

LNF - 66/2
24 Gennaio 1966

A. Cecchini e I. Modena: CRIOSTATO PER BERSAGLI DI
DEUTERIO SOLIDO. -

(Nota interna: n. 303)

Nota interna: n. 303
24 Gennaio 1966

A. Cecchini^(x) e I. Modena: CRIOSTATO PER BERSAGLI DI DEUTERIO SOLIDO.

INTRODUZIONE -

Recentemente è stato proposto un nuovo metodo per ottenere un plasma ad alta temperatura⁽¹⁾⁽²⁾. Tale metodo consiste nel riscaldare le particelle di un piccolo campione di materia ad alta densità con l'energia fornita da un laser pulsato di grande potenza.

Per dare un'idea degli ordini di grandezza in gioco, consideriamo un volume di Deuterio allo stato solido di 1 mm^3 . In esso sono contenuti $\approx 10^{17}$ atomi che per essere portati alla temperatura di 10^6 gradi richiedono un'energia di 10 joules.

Per evitare che l'espansione, dovuta alla velocità termica delle particelle, rendendo trasparente il plasma appena formato, riduca la frazione di energia che può essere assorbita al fascio laser, si può vedere che l'energia di 10 joules dovrebbe essere fornita in ≈ 1 nanosecondo.

La potenza richiesta al laser è quindi di 10 gigawatts. Poichè già oggi esistono dei laser di potenze superiori al gigawatt questo metodo è in linea di principio possibile e tentativi in questo senso sono in corso in alcuni laboratori.

Un gruppo di ricerca su questo argomento si è formato anche presso il Laboratorio Gas Ionizzati di Frascati ed è per questo gruppo che è stato progettato e costruito il criostato qui descritto.

(x) - Laboratorio Gas Ionizzati, Frascati.

PROGETTO DEL CRIOSTATO -

Infig. 1 è rappresentato il criostato in modo schematico: da essa appare chiaramente la semplicità di funzionamento.

Un flusso continuo di elio, proveniente da un dewar di trasporto, passa nel piccolo recipiente R che è saldato attorno ad un blocco metallico fatto di rame nella parte inferiore e di acciaio in quella superiore. Questo blocco porta al centro un foro da 0,4 mm di diametro ed è collegato con l'esterno da un tubo L di acciaio inox di 3 mm di diametro. In questo tubo, attraverso i rubinetti 1 e 2 viene immessa una certa quantità di D_2 che condensa nella parte inferiore a contatto con il blocco raffreddato. I termometri T_1 e T_2 permettono di conoscere la temperatura alle estremità del blocco ed eventualmente di modificare il gradiente termico con un riscaldatore H posto vicino a T_2 . Si fa in modo che il Deuterio sia liquido nella parte superiore e solido in quella inferiore.

All'interno del tubo di rifornimento del D_2 scorre un altro tubicino di acciaio S che termina con uno spillo di 0,4 mm. di diametro e che si può comandare facilmente dalla sommità del criostato. Lo spillo serve a premere i cristallini di Deuterio solido nella parte inferiore del blocco metallico (il tappo C ne impedisce la fuoriuscita) e a preparare così un cilindretto di deuterio del diametro di $\approx 0,4$ mm e della lunghezza voluta, poiché all'esterno si può bloccare la corsa dello spillo per es. a 1 mm dal tappo di chiusura.

Togliendo il tappo C si può far cadere il campione di D_2 con un brusco colpo allo spillo. Attraverso le aperture F, che sono quattro a 90° , chiuse con finestre ottiche, si manda il fascio del laser e si fanno le osservazioni.

Infig. 2 è dato il disegno dettagliato del criostato. Si vede che la linea di ritorno dell'elio è una lunga serpentina che raffredda uno schermo di rame per ridurre l'ingresso termico per radiazione sul blocco di condensazione. La manopola M serve per aprire e chiudere il tappo di chiusura C il quale ad apertura completa è ruotato lateralmente per lasciare libera la verticale di caduta per il campione di deuterio solido. Il tappo è fatto di una pasticca di teflon contenuta in un cilindro metallico snodato su un supporto sferico che permette al teflon di adattarsi alla superficie del blocco metallico.

In fig. 3 a) e b) si vedono due versioni in dettaglio, del blocco metallico in cui avviene la solidificazione del Deuterio.

La versione a) è quella che appare anche in fig. 2; la b) è una modifica successiva per rendere ancora più drastico il gradiente termico fra T_1 e T_2 e quindi più localizzata, vicino al foro di uscita, la temperatura di solidificazione. Entrambe queste versioni hanno funzionato in modo soddisfacente; la versione b) essendo molto più leggera, rende più breve la fase di raffreddamento; non presenta nessun inconveniente nella solidificazione e quindi è preferibile alla versione a).

I termometri T_1 e T_2 sono due termometri a gas (elio) del tipo di Simon, cioè essenzialmente termometri a volume costante⁽³⁾, con un manometro a tubo di Bourdon per la misura della pressione. E' questo il tipo di ter

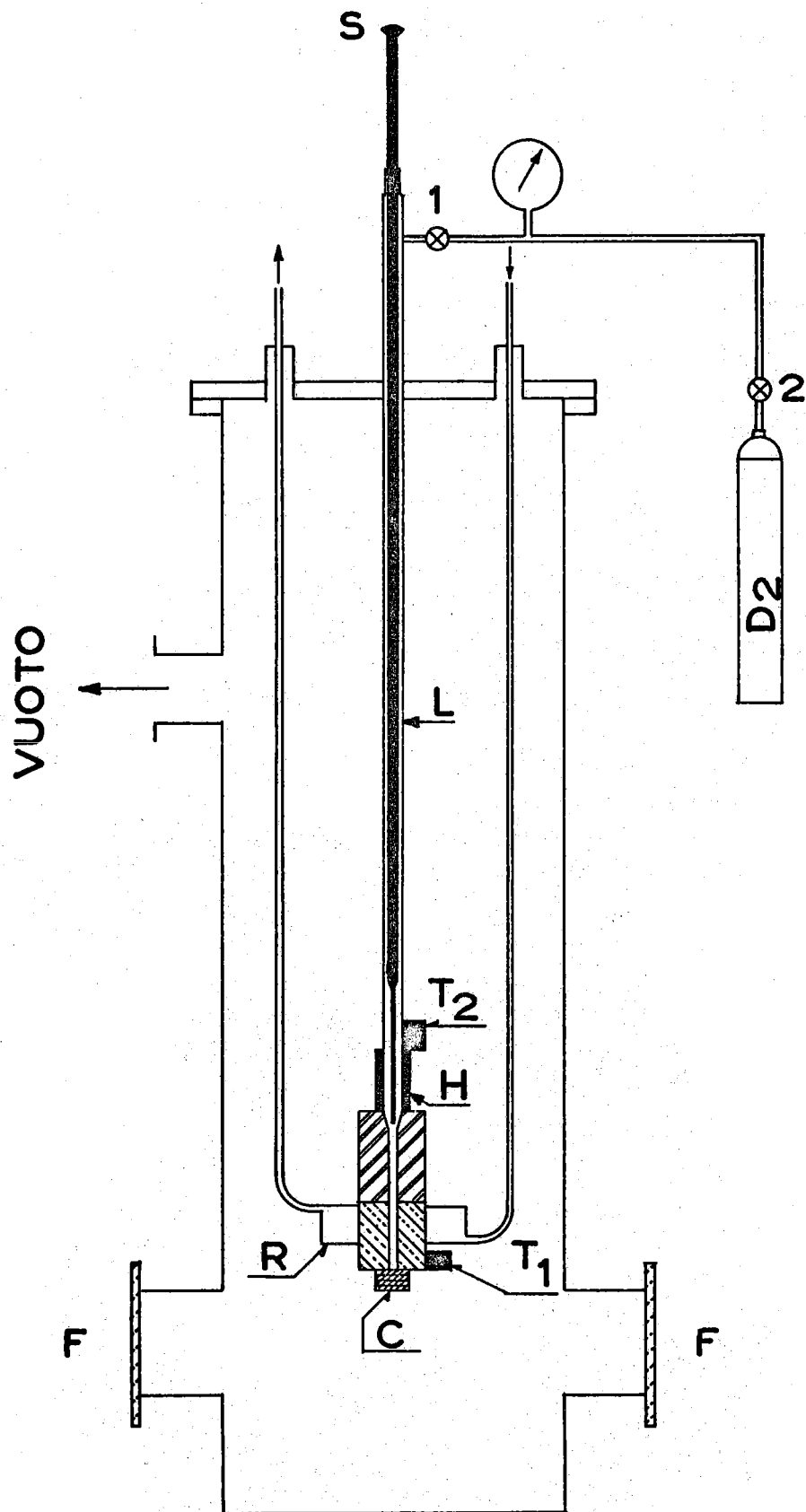


FIG. 1

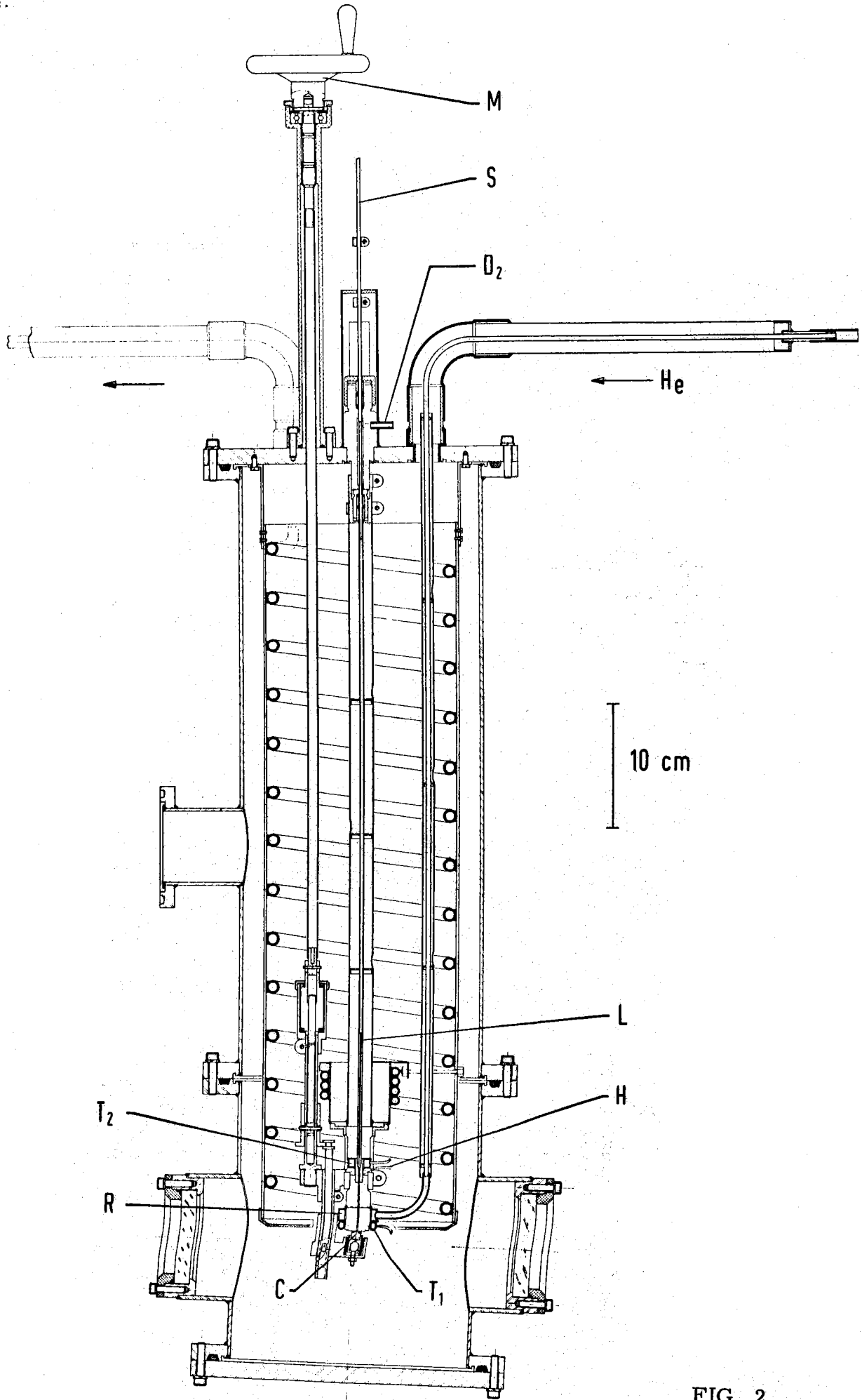


FIG. 2

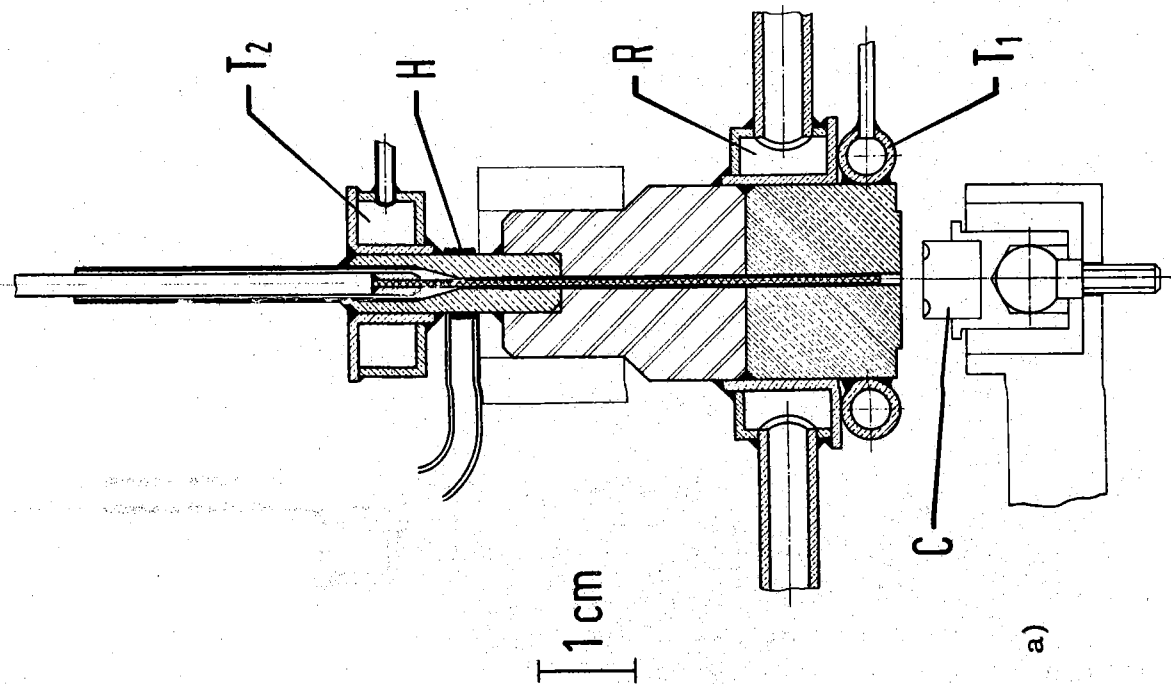
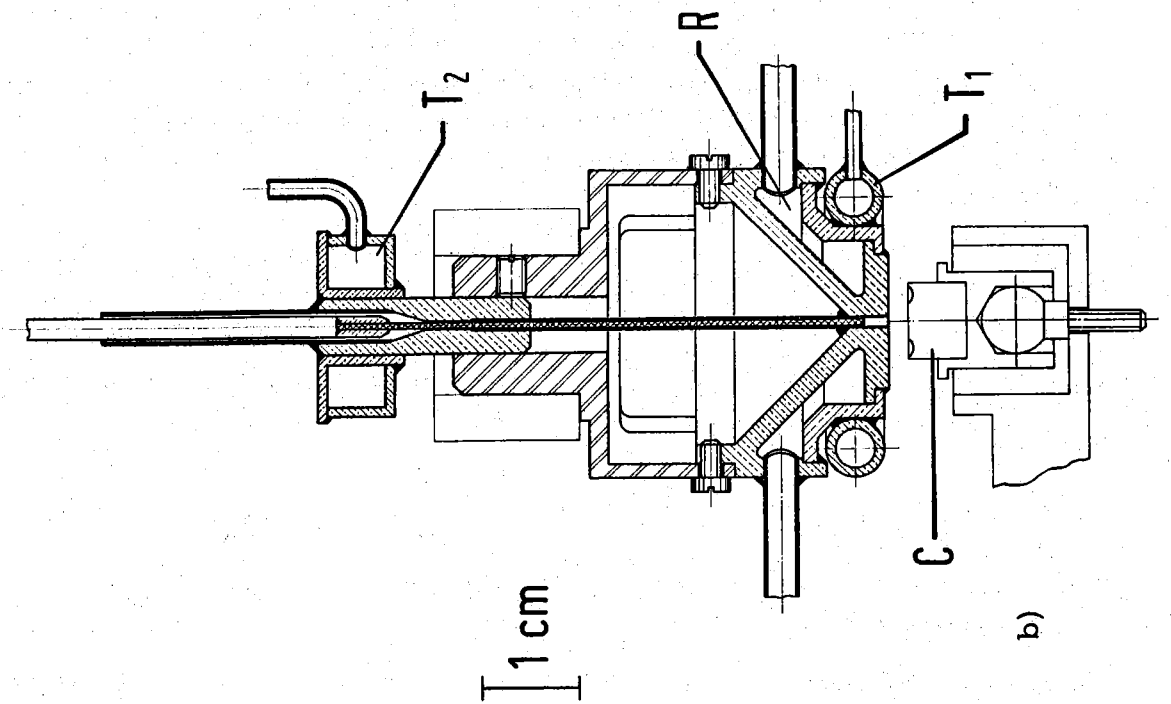


FIG. 3

mometro più semplice e di immediata realizzazione quando non siano necessarie una grande precisione e prontezza. La relazione fra p e T in tali termometri, detto V il volume del bulbo di misura alla temperatura T , v il volume del tubo di Bourdon alla temperatura ambiente T_0 (si trascura il volume del capillare di collegamento) e p_0 la pressione quando anche il bulbo è a T_0 , è data dalla:

$$\frac{1}{T} (VT_0) + v = \frac{1}{p} (p_0 v + p_0 V)$$

Variando il rapporto V/v si può variare la sensibilità ed in particolare si riesce ad aumentarla alle basse temperature rendendo minore di 1 tale rapporto.

Nel nostro caso questa condizione è verificata; in fig. 4 sono date le curve di taratura dei due termometri. Si vede che i termometri sono poco utilizzabili alle alte temperature ma presentano una più che sufficiente sensibilità al di sotto dei 30°K .

Come si vede nei particolari della fig. 3, i bulbi hanno forma anulare per aumentare la superficie di contatto con il blocco metallico di cui devono indicare la temperatura e sono saldati ad esso per assicurare un migliore contatto termico.

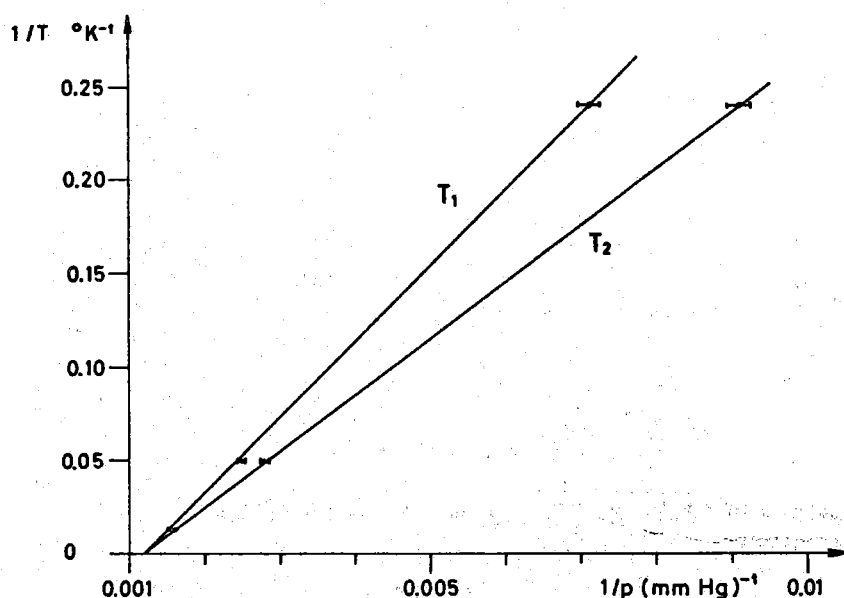


FIG. 4

La precisione è piuttosto bassa: $\pm \approx 1^\circ\text{K}$ ma è più che sufficiente nel nostro caso perchè l'intervallo di esistenza del liquido è abbastanza ampio (da $23,6^\circ\text{K}$ a $18,7^\circ\text{K}$)⁽⁴⁾ e più ancora quello del solido, data la temperatura a disposizione che è quello dell'elio liquido (da $18,7^\circ\text{K}$ a $4,2^\circ\text{K}$). Per il funzionamento corretto del criostato basta che T_1 indichi una temperatura compresa in quest'ultimo intervallo e T_2 una compresa nell'altro.

Il vuoto è fatto da una pompa a diffusione da 70 l/sec che è capace di

assorbire il deuterio del campione evaporato (meno di 1 cm^3 per volta) senza che la pressione risalga oltre qualche $\mu \text{ Hg}$.

DATI DI FUNZIONAMENTO -

Come si è visto nel paragrafo precedente, la costruzione di questo criostato è particolarmente semplice: lavorando in flusso di elio praticamente continuo si è potuto eliminare il recipiente di riserva per questo liquido; inoltre l'eliminazione anche degli schermi raffreddati ad azoto liquido contribuisce ulteriormente alla semplicità costruttiva. Tale vantaggio richiede come contropartita un consumo di elio liquido piuttosto sensibile: $\sim 20 \text{ l/h}$. Volendo ridurre questo consumo si potrebbe abbastanza agevolmente sostituire la tank esterna con una più larga che permetterebbe l'inserimento di una riserva di azoto liquido come schermo termico: consumo e complessità di costruzione non si possono diminuire contemporaneamente e sta quindi allo sperimentatore scegliere su quale maggiormente puntare.

Diamo ora una sommaria descrizione dell'uso del criostato.

Si pompa nel criostato a temperatura ambiente e con il tappo C aperto (ci riferiamo alla fig. 1) fino ad un vuoto di almeno 10^{-5} torr. Durante il pompaggio si fa fluire un pò di Deuterio attraverso i rubinetti 1 e 2, nell'intercapedine dei due tubicini e attraverso il blocco metallico, per lavaggio. Si collega poi l'ingresso dell'elio ad un dewar di trasporto dal quale si fa fluire lentamente l'elio attraverso la cella R.

Sui termometri T_1 e T_2 si segue l'abbassamento della temperatura finchè

$$T_1 \approx 15^\circ\text{K} \qquad 18^\circ < T_2 < 25^\circ\text{K}$$

In realtà il limite superiore di T_2 è molto meno critico degli altri e si è visto che il campione di deuterio solido si forma bene anche con $T_2 > 25^\circ\text{K}$. Per questo è stata costruita la variante b) della fig. 3.

A questo punto si chiude il tappo C e si apre il rubinetto 2 fino ad avere una pressione voluta nel tubo fra questo e il rubinetto 1. Chiuso 2 si apre 1 e si immette una quantità nota di Deuterio (la quantità è ovviamente data da $\Delta p \times V$ dove V è il volume del tubo fra i rubinetti 1 e 2).

Se il tappo C è ben chiuso, in questa operazione non si vede nessuna variazione del vuoto.

Muovendo dall'alto in basso lo spillo S si comprime una certa quantità di Deuterio solido nel foro del blocco metallico: come si è detto, tale quantità può essere variata mettendo una battura d'arresto dello spillo ad una distanza voluta dal tappo C.

Dopo di chè si apre il tappo e il campione è pronto per l'espulsione.

Fin dalle prime prove di collaudo si è notato un fatto insospettato: nella gran maggioranza delle espulsioni il campione di Deuterio solido rimane attaccato allo spillo di acciaio e sospeso così nella zona sperimentale del

criostato. In fig. 5 si vede una fotografia del ghiacciolo attaccato allo spillo (ingrandito, poichè le dimensioni, come abbiamo già detto sono $0,4 \times \approx 1,2$ mm).

L'adesione allo spillo è notevole e il tempo medio in cui il campione rimane attaccato prima di cadere è di circa 1 minuto (questo tempo dipende principalmente dalla temperatura dello spillo). Questo fatto ha portato alla possibilità di scelta fra due modi di colpire il campione con l'impulso del laser: uno è il "tiro al volo", come era inizialmente programmato, mentre il ghiacciolo cade, e l'altro il tiro sul campione fermo, appeso allo spillo.

Nel primo caso è necessario comandare l'impulso laser ($\approx 10^{-8}$ sec) con la caduta del ghiacciolo. Le prime prove in questo senso sono state fatte riscaldando la punta dello spillo con una bobina a radio frequenza situata al posto del tappo C.

Pur essendo abbastanza rapido il tempo di distacco, la caduta avviene in traiettorie non verticali, ma inclinate a caso, probabilmente per la formazione di bolle di gas alla superficie di contatto ghiacciolo-spillo, che imprimono delle spinte iniziali irregolari. Sono in corso di studio altri metodi più idonei ad ottenere un distacco e una caduta tali da permettere un efficiente "tiro al volo".

Il bersaglio fermo, cioè il campione appeso allo spillo, elimina il problema del trigger, ed è stato usato in una prima serie di prove sulla effettiva possibilità del metodo di riscaldamento descritto nell'introduzione. I risultati di queste prime prove sono stati presentati alla recente Conferenza di Culham (Settembre 1965)⁽⁵⁾.

BIBLIOGRAFIA -

- (1) - N.G. Basov and O.N. Krokhin, Proc. of the Conf. on Quantum Electronics, Paris, 1963.
- (2) - J.M. Dawson: Phys. Fluids 7, 981 (1964).
- (3) - G.K. White: Experimental techniques in low-temp. physics. (Clarendon Press, Oxford 1959) pg. 92.
- (4) - F.E. Hoare, L.C. Jackson, N. Kurti: Experimental cryophysics. (Butterworths, London 1961) pg. 349.
- (5) - U. Ascoli-Bartoli, C. De Michelis and E. Mazzucato: The hat-ice experiment. II^o Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, Culham, 1965.

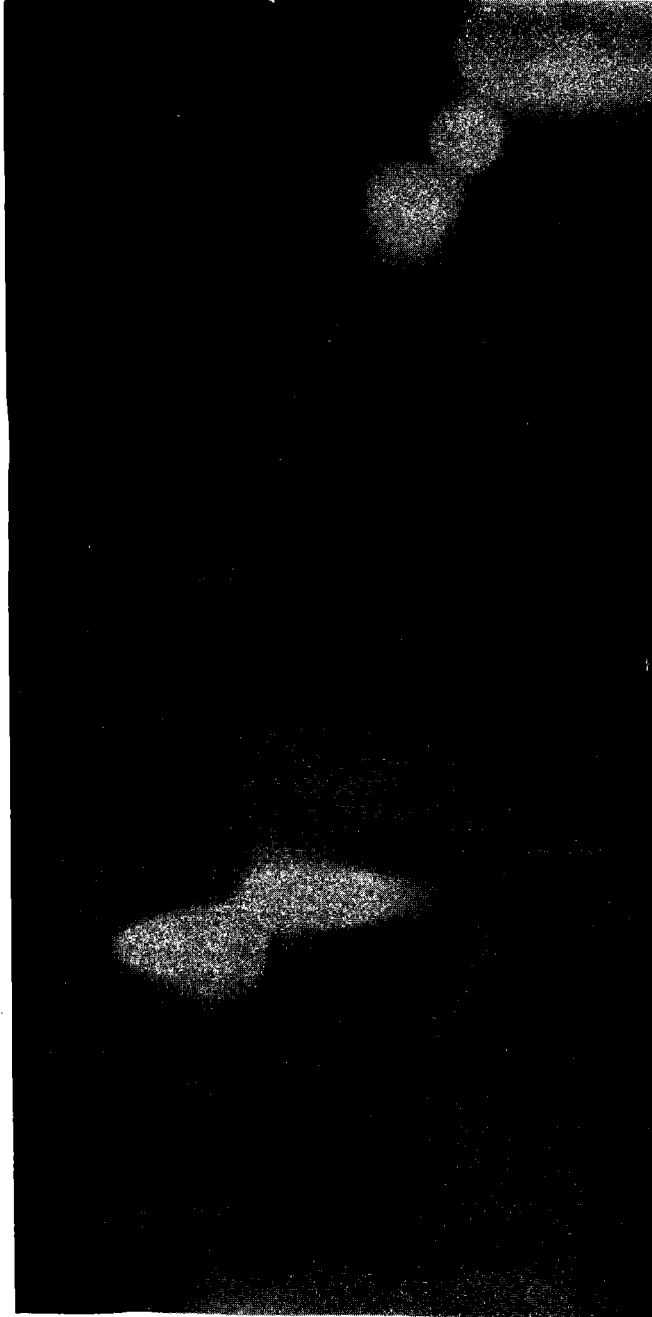


FIG. 5