoni e alfa sono riprodotte aumentando il raggio di Modello Ottico del 25%. Si sono ricavati inoltre gli spettri di d, t, ^3He in coincidenza con i residui di evaporazione; questi dati permetteranno di misurare la temperatura nucleare con i due metodi di "slope" e rapporto isotopico. Si com il modello statistico e gli stessi dati saranno analizzati con il modello di coalescenza confrontando i risultati delle due analisi.

L'ultimo esperimento, riguardante lo studio delle sezioni d'urto di break-up del ^6Li , e' stato effettuato misurando la correlazione angolare tra i frammenti del break-up con i rivelatori della PALLA di $8\pi\text{LP}$. Una descrizione dettagliata di questa misura fa parte del consuntivo dell'esperimento EXOTIC.

I risultati preliminari di alcuni di questi esperimenti sono stati presentati alla International Conf. on Nuclear Reaction Mechanisms (Varenna) e alla Nucleus-Nucleus di Strasburgo.

Entro il 2000 verra' effettuato un esperimento con il rivelatore $8\pi\text{LP}$ per lo studio della dinamica della fissione nella reazione $^{58}\text{Ni}+^{122}\text{Sn}$. Questo esperimento sara' realizzato in collaborazione con il gruppo del prof. El Masri per completare lo studio di questo sistema iniziato al ciclotrone di Louvain-la-Neuve con il rivelatore di neutroni Demon.

L'analisi dei dati che si ottengono da un apparato complesso come $8\pi\text{LP}$ necessita di strumenti software adeguati. Con questo obiettivo si e' promossa una attivita' di sviluppo per la messa a punto di un software di analisi dati in collaborazione con il BARC di Bombay. Questa collaborazione ha portato alla realizzazione di una prima versione di software integrato nel programma ROOT utilizzabile su qualunque piattaforma UNIX. Sono state sviluppate in linguaggio C++ delle classi specifiche per il rivelatore $8\pi\text{LP}$. Si e' anche iniziato uno studio per l'utilizzo di reti neurali o algoritmi di analisi di immagini che permettano l'identificazione delle particelle in base alla localizzazione dell'evento sulle matrici DE-E, Tempo-E, PulseShape-E in collaborazione con il gruppo collegato di Trento (prof. Lazzizzera). Questa stessa tecnica potrebbe essere utilizzata on-line per il controllo attivo dei dati durante l'acquisizione.

Nell'ambito della collaborazione con il TAMU si e' realizzato l'esperimento $^{60}\text{Ni}+^{100}\text{Mo}$ a 11 MeV/amu per valutare il contributo del processo di break-up del ^5He in $^4\text{He}+n$ negli spettri alfa evaporativi. Si e' osservata la produzione di ^5He nelle misure di coincidenza alfa-neutroni. La sezione d'urto di questo processo non e' pero' sufficiente a giustificare l'ipotesi che l'eccesso di ^4He , rispetto alle previsioni del modello statistico, di particelle alfa di bassa energia sia imputabile totalmente al canale evaporativo di ^5He . I risultati di questo esperimento sono in corso di pubblicazione [B2]

Il gruppo ha inoltre collaborato con i ricercatori del TAMU per la messa a punto di un apparato che usa contemporaneamente il rivelatore per particelle cariche NIMROD inserito nella Neutron Ball. Questo apparato permette di associare le misure su $\sim 4\pi$ delle particelle cariche alla molteplicita' e distribuzione angolare dei neutroni e verra' utilizzato per lo studio degli effetti di coalescenza in nuclei caldi.

Proposta scientifica nuovo esperimento EDEN

Nel prossimo triennio la collaborazione EDEN intende portare avanti un programma scientifico di ulteriore approfondimento delle tematiche già affrontate, descritte nel consuntivo, ed iniziare una attività sperimentale con fasci radioattivi.

La dinamica del processo di fissione è stata uno dei soggetti principali della ricerca effettuata con il rivelatore 8 LP. Le caratteristiche del rivelatore sono infatti particolarmente adatte, rispetto agli apparati tradizionali, per lo studio della emissione di precisione di particelle cariche leggere poiché permette la rivelazione su grande angolo solido sia delle particelle cariche che dei frammenti di fissione. In particolare le coincidenze tra i frammenti di fissione, identificati in base alla analisi della forma del segnale, costituiscono un trigger selettivo per la misura delle particelle di precisione. La risoluzione dell'apparato non è però sufficiente per una misura della molteplicità di particelle in funzione della asimmetria di massa dei frammenti nonché per la misura della distribuzione in massa di questi ultimi. Poiché questi osservabili risultano importanti per lo studio della dinamica del processo [1] è in programma la realizzazione di un rivelatore a gas da inserire all'interno della palla dell'apparato 8 LP con una copertura angolare di circa il 5% di 4.

Il programma su questa linea di ricerca, iniziato con lo studio del sistema $32S+100Mo$, continuerà con una indagine su nuclei di media fissilità ($A=140\div 160$) basata su misure a diverse energie di eccitazione del nucleo composto. In tal modo sarà possibile determinare l'on-set degli effetti dinamici della fissione sull'emissione di particelle di precisione, nonché investigare sulla dipendenza della viscosità nucleare dalla temperatura, problema attualmente dibattuto. Inoltre il confronto delle molteplicità di precisione misurate in sistemi con e senza la presenza di fast-fission può fornire ulteriori informazioni sulla dinamica del processo [2].

Con il prossimo anno entrerà ufficialmente nella collaborazione EDEN il gruppo di Bari con l'apparato RIPEN che permette uno studio complementare a quanto può essere fatto con 8 LP potendo misurare molteplicità medie, distribuzioni angolari e spettri energetici di ^{32}S utilizzato per studiare il sistema $32S+100Mo$ $E_{lab}=240$ MeV. E' stato inoltre proposto al PAC dei LNL un nuovo esperimento che ne richiede l'utilizzo per lo studio della fissione di sistemi composti prodotti nella regione dei nuclei superpesanti ($Z>110$) attraverso la misura delle molteplicità di neutroni di pre- e post-scissione. Da queste misure sarà possibile ricavare informazioni sulla scala dei tempi e in generale sull'evoluzione della fissione per i nuclei di questa regione. Queste informazioni sono di fondamentale importanza per capire il meccanismo di produzione dei nuclei superpesanti attraverso il processo di fusione.

L'evoluzione termodinamica delle reazioni nucleari che portano alla formazione del nucleo composto e la diseccitazione di questo costituiscono l'altro tema di maggior interesse affrontato dalla collaborazione EDEN. L'obiettivo della ricerca è quello di descrivere nel modo più completo possibile l'evoluzione del nucleo composto dalla fase di preequilibrio alla fase di diseccitazione termodinamicamente equilibrata. Il modello statistico, principale strumento di indagine teorica, non descrive in modo soddisfacente alcune osservabili quali la forma spettrale delle particelle cariche evaporate per un certo numero di sistemi ad elevata energia di eccitazione. Un buon accordo si ottiene introducendo un aumento del 20-30% del raggio del potenziale di Modello Ottico. Questo risultato può essere spiegato assumendo un'espansione del nucleo o con la presenza di fluttuazioni di forma per effetto termico [3]. Per lo studio di questi fenomeni il sistema di rivelazione 8

LP rappresenta uno strumento di elevata sensibilità per la grossa copertura angolare e la buona dinamica di rivelazione. Su questa linea di ricerca è stato proposto recentemente al PAC dei LNL un

esperimento, da realizzare all'inizio del 2001, per estendere lo studio del sistema $^{32}\text{S}+^{58}\text{Ni}$ ad $E_{\text{lab}}=350$ MeV osservando l'emissione di cluster piu' pesanti (Li, Be). L'obiettivo e' quello di evidenziare l'eventuale presenza di emissione non puramente statistica per questi cluster, come gia' osservato nell'esperimento condotto in Texas [4]. Questo lavoro approfondira' le conoscenze sui modi di decadimento del nucleo composto individuando le componenti statistiche e non-statistiche a diverse energie di eccitazione.

Le componenti non-statistiche contengono infatti informazioni sui primi stadi della reazione e possono essere utilizzate per indagarne la dinamica e il grado di equilibratura raggiunto nei vari stadi di diseccitazione dal sistema composto.

Su questa linea di ricerca si prevedono misure su diversi sistemi che verranno confrontati con le previsioni del modello statistico per mettere in evidenza osservabili sperimentali che si discostano dalle previsioni di diseccitazione all'equilibrio. I dati verranno inoltre analizzati con il modello di coalescenza [5, 6] per ottenere indicazioni sulla dimensione della sorgente emettitrice attraverso il parametro di coalescenza P_0 , dedotto dalle yield misurate per i cluster evaporati. Scopo finale e' la determinazione della dimensione della sorgente di evaporazione e la descrizione dell'evoluzione delle temperature e della densita' lungo la cascata di diseccitazione.

Oltre all'attivita' sperimentale con 8 LP e RIPEN, che continua secondo il programma gia' definito, la collaborazione EDEN presenta una proposta di ricerca basata sull'utilizzo di fasci stabili e radioattivi per indagare sulla dipendenza delle proprieta' nucleari dalla temperatura con reazioni di particolare rilevanza per lo studio dei collassi stellari.

Questa attivita' si inquadra nel futuro sviluppo dei LNL che prevede la realizzazione di una facility di fasci radioattivi e consentira' di acquisire competenze sia in campo scientifico che strumentale per la fisica con fasci esotici.

L'attivita' sperimentale sara' condotta in stretta collaborazione con il gruppo del TAMU e prevede esperimenti con fasci stabili presso i LNL e con fasci esotici presso il ciclotrone del TAMU. Presso questi laboratori e' presente una strumentazione avanzata per la rivelazione di neutroni, particelle cariche e ioni pesanti (Neutron Ball + NIMROD in Texas, 8 LP + rivelatori di trigger e RIPEN a Legnaro) che permettono uno studio dettagliato delle reazioni di fusione presente una strumentazione avanzata per la rivelazione di neutroni, particelle cariche e ioni pesanti (Neutron Ball + NIMROD in Texas, 8p P + rivelatori di trigger e RIPEN a Legnaro) che permettono uno studio dettagliato delle reazioni di fusione-evaporazione anche con fasci di bassa intensita'.

Presso il TAMU sono gia' disponibili fasci di ^6He e ^{14}O e si sta sviluppando una linea adatta alla produzione di fasci esotici di massa piu' elevata prodotti per frammentazione del proiettile.

La collaborazione italiana a questo progetto avra' responsabilita' di rilievo nella realizzazione della strumentazione e proporra' esperimenti con propria leadership. Per quanto riguarda la parte strumentale, sara' responsabilita' della componente italiana la realizzazione de il tagging del fascio lungo la linea di frammentazione.

In allegato sono la proposta di collaborazione con la Texas A&M e la lettera di conferma del direttore del Laboratorio del Ciclotrone per la continuazione dell'attivita' di ricerca presso questo acceleratore.

Il piano finanziario, proposto per 3 anni, prevede da un lato il potenziamento dell'apparato 8 LP e dall'altro la partecipazione alla realizzazione della facility di fasci radioattivi al TAMU. Sono in programma numerosi esperimenti sia a Legnaro che in Texas che motivano una consistente richiesta di materiale di consumo e trasferte sia all'interno che all'estero.

REFERENZE

D.J.Hinde, Nucl. Phys. A553 (1993) 255

G. La Rana, Proceedings of the IX International conference on Nuclear Reaction Mechanisms, Varenna 5÷10 June 2000

3 J.M.Alexander et al., Proceedings of the Symposium on Nuclear Dynamics and Nuclear Disassembly, Dallas, Texas, ed. J.B.Natowitz (World Scientific, 1989)

4 R.J.Charity et al., submitted to Phys. Rev. C

5 H.Sato, K.Yazaki, Phys. Lett. B 98, (1981) 153

A.Z.Mekjian, Phys. Lett. B 89, (1980) 177

Study of temperature effects in nuclei and the physics
of Stellar Collapse using the FRAGMENTATION LINE at TAMU.

Abstract

We intend to study the possibility of performing a campaign of measurements of fusion-evaporation reactions populating nuclei in the $A=50-70$ region to study temperature effects on the nuclear level density and symmetry energy in the range $T < 3$ MeV. Such effects are suggested to play a central role in supernova explosion. The measurements will be performed by using stable beams available at LNL and TAMU as well as RIB produced at TAMU. The participation of the INFN to the construction of the FRAGMENTATION LINE at TAMU is envisaged.

Members of the collaboration

J.B.Natowitz , K. Hagel, R. Wada, T. Keutgen, M. Murray, S. Shlomo (Cyclotron Institute, Texas

A&M University, USA)

G. Prete, E. Fioretto, M. Cinausero, S. Pesente, D.V. Shetty (INFN, Legnaro, Italy)

D. Fabris, M. Lunardon, S. Moretto, G. Nebbia, V. Rizzi, G. Viesti (INFN, Padova, Italy)

A. Brondi, R. Moro, G. LaRana, E. Vardaci (INFN, Napoli, Italy)

F. Lucarelli, N. Gelli, P. Blasi (INFN, Firenze, Italy)

In the work of the Milan Group (P. Donati et al, PRL 72, 1994, 2835) the temperature dependence of the nucleon effective mass has been calculated for the nuclei ^{98}Mo , ^{64}Zn and ^{64}Ni . It was found that in all 3 cases that the effective mass decreases appreciably in the temperature interval 0-1 MeV. This has consequences, among other things, on the level density parameter and on the symmetry energy. In particular an increase of the symmetry energy was found with temperature:

$$E_{\text{sym}}(T) = b_{\text{sym}}(T) (N-Z)^2/A$$

With $b_{\text{sym}}(T)$ increasing by about 2.5 MeV as T increases from 0 to 1 MeV ($b_{\text{sym}}(0) = 28$ MeV).

Such a change in the symmetry energy contribution to the binding energy would have strong influences on the dynamics of the supernova collapse and explosion, as predicted by P. Donati et al.

In a second work, the Cal Tech group (D.J. Dean et al., PLB356 (1995) 429) studied the properties of various nuclei with $54 < A < 64$ for temperatures $T < 1.2$ MeV via Monte Carlo shell model calculations. In accord with empirical indications, they find no systematic temperature dependence of the symmetry energy coefficient $b_{\text{sym}}(T)$, for $T < 1.2$ MeV.

We propose here to extend the investigation on the temperature dependence of the nuclear properties, performed by our group in the past, to nuclei involved in the supernova explosion, to definitively test the theoretical predictions.

It is suggested that the dependence of $b_{\text{sym}}(T)$ would influence the binding energy and therefore the multiplicity of the particles evaporated from the compound nucleus, inducing differences with respect to the multiplicities that can be predicted by Statistical Model using the cold nucleus masses.

The temperature dependence of the binding energy would be evidenced by measuring excitation functions of the fusion evaporation reactions, starting from the lowest possible energy up to E_x around 100 MeV, corresponding to 3 MeV temperature in this mass region. The measurement of exclusive charged particle multiplicity and energy spectra as a function of the bombarding energy would allow us to detect variations of both binding energies and level densities as a function of the excitation energy. Direct subtraction of spectra or unfolding of the detected parameters as a function of the bombarding energy would allow us to map out the behaviour of the different parameters versus T for a given compound nucleus, as done in the past (see M. Gonin et al., Phys. Lett. B 217, 1989, 406).

In this case, it is of great importance to control the entrance channel dynamics of the fusion reaction, to take into account possible contamination effects from incomplete-fusion reactions.

Such a reaction studies will be done with stable beams using available 4pi detector systems (8plp at LNL and NIMROD at TAMU). Light heavy ion beams (as He, Li, Be, C, O) would be used to avoid uncertainties due to angular momentum effects in light nuclei.

After these preliminary measurements, it will be desirable to vary substantially the N/Z ratio of the compound nucleus to see changes on Esym(T). To this end RIB are needed to study in a more quantitative way the effects .

As an example, to study the A=64 isobars, the following reactions are possible:

$16\text{O} + 48\text{Ca}$ at 100 MeV forming 64Ni at 100 MeV excitation

$16\text{O} + 48\text{Ti}$ at 115 MeV forming 64Zn at 100 MeV excitation

with stable beams and

$55\text{Ni} + 9\text{Be}$ at 550 MeV forming 64Ge at 100 MeV excitation

$50\text{Ca} + 12\text{C}$ at 400 MeV forming 64Fe at 100 MeV excitation.

with RIBs.

For other isobaric families, experiments are possible also by using 6He or 14O beams which should be readily available.

The proposed time schedule of this experiment will consist of 3 steps:

2000: Definition of the project.

2001-2002: Campaign of measurements with stable beams, data analysis. Definition of the RIB production capability at TAMU either using the MARS spectrometer or using the FRAGMENTATION LINE. Test of RIB production. (Milestone at +24 months)

2003: Campaign of measurements with RIB at TAMU.

The INFN will contribute to the FRAGMENTATION LINE at the K500 at TAMU, which will allow the study of reactions with RIBs using NIMROD. With this highly powerful instrument, counting rates of about 1 Hz are expected using secondary beams with intensity of the order of about 10⁵ particles per second. The INFN contribution will consist in the design and construction of the beam tagging system, made of highly transparent MWPCs and multiple Delta-E ionisation chambers to measure TOF and Z of the secondary ions.

The interest of the INFN groups in the EDEN Collaboration to the development of the FRAGMENTATION LINE is not only related to the specific research project outlined here, but also to reaction mechanisms studies with the NEUTRON BALL and NIMROD, which have been the subject of collaboration between INFN and TAMU for several years.

The INFN groups will present this project for budget allocation within September 2000. If the project is approved, a specific MoU will be prepared between INFN and the Cyclotron Institute of TAMU. The extension of the INFN-TAMU collaboration in the field of studies with RIBs will be the base of possible future collaboration in the same field at the RIA facility.

G. Prete, A. Brondi for EDEN collaboration
J.B. Natowitz for the Cyclotron Institute of TAMU
Collaborazione EDEN giugno 2000

50% 70% 70% 20% 100%
M. Cinausero, E. Fioretto, G. Prete, S. Pesente, D. Shetty
Laboratori Nazionali di Legnaro

50% 30% 80%
F. Lucarelli, P. Blasi, N. Gelli
I.N.F.N. Sezione di Firenze

60% 40% 50% 50% 20%
A. Brondi, G. La Rana, R. Moro, E. Vardaci, A. Ordine,
60%
ric. INFN (nuova assunzione)
I.N.F.N. Sezione di Napoli

100% 40% 40% 20% 100%
D. Fabris, G. Nebbia, G. Viesti, M. Lunardon, S. Moretto,
100%
V. Rizzi
I.N.F.N. Sezione di Padova

20% 20% 20% 20% 20%
G. D'Erasmus, A. Pantaleo, E. Fiore, D. Di Santo, M. Palomba
I.N.F.N. Sezione di Bari

Tot ricercatori equivalenti 12.5
Laboratori Nazionali di Legnaro (3,1)
I.N.F.N. Sezione di Firenze (1,6)
I.N.F.N. Sezione di Napoli (2,8)
I.N.F.N. Sezione di Padova (4)
I.N.F.N. Sezione di Bari (1)

Note al piano finanziario

Alla collaborazione EDEN partecipano le sezioni di Legnaro, Padova, Napoli, Firenze e Bari. La sezione di Bari curerà la reinstallazione dell'apparato RIPEN nella terza sala sperimentale dei LNL e zione per le misure neutroniche.

I ricercatori partecipanti all'esperimento sono 25 pari a 12.5 ricercatori equivalenti.

La richiesta finanziaria globale per tre anni è di circa 2 miliardi.

Materiale di consumo: le spese per il materiale di consumo riguardano principalmente l'acquisto di rivelatori di ricambio per 8 LP e la realizzazione di rivelatori a gas per il potenziamento delle caratteristiche dell'apparato. Verranno realizzati rivelatori a gas per frammenti di fissione per la misura della distribuzione angolare in piano e la definizione dei rapporti di massa dei frammenti di fissione. E' inoltre in programma la realizzazione di 8 rivelatori a bassa soglia per ioni di massa intermedia ($Z = 5 \div 15$), costituiti da una camera a ionizzazione seguita da un rivelatore al silicio, da utilizzare come rivelatori specializzati per questa classe di particelle.

Per l'attività in collaborazione con il Texas si prevede di realizzare rivelatori sensibili alla posizione del tipo MWPC per il tagging del fascio lungo la linea di frammentazione.

Altre spese di consumo riguardano riparazioni di elettronica e manutenzioni.

La spesa globale prevista è di 756 ML di cui 341 ML nel 2001.

Materiale inventariabile: le spese di materiale inventariabile sono relative all'acquisto dell'elettronica necessaria per il funzionamento dei rivelatori a gas sviluppati.

La spesa globale prevista è di 218 ML di cui 129 ML nel 2001.

Missioni interne: le spese di trasferta interna coprono la mobilità dei ricercatori per la partecipazione a 3 turni presso i LNL, a 2 riunioni all'anno della collaborazione e per alcune riunioni di lavoro specifiche. Per Napoli e Bari sono previsti interventi tecnici per la manutenzione dei punti misura. Si fa presente che i LNL non dispongono di personale tecnico da dedicare alla manutenzione dei singoli apparati.

La spesa globale prevista è di 518 ML di cui 189 ML nel 2001.

Missioni estere: le missioni all'estero per il 2001 sono valutate sulla previsione del seguente piano di lavoro:

2 beam times per il test con RIB (rear ion beam) (2 settimane incluso il set-up strumentale per 4 ricercatori),

1 beam time per esperimenti con NIMROD (2 settimane incluso il set-up strumentale per 3 ricercatori),

2 interventi di montaggio e test di strumentazione con sorgenti al TAMU (1 settimana per 3 ricercatori);

TOTALE; 28 settimane-ric 1 viaggio in USA (7 giorni + biglietto aereo): 5 MLit

TOTALE 140MLit

1 viaggio per contatti scientifici con TAMU per 2 ricercatori Bari (5 giorni+viaggio)

La spesa globale prevista è di 484 ML di cui 148 ML nel 2001 così suddivisi:

Na: 40 ML, Fi: 10 ML, LNL:40 ML, Pd: 50 ML, Ba: 8 ML

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

PREVISIONE DI SPESA**Piano finanziario globale di spesa****In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Materiale di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	189	148	341	13			129		820
2002	199	168	204	13			89		673
2003	130	168	211	8					517
TOTALI	518	484	756	34			218		2010

Note:

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA (cont.)

LAUREANDI Cognome e Nome	Associazione		Titolo della Tesi
	SI	NO	
Scherillo Antonella Relatore Brondi Augusto	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	Studio della dinamica della fissione con la reazione 32 s + 100 MO
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	

	Denominazione	mesi-uomo	SERVIZI TECNICI Annotazioni
1	Officina Meccanica	1	
2	Servizio Elettronica	3	

INTERAZIONI CON LE INDUSTRIE (COMMESSE HIGH TECH)

DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA
Silena International	Moduli ADC e TDC a 32 vie

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

REFEREES DEL PROGETTO

Cognome e Nome	Argomento
prof. Bonetti	Problematiche scientifiche e congruenza economica del progetto EDEN

MILESTONES PROPOSTE PER IL 2001

Data completamento	Descrizione
6/30/2001	Completamento analisi dati esperimenti realizzati nel 1999
6/30/2001	Completamento sistema software analisi dati
6/30/2001	Presenza dati per due esperimenti al Tandem-Linac dei LNL
12/30/2001	Costruzione dei rivelatori MWPC per linea di frammentazione TAMU
12/30/2001	Realizzazione di un rivelatore per frammenti di fissione per 8pLP
12/30/2001	Presenza dati per un terzo esperimento al Tandem-Linac dei LNL ed un esperimento al TAMU (TEXAS, USA)

COMPETITIVITA' INTERNAZIONALE

L'esperimento EDEN si avvale di una strumentazione di punta a livello internazionale per la realizzazione di esperimenti di fisica nucleare nel campo dei meccanismi di reazione (8pLP e RIPEN, presso i LNL, e Neutron-ball e NIMROD, presso il TAMU, Texas). Si propone per il prossimo triennio la realizzazione di esperimenti con fasci sia stabili che radioattivi per indagare il comportamento ad alta energia di eccitazione di nuclei 'lontani dalla valle di stabilita'. L'indagine su questi temi e' attualmente di grande interesse.

LEADERSHIPS NEL PROGETTO

Cognome e Nome	Funzioni svolte
Prete Gianfranco	Responsabile Naz. Linea di ricerca Fusione - Evaporazione
Brondi Augusto	Responsabile Naz. Linea di ricerca Fissione
Fabris Daniela	Responsabile locale Padova
Fioretto Enrico	Responsabile locale LNL
Gelli Nicla	Responsabile locale Firenze
Pantaleo Ambrogio	Responsabile locale Bari

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

Consuntivo anno 1999/2000

LAUREATI		
Cognome e Nome	Titolo della Tesi	Sbocco professionale
Basile Caterina Laurea in Fisica	Dinamica della fissione di nuclei composti	Società di software
Laurea in		
DOTTORI di RICERCA		
Dott in		
PRESENTAZIONI A CONFERENZE SU INVITO E SEMINARI SIGNIFICATIVI		
Relatore	Titolo	Conferenza o luogo
La Rana Giovanni	Study of the fission process in systems of intermediate fissility	Int.Conf.(Varenna)
Vardaci Emanuele	Future of modern Acquisition Systems	Eurisol Meeting

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

Consuntivo anno 1999/2000

SIGNIFICATIVE VARIAZIONI DI BILANCIO

Capitolo	Variazione (ML)	Motivazione
Missioni Interne	_____	
Missioni Estere	_____	
Consumo	_____	
Trasporti e Facchinaggio	_____	
Spese Calcolo	_____	
Affitti e Manutenzioni	_____	
Materiale Inventariabile	_____	
Costruzione Apparati	_____	
Totale storni	_____	

CONFERENZE, WORKSHOP e SCUOLE ORGANIZZATE in ITALIA

Data	Titolo	Luogo

SIGNIFICATIVE COMMESSE E RELATIVO IMPORTO

ANAGRAFICA FORNITORE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA	IMPORTO (ML)

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

Consuntivo anno 1999/2000**MILESTONES RAGGIUNTE**

Data completamento	Descrizione
2/28/2000	Attivazione di una collaborazione scientifica con UCL (Belgio)
3/30/2000	Realizzazione esperimenti con 8pLP:32S+58Ni, 19F+209Bi, 6Li+208Pb
3/30/2000	Collaborazione con TAMU per test-run apparato di misura NIMROD+neutron ball
4/30/2000	Messa a punto della prima versione di software per analisi dati basato su ROOT
6/30/2000	Progettazione e commessa per realizzazione struttura raffreddata per 8pLP
6/30/2000	Primi risultati esperimenti 8pLP presentati a conferenze internazionali

Commento al conseguimento delle milestones

La collaborazione con UCL ha portato alla presentazione di un esperimento presso i LNL per lo studio della dinamica della fissione. Lo sviluppo del software di analisi si è rivelato di grande efficienza e sarà impletato ulteriormente.

SVILUPPO DI STRUMENTAZIONE INNOVATIVA

E' stato sviluppato un bus user -defined su standard (bus FAIR) per il trasferimento dati ed è stato realizzato un sistema di acquisizione dati con capacità di auto-configurazione ed elevato rate di acquisizione.

Ricadute su altri gruppi, sul sistema industriale e su altre discipline

Altri due gruppi di ricerca hanno utilizzato il sistema di acquisizione dati sviluppato per 8pLP. I moduli di front-end (ADC e TDC a 32 canali su singola scheda VME) sono stati sviluppati in collaborazione con la ditta italiana SILENA International e sono attualmente disponibili commercialmente.

Codice	Esperimento	Gruppo
1135	EDEN	3

Struttura
NAPOLI

Elenco delle pubblicazioni anno 1999/2000

98	ALPHA PARTICLE EMISSION FROM THE ^{198}Pb COMPOUND NUCLEUS COMPARISON BETWEEN THE FUSION-EVAPORATION AND THE...	Eur.Phys.J. A2 (1998) 55		
98	THE 8pLP PROJECT AT LNL:A 4p LIGHT CHARGED PARTICLE DETECTION SYSTEM (1998) 432	Nucl.Inst.and Meth.A 409		
98	INFLUENCE OF THE ENTRANCE CHANNEL IN THE FUSION REACTION	Nucl. Phys.A 635 (1998)	318 MeV $^{74}\text{Ge}+^{74}\text{Ge}$	325
98	EXCITATION ENERGY DEPOSITION IN $^{209}\text{Bi}(a,a')$ REACTION AT 240 MeV (1998)	Phys. Rev.C Vol 58,2		
98	GIANT DIPOLE EMISSION IN N/Z ASYMMETRIC HEAVY-ION REACTIONS (1998) 613	Il Nuovo Cim.A111		
98	FAIR: A NEW FAST TRIGGER AND READ-OUT BUS SYSTEM Science 45 (1999) 873	IEEE Trans. On Nuclear		
99	THE 8pLP PROJECT AT LNL:A DETECTION SYSTEM FOR LIGHT CHARGED PARTICLES WITH DEEXCITATION CHANNEL SELECTION	Nucl.Inst.and Meth.A 422 (1999) 263		
99	FRAGMENT DEPENDENCE OF HIGH ENERGY g-RAY EMISSION IN THE	Eur. Phys.J.A 4(1999)343	SPONTANEOUS FISSION OF ^{252}Cf	
99	ALPHA PARTICLE EMISSION, INCOMPLETE FUSION AND POPULATION OF HIGH-SPIN STATES IN THE REACTION $^{120}\text{MeV } ^{19}\text{F}+^{191}\text{Ta}$	Nucl. Phys.A 652(1999)3		
99	ENERGY DEPOSITION AND GDR EMISSION IN THE REACTION $^{209}\text{Bi}(a,a')$ AT 240 MeV	Nucl.Phys.A 652(1999)17		
99	ENERGY DEPOSITION AND GDR EMISSION IN INELASTIC ALPHA PARTICLE SCATTERING 165C	Nucl.Phys.A 649 (1999)		
99	FRAGMENT SPIN AS A FUNCTION OF THE MASS ASYMMETRY IN HEAVY ION INDUCED FISSION REACTIONS	Phys. Rev. C60(1999)		
2000	STUDY OF THE Mo-Ba PARTITION IN ^{252}Cf SPONTANEOUS FISSION	Eur. Phys.J.A7,(2000)189		