

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sezione di Genova

INFN/TC-92/14
22 Aprile 1992

M.Taiuti, E.Durante, U.Lantero, F.Parodi:

**UN SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO PER LA FACILITY JET-TARGET
INSTALLATA IN ADONE**



**UN SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO PER LA FACILITY JET-TARGET
INSTALLATA IN ADONE**

M.Taiuti, E.Durante, U.Lantero e F.Parodi
I.N.F.N.-Sezione di Genova, I-16146, Genova, Italy.

SOMMARIO

E' stato realizzato un sistema di raffreddamento per la Jet-target installata in ADONE in grado di operare sottovuoto. E' costituito da un criogeneratore accoppiato tramite una calza in rame ad un blocco di rame che raffredda il gas prima dell'iniezione nel nozzle. Il sistema ha un rendimento ottimale per temperature del nozzle comprese tra 150 °K e 300°K, mentre per temperature inferiori è necessario integrarlo con un sistema di pre-raffreddamento del gas posto all'esterno della camera da vuoto.

1. INTRODUZIONE

L'impiego di fasci molecolari condensati come bersagli in macchine riciccolanti si è dimostrato una tecnologia ottimale per sfruttare le caratteristiche dei fasci accumulati, in particolare i bassi fondi e l'elevata corrente^[1]. La maggior parte dei dispositivi realizzati è in grado di produrre fasci, principalmente di Idrogeno, alla temperatura dell'azoto liquido^[2]. La realizzazione di dispositivi in grado di operare efficacemente sotto vuoto a temperature intermedie tra 77 °K e la temperatura ambiente ed in grado quindi di fornire fasci molecolari di elementi particolarmente interessanti per la sperimentazione nella fisica nucleare quali l'Ossigeno non è semplice e richiede la soluzione di diversi problemi tecnici legati alla geometria della camera da vuoto utilizzata^[3].

L'apparato Jet-target^[4] installato in ADONE per la realizzazione di un bersaglio ultrasottile di Argon ottenuto mediante la produzione di un fascio molecolare condensato a temperatura ambiente è stato completato con un sistema di raffreddamento del gas e del nozzle. Il sistema è stato progettato per poter operare con continuità e con manutenzione minima. Il sistema ha permesso di aumentare l'intensità del fascio di Argon già operante a temperatura ambiente e di produrre un fascio di Ossigeno. In questo lavoro viene descritto l'apparato e vengono discusse le sue prestazioni in funzione del tipo di gas e dell'intensità del jet.

2. IL SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO

La produzione di un fascio molecolare condensato avviene tramite espansione adiabatica nel vuoto attraverso un ugello a forma conica divergente (nozzle); il fascio è costituito da microagglomerati (clusters) atomici che si formano a seguito della condensazione del gas durante l'espansione. La dimensione dei clusters e quindi la densità dei fasci è legata a quanto lo stato del gas (pressione p_0 e temperatura T_0) all'interno del nozzle è prossimo alla transizione di fase^[5,6]. Per aumentare l'intensità del fascio già operante a temperatura ambiente e per produrre fasci di elementi più leggeri è necessario introdurre all'interno della camera da vuoto un sistema in grado di operare a temperature inferiori a quella ambiente mantenendo il nozzle alla temperatura voluta e pre-raffreddando il gas. Nel nostro apparato, mostrato in figura 1, le due funzioni sono svolte da uno scambiatore di calore in rame accoppiato direttamente al nozzle. Lo scambiatore di calore è collegato ad una versione modificata di un dito freddo modello Leibold RGS20 in grado di scendere in temperatura fino a 80 °K erogando una potenza refrigerante di 20 W. Il collegamento è stato effettuato mediante una treccia di fili di diametro 0.35 mm in rame di sezione efficace 1 cm² e lunghezza 40 cm. La massa di rame collegata al dito freddo è pari a \approx 3 Kg.

Lo scambiatore di calore ed il nozzle sono sostenuti da una piastra di polietilene HD1000 della Hangst-Pfister in modo da ridurre le dispersioni di calore ed, insieme alla calza di rame, sono rivestiti di mylar alluminato in modo da ridurre l'assorbimento di calore per irraggiamento. Una stima dell'assorbimento di calore in seguito a conduzione ed irraggiamento mostra che questi contributi sono trascurabili rispetto al contributo dovuto al raffreddamento del gas.

Il sistema è inoltre fornito di una termoresistenza modello Minco HK5406 alimentata a 24 V. con potenza riscaldante pari a 26 W montata sullo scambiatore di calore per poter effettuare rapide variazioni di temperatura e di due elementi sensibili a resistenza di platino modello S8231 forniti dalla ditta Corradi montati rispettivamente sulla testa fredda e sullo scambiatore di calore.

Il sistema opera sotto vuoto nella camera da vuoto superiore della Jet-target.

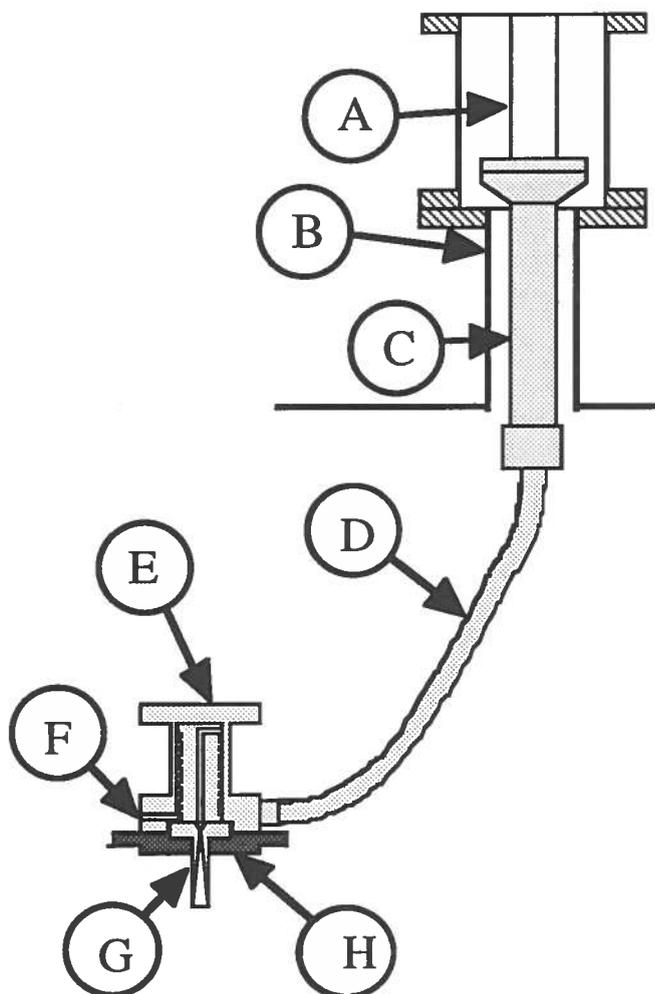


Fig.1 - Sezione del sistema di raffreddamento:

- A - Parte terminale dito freddo,
- B - Camera da vuoto,
- C - Raccordo in rame,
- D - Calza in rame,
- E - Scambiatore di calore,
- F - Ingresso gas,
- G - Nozzle,
- H - Supporto in polietilene.

In figura 2 è riportato uno spaccato dello scambiatore costituito da due blocchi cilindrici di rame coassiali. Il cilindro minore di diametro 30 mm presenta scavata sulla superficie esterna

una spirale di lunghezza 80 cm e sezione 6 mm^2 ottenuta con una lavorazione al tornio. Il cilindro è stato ulteriormente lavorato in modo da collegare la parte superiore della spirale con la base inferiore del cilindro tramite due fori, uno coassiale ed uno radiale, di sezione 6 mm^2 . Nel cilindro maggiore è stato praticato un foro di diametro minore di 0.1 mm rispetto a quello esterno del cilindro minore ed in grado di alloggiare completamente quest'ultimo. I due cilindri sono stati quindi inseriti uno all'interno dell'altro raffreddando il cilindro minore nell'azoto liquido di modo che le sue dimensioni effettive fossero minori di quelle del foro praticato nel cilindro maggiore. In questo modo, raggiunto l'equilibrio termico i due pezzi sono venuti a comporre un blocco unico in grado di tenere pressioni superiore a 20 bar. Nella parte inferiore del blocco è stato quindi scavato l'alloggiamento del nozzle e la tenuta è stata realizzata fissando il nozzle al blocco mediante la contropiastra di polietilene rinforzata con 5 mm di acciaio.

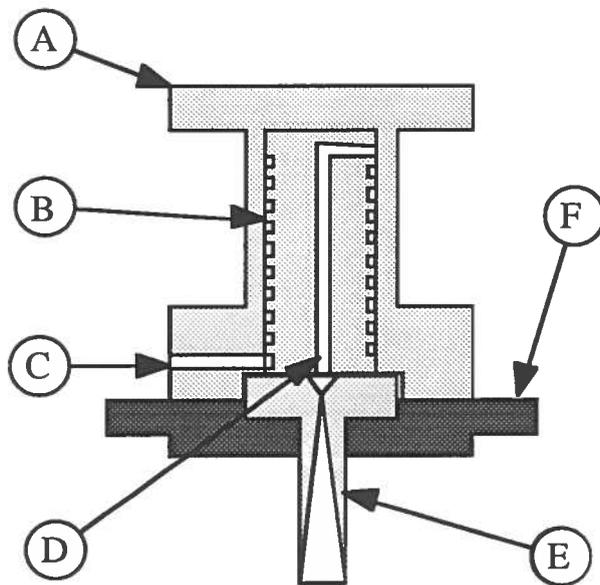


Fig.2 - Sezione dello scambiatore di calore in rame:

- A - Cilindro esterno,
- B - Cilindro interno con serpentina,
- C - Foro ingresso gas,
- D - Foro uscita gas,
- E - Nozzle,
- F - Supporto in polietilene.

3. PRESTAZIONI DELL'APPARATO

Sono state effettuate prove di raffreddamento in funzione del tempo e della intensità del fascio molecolare dalle quali è stato possibile ottenere una descrizione analitica del sistema di raffreddamento. La risposta temporale del sistema, in assenza di flusso di gas, può essere descritta dalla seguente equazione differenziale:

$$\frac{dT_n}{dt} = -\lambda_n (T_n(t) - T_{df}(t)), \quad (1)$$

dove T_n è la temperatura del nozzle, T_{df} è la temperatura del dito freddo e la costante di tempo λ_n è legata alla capacità termica della serpentina ed al coefficiente di trasmissione di calore della calza di rame.

In figura 3 è riportata una tipica misura, in funzione del tempo, della temperatura del dito freddo e del nozzle in assenza di flussaggio di gas. L'istante iniziale corrisponde all'accensione del compressore del dito freddo. La temperatura del dito freddo mostra una dipendenza temporale del tipo:

$$T_{df}(t) = T_0 - T_1(1 - e^{-\Lambda_1 t}) - T_2(1 - e^{-\Lambda_2 t}) ,$$

con andamento asintotico

$$T_{df}(t)_{t \rightarrow \infty} \equiv T_{\infty} = T_0 - T_1 - T_2 .$$

Tale relazione si è visto non dipendere dalla presenza di flussaggio di gas attraverso il nozzle e può essere considerata come la funzione di risposta del dito freddo.

L'interpolazione dei dati sperimentali ha fornito i seguenti valori:

$$T_{\infty} = 80 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{K} ,$$

$$\Lambda_1 = 1.73 \pm 0.06 \text{ h}^{-1} ,$$

$$\Lambda_2 = 0.17 \pm 0.02 \text{ h}^{-1} .$$

La soluzione dell'equazione (1) è della forma

$$T_n(t) = T_0 + \left(\frac{\Lambda_1 T_1}{\lambda_n - \Lambda_1} + \frac{\Lambda_2 T_2}{\lambda_n - \Lambda_2} \right) (1 - e^{-\lambda_n t}) + \\ - \frac{\lambda_n T_1}{\lambda_n - \Lambda_1} (1 - e^{-\Lambda_1 t}) - \frac{\lambda_n T_2}{\lambda_n - \Lambda_2} (1 - e^{-\Lambda_2 t}) ; \quad (2)$$

con andamento asintotico

$$T_n(t)_{t \rightarrow \infty} = T_0 - T_1 - T_2 .$$

In figura 3 è riportata la risposta del sistema in assenza di flussaggio di gas. Dalla interpolazione dei dati sperimentali usando la funzione (2) si ottiene per il parametro λ_n il valore

$$\lambda_n = 0.37 \pm 0.01 \text{ h}^{-1} .$$

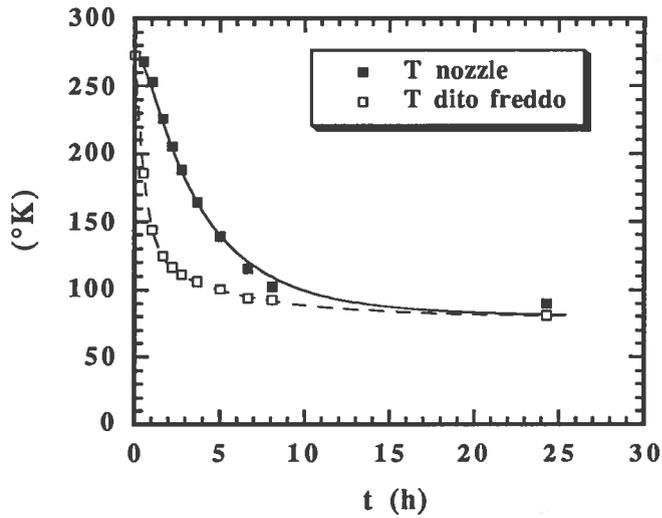


Fig.3 - Temperatura del dito freddo e del nozzle in funzione del tempo misurate a partire dall'accensione del compressore del dito freddo. Le due curve, continua e tratteggiata, corrispondono alla interpolazione dei dati sperimentali come descritto nel testo.

La presenza del gas si traduce nella presenza un ulteriore termine nell'equazione che tiene conto del calore scambiato dal gas, inizialmente a temperatura ambiente, con la serpentina.

$$\frac{dT_n'}{dt} = -\lambda_n (T_n'(t) - T_{df}(t)) - \lambda_g (T_n'(t) - T_0); \quad (3)$$

con soluzione del tipo

$$T_n'(t) = T_0 + \frac{\lambda_n}{\lambda_n + \lambda_g} \left(\frac{\Lambda_1 T_1}{\lambda_n + \lambda_g - \Lambda_1} + \frac{\Lambda_2 T_2}{\lambda_n + \lambda_g - \Lambda_2} \right) (1 - e^{-(\lambda_n + \lambda_g)t}) + \frac{\lambda_n T_1}{\lambda_n + \lambda_g - \Lambda_1} (1 - e^{-\Lambda_1 t}) - \frac{\lambda_n T_2}{\lambda_n + \lambda_g - \Lambda_2} (1 - e^{-\Lambda_2 t}); \quad (4)$$

con andamento asintotico

$$T_n'(t)_{t \rightarrow \infty} = T_0 - \frac{\lambda_n}{\lambda_n + \lambda_g} (T_1 + T_2) = \frac{\lambda_g}{\lambda_n + \lambda_g} T_0 + \frac{\lambda_n}{\lambda_n + \lambda_g} T_\infty.$$

L'equazione è valida per qualunque valore T_0 del gas in ingresso.

Il valore di λ_g si può ottenere interpolando i transienti di temperatura del nozzle usando la funzione (4) per diversi valori del flusso di gas. In figura 4 sono riportati un tipico andamento della temperatura del nozzle ed il relativo fit ottenuto dalla (4) usando come unico parametro libero λ_g .

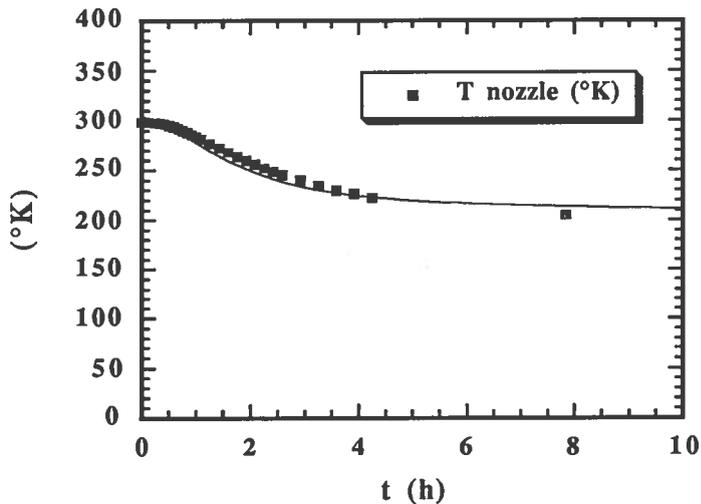


Fig.4 - Temperatura del nozzle in funzione del tempo misurata a partire dall'accensione del compressore del dito freddo con un flusso di Argon pari a 260 scc/min. La curva corrisponde alla interpolazione dei dati sperimentali come descritto nel testo.

La dipendenza di λ_g dal flusso del gas che fluisce dal nozzle è stata misurata per l'Argon ed i risultati sono riportati in figura 5. I valori sono consistenti con una dipendenza lineare dal flusso ϕ del gas pari a

$$\lambda_A = 1.86 \cdot 10^{-3} \phi , \quad (5)$$

con ϕ espresso in scc/m.

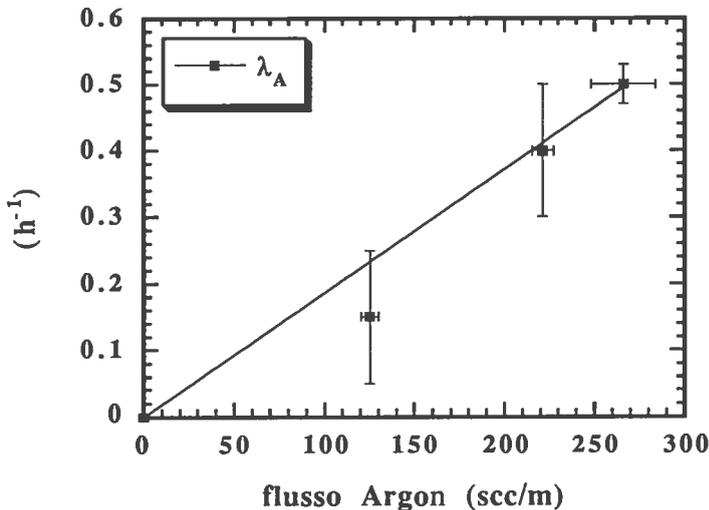


Fig.5 - Dipendenza di λ_g dal flusso di gas per Argon.

E' stato possibile quindi calcolare la temperatura limite del nozzle in funzione del flusso di gas e della temperatura T_0 . In figura 6 è riportato il valore asintotico di T_n' calcolato per $T_0 = 300$ °K. Il sistema di raffreddamento si dimostra realmente efficace solo per valori estremamente piccoli del flusso di gas, mentre per i valori di lavoro di ϕ , generalmente compresi tra 300 e 600

scc/min, la riduzione di temperatura è meno di 100 °K. Risulta evidente la necessità di pre-raffreddare il gas prima del suo inserimento in camera in modo da aumentare l'efficienza del sistema di raffreddamento. Tale sistema non ha comunque le restrizioni di quello già realizzato e potrebbe essere ottenuto con un bagno di azoto liquido o mediante vapori di azoto. Nella stessa figura 6 è riportata la temperatura di lavoro del nozzle per due diversi valori di T_0 .

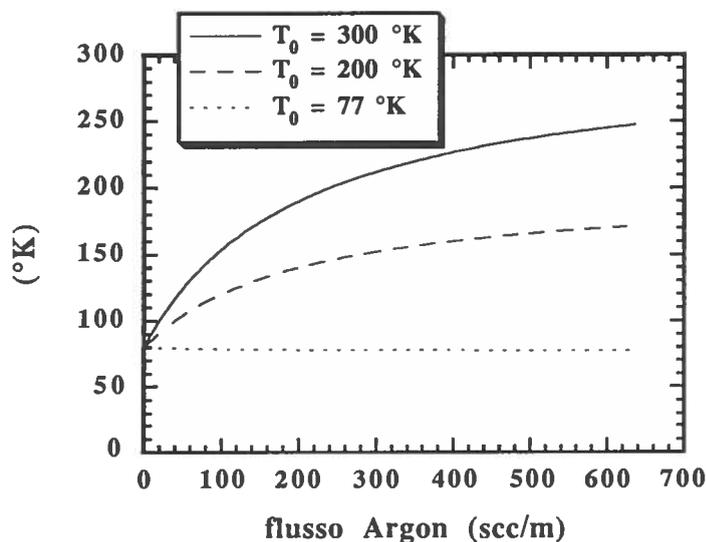


Fig.6 - Dipendenza del valore asintotico di T_n' dal flusso di gas per Argon.

4. CONCLUSIONE

E' stato realizzato un sistema di raffreddamento per la Jet-target installata in ADONE. Si tratta di un sistema relativamente semplice in grado di operare sotto vuoto e per lungo periodi di tempo senza manutenzione. Il sistema permette di produrre fasci di Argon con intensità maggiore di quelli ottenuti a temperatura ambiente ed è inoltre in grado di produrre fasci condensati di Ossigeno. Il sistema è comunque risultato essere sottodimensionato rispetto alla potenza necessaria per produrre fasci di elementi più leggeri ed un secondo sistema di pre-raffreddamento a vapori di azoto è in fase di realizzazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] S.G.Popov, "Internal Target Experiments at an Electron Storage Ring", Proc. of the Workshop on the Use of Electron Rings for Nuclear Physics Research, Lund (October 1982)
- [2] M.Macri, "A Clustered H_2 Beam", in "Physics with Low Energy Cooled Antiprotons" (Plenum, New York, 1983), p.432

- [3] C.Ekström, "A Cluster Jet Target for Heavy Nuclei and the Physics Program at Celsius", Topical Conference on Electronuclear Physics with Internal Targets, SLAC (January 1989), p.171
- [4] M.Taiuti, Nucl. Instr. and Meth. **A297** (1990) 354
- [5] W. Obert - "Properties of Cluster-beams formed with Supersonic Nozzles", Proc. of the 11th Int. Symp. on Rarefied gas dynamics, Cannes (July 1978)
- [6] O.F.Hagena and W.Obert , J. Chem. Phys. **56** (1972) 1793