

# Misura di sezioni d'urto di reazioni nucleari di interesse astrofisico

- Reazioni di cattura radiativa di isotopi di H ed He hanno un ruolo cruciale nei modelli che descrivono la nucleosintesi e l'evoluzione stellare
- I separatori di nuclei di rinculo offrono una metodica efficace per la complessa misura, caratterizzata da valore bassissimo (circa  $10^{-17}$ b), e sono diventati uno strumento potente per studi sperimentali in astrofisica nucleare



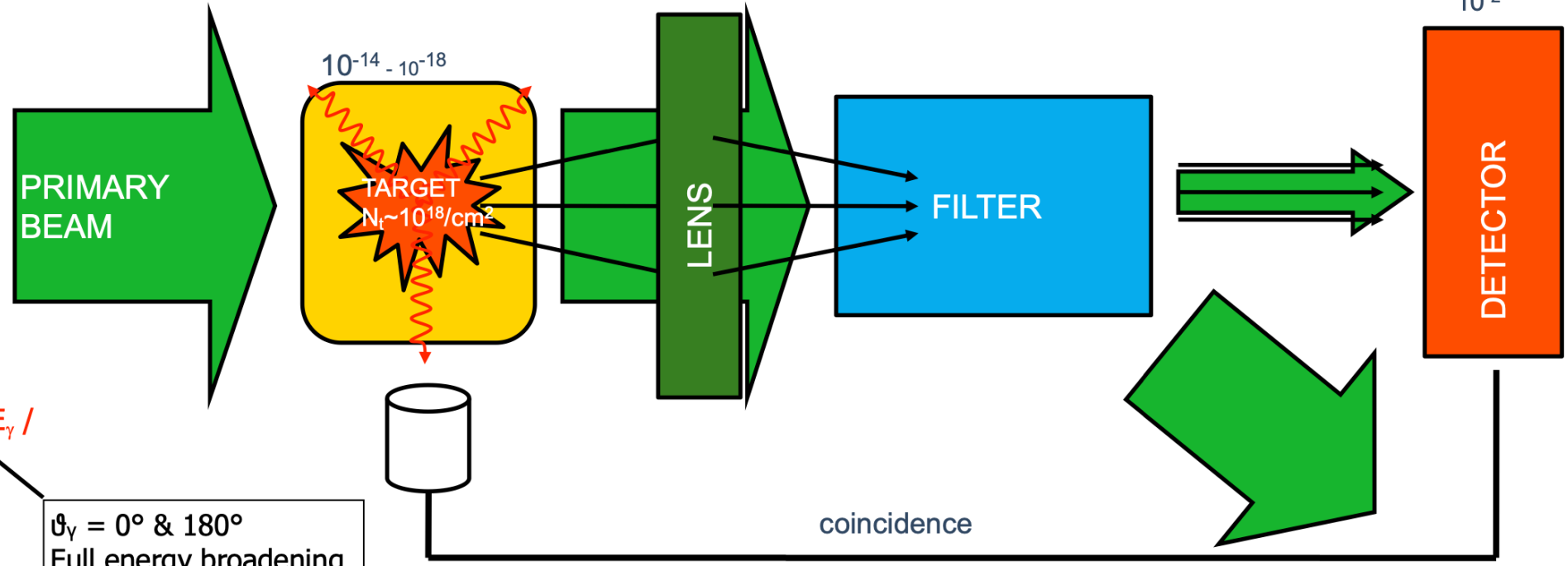
ERNA has been designed for the measurement of radiative capture reactions of astrophysical interest. The reaction is induced by letting the heavy particle as a projectile impinge on a windowless gas target, and collecting in the end detector the nuclei produced in the fusion process. At present the separator features a  $^4\text{He}$  supersonic jet gas target, that allows to keep the target confined in a volume of a few millimeters of diameter. A compact array of NaI scintillator detectors can be coupled to the gas target for prompt  $\gamma$ -ray spectroscopy and angular distribution determinations.

# La reazione $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$

- C e O prodotti principali del He burning
- la  $\sigma$  della reazione determina C/O alla fine del "He b"
- C/O influenza sia produzione elementi pesanti sia il valore della massa del core stellare prima dell'esplosione
  
- Considerata la reazione chiave in astrofisica nucleare
- Per migliorare i modelli di evoluzione stellare è necessario conoscere il rate di reazione a energia di circa 300keV con accuratezza migliore del 10%

# Misura $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$ in cinematica inversa

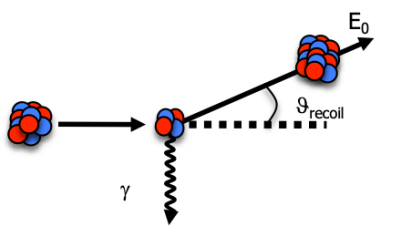
Example  $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$   
 $E_{\text{cm}} = 1.2 \text{ MeV}$   
 $E_{\gamma} = 8.4 \text{ MeV}$



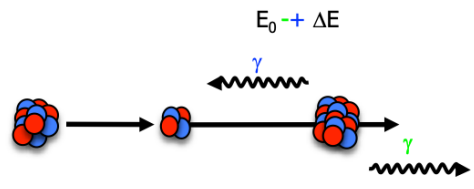
$\vartheta_{\gamma} = 90^{\circ}$   
 Full angular broadening

$\vartheta_{\gamma} = 0^{\circ} \text{ \& \ } 180^{\circ}$   
 Full energy broadening

$$p_{\gamma} = \frac{E_{\gamma}}{c}$$



$$\vartheta_{\text{recoil}} \approx \tan^{-1}\left(\frac{\Delta p}{p}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{E_{\gamma}/c}{p_{\text{recoil}}}\right)$$



$$\frac{\Delta E}{E_0} \approx 2 \frac{\Delta p}{p} = 2 \frac{E_{\gamma}/c}{p_{\text{recoil}}}$$

$\vartheta_{R_{\text{max}}} = 26 \text{ mrad}$   
 $\Downarrow$   
 $\varnothing 52 \text{ mm after 1 m!}$   
 $\Delta E \sim \pm 185 \text{ keV}$   
 $E_0 = 3.6 \text{ MeV}$

$10^{-2}$

DETECTOR

coincidence

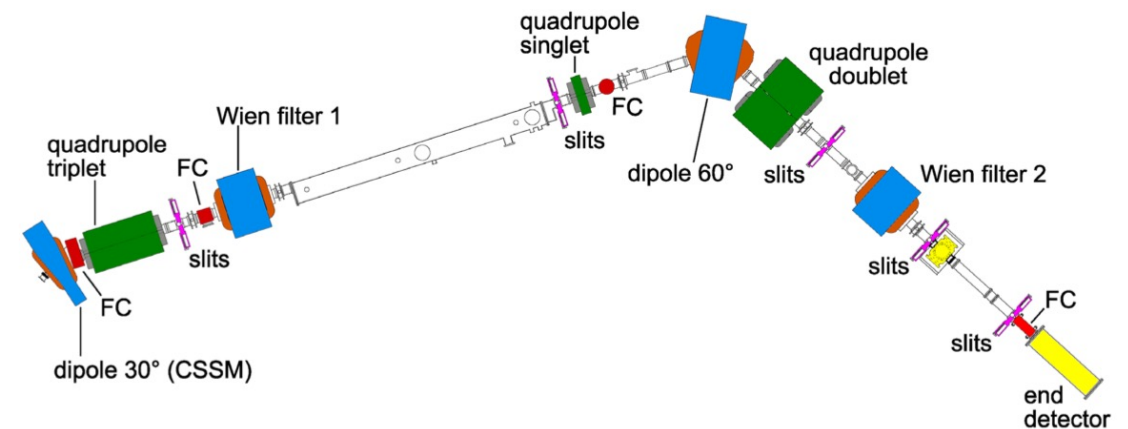
# Separatore di rinculi ERNA



L'apparato ERNA dell'INFN è ospitato dal laboratorio Tandem del CIRCE-DMF con un accordo tra la sezione INFN di Napoli e il Dip. di Matematica e Fisica Unicampania. Il laboratorio ospitante fornisce tutte le utenze di supporto al funzionamento e il fascio ionico accelerato per le misure.

## Apparato ERNA: lista dei componenti principali

- 15 metri di linea di fascio con 10 elementi ottici, sistemi di diagnostica del fascio e vari attuatori elettromeccanici e pneumatici;
- 20 alimentatori HV;
- 29 pompe da vuoto (15 pompe turbo molecolari) con relativi alimentatori e controllori;
- 15 punti di lettura per il vuoto con relativi controlli;
- 1 compressore per elio ad alta portata;
- 9 sistemi tesla meter;
- Hardware e software per i sistemi di controllo LabView;
- Array- $\gamma$  (fino a 20 NaI) con relativi alimentatori e basette;
- Detector finale  $\Delta E-E + TOF$ ;
- Sistema di acquisizione digitale a 32 canali;



# ERNA2 – Programma di svolgimento

	2025				2026				2027			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
ASBeST	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
$^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
$^{15}\text{N}(\alpha, \gamma)^{19}\text{F}$	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
$^6\text{Li}(\alpha, \gamma)^{10}\text{B}$	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
GASTLY	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
maintenance & checks	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

## Note:

- 1 - Per ogni turno di misura con fascio è necessario un turno di preparazione dell'apparato.
- 2 - Periodicamente si procede a turni di verifica e mantenimento della funzionalità degli apparati ( allineamento del separatore, controllo dei sistemi di diagnostica del fascio, ... )
- 3 - I turni senza fascio incidono sul budget per le sole spese di missione.
- 4 – Per i turni ASBeST non sono richiesti fondi (PRIN2020).

		2025	2026	2027
ASBeST	setup & preparation	4		
	hot chemistry	2		
	data taking	4		
$^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$	setup & preparation	3		
	data taking	3		
$^{15}\text{N}(\alpha, \gamma)^{19}\text{F}$	setup & preparation	3	6	
	ancillary measurements	3	2	
	data taking		4	
$^6\text{Li}(\alpha, \gamma)^{10}\text{B}$	setup & preparation		3	8
	ancillary measurements		3	2
	data taking			6
maintenance & checks		3	3	3

Table 1: Actual time required for activities at the CIRCE laboratory in weeks. Ancillary measurements and data taking require the use of the accelerator.

## Afferenti ad ERNA 2

cognome	nome	strutt	contratto	profilo	stato	af	perc
Best	Andreas	NA	Associato	Incarico di Ri	Attivo	3	30%
Buompane	Raffaele	NA	Associato	Scientifica R	Attivo	3	50%
D'Onofrio	Antonio	NA	Associato	Associazione	Attivo	3	*
De Cesare	Mario	NA	Associato	Scientifica D	Attivo	3	50%
Di Leva	Antonino	NA	Associato	Incarico di Ri	Attivo	3	70%
Formicola	Alba	ROMA1	Dipendente	Primo Ricerc	Attivo	3	15%
Gialanella	Lucio	NA	Associato	Incarico di Ri	Attivo	3	40%
Imbriani	Gianluca	NA	Associato	Incarico di Ri	Attivo	3	25%
Itaco	Nunzio	NA	Associato	Incarico di Ri	Attivo	4	30%
Marzaioli	Fabio	NA	Associato	Scientifica R	Attivo	3	40%
Morone	Maria Cristin	ROMA2	Associato	Incarico di Ri	Attivo	3	30%
Neitzert	Heinrich Chr	NA	Associato	Tecnologica I	Attivo	3	50%
Passariello	Isabella	NA			Contratto no	3	50%
Porzio	Giuseppe	NA			Contratto no	3	100%
Rapagnani	David	NA	Associato	Scientifica R	Attivo	3	30%
Romoli	Mauro	NA	Dipendente	Primo Ricerc	Attivo	3	60%
Santonastaso	Claudio	NA	Associato	Scientifica A	Attivo	2	50%
Straniero	Oscar	ROMA1	Associato	Scientifica D	Attivo	3	25%

Ricercatori: 18 (7.45 FTE)

[NA](#) - Raffaele Buompane

[ROMA1](#) - Alba Formicola

[ROMA2](#) - Maria Cristina Morone



# Assegnazioni 2024

struttura ▼	dtz ▼	missioni ▼	consumo ▼	trasporti ▼	manutenzio ▼	inventari ▼	ap ▼	▼	spservizi ▼	spservizi_sj ▼	totali ▼	totali_sj ▼
NA		14.5	5	6	8	8.5	8		27	11	77	11
ROMA1	true	4.5	3.5								8	
Totale		19	8.5	6	8	8.5	8		27	11	85	11