

# scienza e tecnica

Visita al Laboratorio gas ionizzati di Frascati

## Plasma scienza nuova

Avanguardia e retroguardia

Le notizie riferite in questa pagina sono state raccolte nel corso di una visita compiuta al Laboratorio Gas Ionizzati di Frascati, e in parte tratte da una informazione apparsa nello scorso aprile nel *Notiziario* del Comitato Nazionale Energia Nucleare (CNEN).

Desideriamo qui non solo ringraziare il professor Brunelli, direttore del Laboratorio, che per due ore ci ha illustrato il mirabile lavoro ivi in corso, e il CNEN; ma porre in rilievo la straordinaria importanza di quanto si va facendo, nel nostro paese, nel campo della ricerca fisica pura e applicata. La fisica del «plasma» è una scienza nuovissima, che richiede metodi di indagine e tecniche assolutamente di avanguardia, quasi «più complesse e difficili degli stessi fenomeni in esame, e naturalmente costose.

Abbiamo visto a Frascati giovani ricercatori, alcuni anche appena laureati, perfettamente padroni di queste tecniche, intenti a elaborare apparecchiature e congegni originali, a preparare e condurre esperienze che si collocano al livello internazionale, come contributi creativi al progresso del sapere (sebbene la RAI non se ne accorga e continui a presentare la fisica del plasma come una esclusiva USA).

Senza dubbio si avverte un divario considerevole fra il livello di Frascati (come degli altri centri della ricerca fisica), e quello generale delle nostre Università e scuole, il vecchio prepotente e inerte di certe cattedre, di certe fondazioni, di certa editoria. Non vorremmo che la cultura italiana nel suo assieme rischiasse di restare troppo indietro rispetto a questo settore di avanguardia, fino a perdere il contatto con aspetti della realtà che ogni giorno si fanno più probanti e conclusivi.

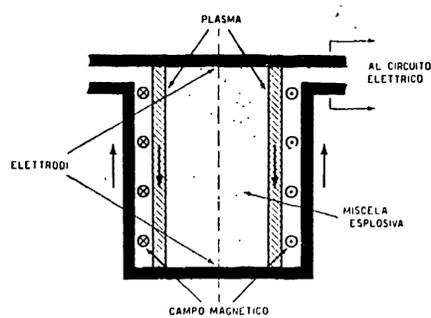
Frascati d'altra parte, il CNEN i fondi per la ricerca fisica, sono il frutto — invero copioso e stimolante — di una vittoria della opinione pubblica democratica del nostro paese; perciò indicano anche la via da seguire perché la cultura italiana ritrovi i nessi storici e logici necessari al suo sviluppo globale.

La parola «plasma», da tempo nota in biologia, ha assunto negli ultimi anni un nuovo e diverso significato in fisica, di straordinaria e crescente importanza, poiché indica la sede di taluni fenomeni e processi di grande interesse teorico e pratico. Dal punto di vista pratico, anzi, il plasma offre prospettive uniche, poiché permette già di raggiungere temperature prossime a quelle necessarie per la fusione nucleare, cioè per l'avvento di una fonte di energia praticamente infinita.

Ma per l'appunto, cos'è un plasma? Il prof. Bruno Brunelli, direttore del Laboratorio Gas Ionizzati di Frascati (che fa parte dello stesso complesso del Sincrotrone ma è ben distinto da questo), lo ha definito, parlando a un gruppo di visitatori, in modo rigoroso: «un miscuglio di cariche, positive e negative, libere di muoversi». Dunque non un corpo ordinario, in cui le cariche elettriche sono vincolate nelle strutture atomiche e molecolari, e nemmeno un liquido «ionizzato», in cui cioè singoli atomi o gruppi di atomi diventano portatori di una carica elettrica, ma

non possono muoversi più di quanto lo possano le molecole ordinarie, cioè solo entro un volume determinato e quindi con una densità costante.

Un plasma è sostanzialmente un gas ionizzato, formato da molecole che abbiano perduto uno o più elettroni e siano perciò cariche positivamente, nonché dagli stessi elettroni allo stato libero, gli uni e le altre in grado di muoversi in ogni direzione occupando volumi diversi. Ma mentre un gas ordinario, costituito da molecole neutre, tende a espandersi esercitando una pressione identica in tutte le direzioni, un gas ionizzato è composto di particelle che, per essere elettricamente cariche, subiscono l'influenza di campi elettrici e magnetici modificando di conseguenza la direzione e velocità del loro moto, così che l'espansione può essere costretta a contrarsi, piegarsi, assumere forme determinate come una sostanza plastica (dunque appunto il nome di plasma), con particolari effetti termici e di altra natura, molto rilevanti e tali da dar luogo a prospettive, come si è detto, di estremo interesse. Qualcuno certamente ri-



Schema per la conversione diretta dell'energia di un esplosivo gassoso

corda che fra il 1954 e il '57 i giornali parlavano frequentemente di esperimenti sul plasma condotti da inglesi, sovietici e americani con apparecchi denominati rispettivamente ZETA, OGRA, Stellarator, i quali costituivano tentativi intesi a ottenere direttamente le temperature di fusione, cioè una temperatura (50-100 milioni di gradi) sufficiente

a far sì che i nuclei di idrogeno componenti il plasma impiegato si fondessero assieme formando nuclei di elio, ciò che avrebbe comportato e comporterebbe la liberazione di energie enormi. I ricercatori britannici ritengono a un certo momento di essere molto vicini alla meta, ma presto si manifestarono nuove grosse complicazioni, e si comprese che era necessario studiare più a fondo il plasma e i processi che in esso hanno luogo, prima di poter ottenere lo scopo massimo.

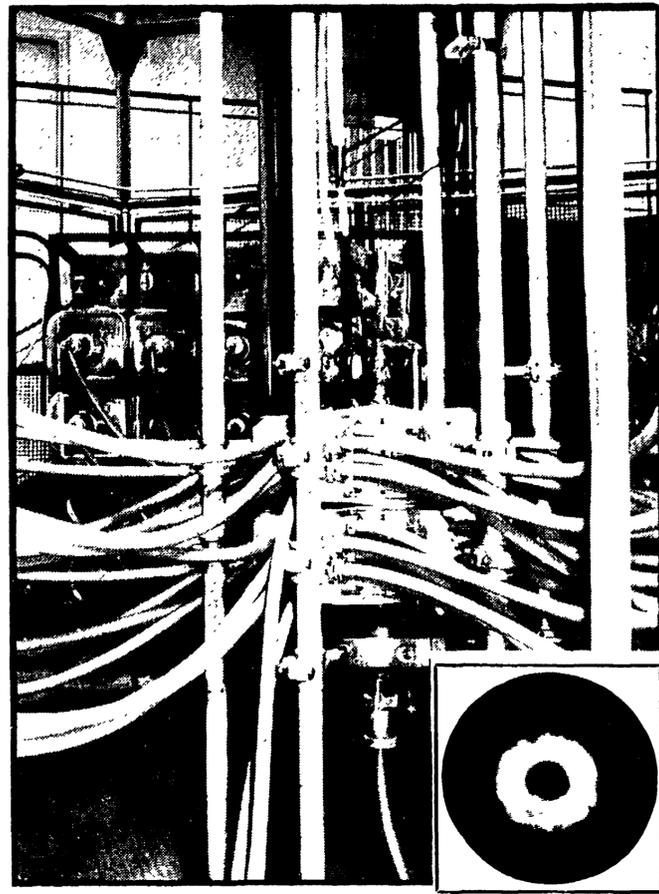
Così la ricerca si è orientata, negli ultimi anni, verso esperienze definite e parziali, intesa a conseguire una conoscenza analitica dei fenomeni che nel plasma hanno luogo, e che possono essere sfruttati — oltre che per la reazione di fusione, la quale rimane l'obiettivo più ambizioso — per una serie di attuazioni pratiche minori dal punto di vista quantitativo, ma non meno rivoluzionarie nel concetto. Particolare interesse presenta, connessa o non con la fusione, la possibilità di convertire il calore in energia elettrica direttamente, cioè senza passare attraverso la fase meccanica — turbina-alternatore. Inoltre si offrono prospettive notevoli per quanto concerne l'accumulazione di energia elettrica, la propulsione di veicoli spaziali, gli sviluppi della tecnica elettronica.

In termini generali tutti i processi che si svolgono nel plasma, alcuni dei quali possono essere sfruttati in pratica, nascono da quelle che i fisici chiamano le interazioni, cioè le azioni e reazioni reciproche fra lo stesso plasma (composto come sappiamo di cariche elettriche) e i campi elettrici o magnetici cui esso viene sottoposto. Ricordiamo qui brevemente che una corrente elettrica è costituita da cariche elettriche in moto, e che a essa è sempre associato un campo magnetico, cioè una attrazione (e repulsione) orientata in base alla direzione della corrente. Da ciò discende che un plasma — diversamente da un gas composto di molecole neutre — può essere contenuto entro un determinato volume per la sola presenza di un campo magnetico. Analogamente l'atmosfera terrestre, per esempio, che non è un plasma ma un miscuglio gassoso, è contenuta entro uno spazio abbastanza definito per opera delle forze gravitazionali. Nelle stelle, fra le quali il Sole, si trova invece plasma ad altissima temperatura, che non esplose proprio perché non esplose proprio perché (a noi) è contenuto (e contenuto) sia dal campo gravitazionale sia da campi magnetici.

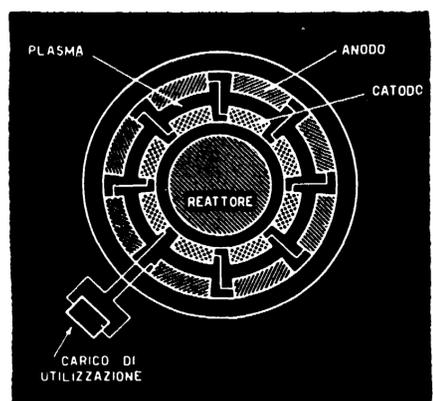
Perciò si pensa di poter usare un plasma per la reazione di fusione (che appunto ha luogo nel sole e nelle stelle), o comunque per la conversione diretta di energia termica in elettrica. Infatti un plasma, contenuto da un campo magnetico, si distacca dalle pareti del recipiente tenendo ogni contatto con i circostanti corpi materiali, cioè viene a trovarsi in una condizione simile a quella di una stella nel cosmo: se in esso si produce calore, questo vi rimane imprigionato e, poiché la massa del plasma è esigua nelle condizioni sperimentali, fa salire vertiginosamente la temperatura (ricordiamo che la temperatura è la energia cinetica — media delle molecole, o degli ioni come in questo caso, di una massa materiale — quindi è tanto più elevata — per una determinata quantità di calore, cioè di energia disponibile — quanto minori sono il numero e il peso atomico delle molecole o ioni, cioè quanto più piccola è la massa in cui tale energia si ripartisce).

Non è difficile dunque portare un plasma a temperature di milioni di gradi: basta sottoporre le cariche elettriche, di cui è composto, a una forte differenza di potenziale, ciò che può essere fatto in diversi modi, in connessione con la creazione del campo magnetico necessario al contenimento, o meglio alla strizione (pinch) del plasma medesimo. E se la massa di questo è molto piccola, la temperatura sale rapidamente verso le decine di milioni di gradi, avverranno una delle condizioni richieste per la fusione. Tuttavia perché la fusione abbia luogo il plasma deve essere stabile, avere una certa densità, cioè la sua massa non può essere troppo piccola, e inoltre si richiede una particolare composizione fisico-chimica, con speciale riguardo alla purezza: tutti fattori che sono attualmente oggetto di studio in vari paesi.

Si comprende facilmente, d'altro canto, che anche senza fusione l'energia termica immagazzinata nel plasma possa essere restituita in forma di energia elettrica: infatti in un corpo ad alta temperatura le particelle molecolari si muovono rapidamente; ma



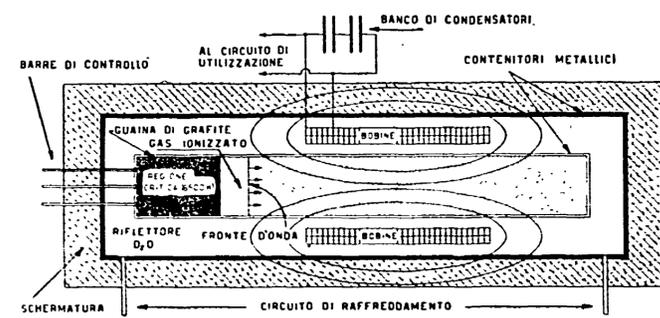
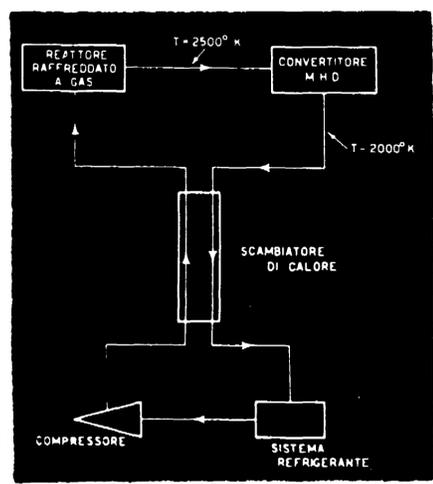
L'esperienza «Cariddi»: nel tubo verticale di vetro si forma il plasma, da idrogeno, elio o altro gas, quando dai condensatori circostanti viene lanciata una scarica nel circuito che circonda il tubo. Nella foto piccola in basso, l'anello bianco è il plasma in fase di strizione o «pinch»



### Centrali nucleari a plasma

In alto: schema di un sistema in cui un reattore a fissione è interamente circondato da un involucro di plasma, contenuto fra due pareti: quella interna, che prende il calore dal reattore, funziona da catodo, e l'esterna da anodo (generatore termoionico).

In basso: schema di un generatore magneto-idrodinamico (M.H.D.), in cui il gas di raffreddamento viene trasformato in plasma e fornisce come energia elettrica il calore ricevuto.



Schema di un reattore nucleare in cui la sostanza fissile (U-235) è essa stessa in forma di plasma, e sotto l'influenza di un campo magnetico trasforma direttamente il calore generato dalla fissione in corrente elettrica

quando queste particelle sono ioni, cioè portano cariche elettriche, il loro moto costituisce una corrente elettrica, che con qualche artificio può essere inserita in un sistema in cui si «collochano» come il circuito primario di un trasformatore: si avrà allora sul secondario una corrente indotta, che potrà essere utilizzata. Se il calore nel plasma era stato prodotto da una differenza di potenziale, il procedimento può servire per liberare in un tempo brevissimo l'energia che era stata fornita in un tempo più lungo. Ma la temperatura del plasma può essere fatta salire anche con mezzi termo-meccanici, e in tal caso si ottiene la trasformazione diretta di energia termica in elettrica, anch'essa allo studio per fini pratici. Sono attualmente in cor-

so di sperimentazione diversi metodi per ottenere tale trasformazione, utilizzando per esempio il calore fornito da reattori nucleari a fissione, i quali perciò potranno erogare energia elettrica senza l'intermediario delle turbine o alternatori. Tali metodi sono del tipo termo-ionico — in cui il plasma rimane fermo fra due elettrodi a temperatura diversa — ovvero del tipo magneto-idrodinamico, in cui il plasma riscaldato viene immesso alternativamente in un campo magnetico, così che in esso si genera una forza elettromotrice proporzionale alla temperatura.

Un'altra applicazione, che potrebbe presentare in avvenire grande interesse nel campo dei trasporti, riguarda la trasformazione diretta della energia for-

un plasma alla forte corrente generata da un banco di condensatori, studiando gli effetti conseguenti con vari metodi ma in primo luogo con la fotografia. Un campo di ricerca praticamente inesplorato ma dal quale si attendono notevoli indicazioni — ci spiega il professor Brunelli — è costituito dalla zona che si forma fra il margine esterno del plasma e le pareti interne del recipiente. Un'altra esperienza importante è quella detta «MIRAP», in cui mediante «implosione» (cioè esplosione convenzionale diretta verso l'asse del sistema) si cerca di comprimere un plasma per portarlo a temperature molto elevate: si spera di raggiungere i cento milioni di gradi, che dovrebbero essere sufficienti per la

reazione nucleare di fusione.

Il professor Brunelli tuttavia, in base a varie considerazioni molto complesse, ritiene che non prima di qualche decennio sarà possibile costruire veri e propri reattori nucleari a plasma in cui si liberi l'energia nucleare ricavabile dalla fusione di nuclei di idrogeno in nuclei di elio. Come è noto questa reazione avviene nella forma esplosiva, nelle bombe H, ma solo nel plasma sarà possibile ottenerla in forma controllata, perché solo nel plasma le enormi temperature richieste possono essere raggiunte per piccole masse, isolate dalla materia circostante che dalle stesse temperature sarebbe distrutta.

### Significato economico della fusione nucleare

La reazione termo-nucleare, o di fusione, che prima o poi, probabilmente entro i prossimi venti anni, potrà essere attuata in forma controllabile in seno a un plasma di idrogeno, accrescerà enormemente, praticamente all'infinito, la disponibilità di energia nel mondo. Infatti la materia prima occorrente per tale processo, l'idrogeno, è diffusissima in natura, e la reazione è tale che consentirà di ottenere da un solo grammo di idrogeno, cioè quello contenuto in un cucchiaino d'acqua, otto volte l'energia di quella fornita da un grammo di uranio in un reattore nucleare, cioè l'equivalente della combustione di trentadue tonnellate di carbone.

Inoltre, mentre i reattori nucleari a fissione producono, come è noto, ingenti masse di sostanze radioattive estremamente dannose, per cui richiedono pesanti schermature e sistemi di sicurezza che ne limitano e rendono più costoso l'impiego, i reattori a fusione saranno «puliti» e non presenteranno praticamente alcun rischio, cioè che ne renderà più agevole l'impiego e ridurrà ulteriormente i costi.

Questa prospettiva non costituisce ancora una certezza assoluta, ma può essere considerata una previsione ragionevole, che potrà avverarsi prima che siano esaurite le scorte di uranio e suoi derivati accumulati, e fin d'ora utilizzabili in reattori di potenza, ma che tuttavia giacciono inoperose sotto forma di bombe. Frattanto i produttori di petrolio e di carbone sono costretti a cercare di contenere i prezzi delle fonti energetiche convenzionali, e a tale scopo limitano la produzione, tenendola artificialmente a un livello molto inferiore ai bisogni reali della umanità. Perciò una chiara evidenza dell'effettiva disponibilità di energia nel mondo, e delle vaste prospettive che in questo campo si aprono, non può che portare nuova luce su non pochi punti del dibattito in corso in merito alla programmazione economica e alle forze che intendono controllarla.

f. p.

### Il Laser

## Energia in un raggio rosso

Presso il Laboratorio Gas Ionizzati di Frascati esistono alcuni esemplari di «Laser». L'apparecchio che emette un fascio di luce rossa dotato di grande energia, e del quale si è parlato brevemente anche su questa pagina a Frascati lo adoperano per mandare il fascio di luce rossa dentro il «plasma» dando luogo a «interazioni» che modificano il comportamento di quest'ultimo.

Ma il Laser è interessante di per sé: è costituito essenzialmente da un asticciola cilindrica di rubino sintetica, dalle dimensioni di un minuto a quella di una pompa da bicicletta, o anche maggiore. Attorno a esso viene disposta una «radiazione» la quale «eccita» certe impurità (calcolate) presenti nel rubino, e determina l'emissione di fotoni. Grazie alla particolare struttura cristallina del rubino, il fascio che emerge all'estremità presenta due caratteristiche fonda-

mentali, e praticamente monocromatiche, cioè composto di raggi che hanno tutta la stessa lunghezza d'onda, ed è molto collimato, cioè i raggi che lo formano sono tanto paralleli, che nel percorso dalla Terra alla Luna si mantengono uniti, allargandosi alla fine, sulla superficie lunare, solo tanto da coprire un'area di circa un chilometro quadrato.

La possibilità di trasportare energia è legata a queste due caratteristiche, e fa sì che il Laser si presti a molte applicazioni, la più interessante delle quali è probabilmente quella connessa con le telecomunicazioni, il fascio di un solo Laser potrebbe trasportare tanti segnali quanti sono quelli portati ogni giorno da tutte le linee telefoniche e i ponti radio oggi esistenti.

Il rubino non è indispensabile: a Frascati hanno costruito un Laser a gas, cioè costituito da un tubo che contiene elio e neon frammentati.