

rassegna

UNA TAPPA FAMOSA NELLA STORIA DELLA SCIENZA

L'esperimento Michelson-Morley

e la fine dell'ipotesi dell'«etere luminifero»



Albert Michelson



Edward Morley

Nel 1887 a Cleveland, sulla base dei lavori di Maxwell, due sperimentatori americani aprirono la breccia in cui doveva passare, con Einstein, la nuova fisica

Il famoso esperimento eseguito da Albert Michelson e Edward Morley nel 1887 a Cleveland, che segnò la fine della ipotesi di un «etere luminifero» e aprì la strada alla Teoria della Relatività, enunciata da Einstein diciotto anni più tardi, viene rievocato da R. S. Shankland in uno degli ultimi numeri dello Scientific American, con le illustrazioni particolarmente accurate che riproduciamo in questa pagina. L'autore dell'articolo cita nella introduzione questo giudizio di Bertrand Russell:

«I problemi risolti dalla teoria speciale della relatività in senso proprio, a parte la teoria dei quanti, sono quelli tipicamente rappresentati dall'esperimento Michelson-Morley. Assumendo la correttezza della teoria dell'elettromagnetismo di Maxwell, si sarebbe dovuto poter mettere in evidenza certi effetti del moto attraverso l'etere; in realtà, questi effetti sono mancati».

L'articolo dello Shankland riferisce come, nel 1818, il francese Augustin Fresnel, autore della teoria ondulatoria della luce, suggerisse la restaurazione dell'antica idea di un «etere» per giustificare la propagazione delle onde luminose. «Queste infatti», diversamente dalle onde sonore, attraversano anche un recipiente in cui sia stato fatto il vuoto d'aria (e gli spazi cosmici privi di aria). Fresnel e altri pensarono allora che esse avessero luogo in un mezzo materiale diverso dall'aria, che chiamarono «etere» e cercarono poi di porre in evidenza per studiarne le proprietà. «Negli anni a metà del 19° secolo», scrive lo Shankland — una quantità di esperimenti e di lavoro teorico fu fatta con l'intento di porre in evidenza l'etere luminifero e determinarne le proprietà. Fra gli esperimenti erano vari schemi ottici ed elettrici, elaborati per misurare il «ritardo della Terra attraverso un etere stazionario. Tutti questi primi esperimenti giunsero a fornire una prova dell'esistenza dell'etere, e gradualmente i fisici finirono con l'accettare l'idea che, sebbene una qualche sorta di etere esistesse, esso non poteva essere avvertito e conosciuto con nessuna precedente tecnica di laboratorio».

Nel 1864 l'inglese James Clerk Maxwell formulò le celebri equazioni che portano il suo nome, e che derivano dalla luce come un fenomeno elettromagnetico: «In base alla matematica delle equazioni — continua l'articolo — era la previsione che il moto della Terra attraverso un etere stazionario avrebbe potuto essere messo in evidenza con un opportuno esperimento ottico, capace di misurare la quantità di spostamento della luce, rappresentata dal quadrato del rapporto fra la velocità orbitale della Terra e la velocità della luce... In quel tempo Maxwell considerava tale esperimento puramente ipotetico, poiché la sensibilità richiesta per rendere evidente un effetto così piccolo era di circa una parte in cento milioni, e nessuna tecnica allora nota poteva avvicinarsi a tanto».

L'esempio del barcaiolo

Ma nove anni dopo, nel 1873, un ventunenne ufficiale di marina addetto all'Ufficio dell'Almanacco Nautico in Washington, Albert Michelson, provò la sua eccezionale perizia di sperimentatore eseguendo una misura della velocità della luce, che risultò la più accurata finora allora raggiunta: 299.853 chilometri al secondo, mentre la misura considerata attualmente (novantadue anni dopo) più esatta è di 299.793 chilometri al secondo. Nel 1879 accadde a Michelson di leggere una lettera in cui Maxwell giustificava la sua opinione, che fosse impossibile ignorare con un esperimento l'esistenza dell'«etere», con la seguente argomentazione: «e in tutti i metodi terrestri per determinare la velocità della luce, la luce ritorna sullo stesso cammino percorso all'andata» e appunto il tempo — brevissimo — di questo doppio passaggio, avrebbe dovuto essere alterato da una quantità dipendente dal quadrato del rapporto fra la velocità della Terra e quella della luce, e questo è troppo piccolo per poter essere osservato». Come già si è riferito, il valore del quadrato del rapporto fra velocità orbitale della Terra e velocità della luce è un centomillesimo, e anche se si facessero percorrere alla luce, nell'esperimento, trecento chilometri, ciò avverrebbe in un millesimo di secondo: la variazione da apprezzare sarebbe dunque un centomillesimo di un millesimo di secondo.

Michelson pensò tuttavia che ci si poteva arrivare, misurando le «frange di interferenza»: se due raggi di luce si sovrappongono imperfettamente, essendo cioè uno ritardato rispetto all'altro, interferiscono in vario modo, determinando su uno schermo interposto — una successione di zone d'ombra e di luce, dette appunto «frange», e si capisce che anche un lieve ritardo di uno dei raggi può essere messo in tal modo in evidenza e anche misurato. Michelson si propose dunque di compiere un esperimento in cui due raggi di luce fossero diretti perpendicolarmente fra loro, così che quando uno si trovasse a essere orientato secondo il moto orbitale della Terra, l'altro non fosse invece influenzato da tale moto: e di riunirli poi per mettere in evidenza la loro interferenza.

L'idea era la seguente: come un barcaiolo, che vada attraverso un fiume nel due sensi impiega, per tornare al punto di partenza, un tempo minore di quello che impiegherebbe se percorresse la stessa distanza una volta nel senso della corrente e una volta in senso contrario, così anche un raggio che andasse su e giù in direzione perpendicolare a quella della supposta «corrente di etere» impiegherebbe un tempo minore di uno che percorresse la stessa distanza una volta nel senso della corrente e una volta in senso contrario. La differenza del tempo dovrebbe apparire nelle frange di interferenza.

L'esperienza decisiva

Michelson costruì il suo primo apparecchio inteso a tal fine, o «interferometro», a Berlino, nel 1880, presso il laboratorio del celebre Helmholtz. Gli esperimenti non rivelarono nulla, ma l'apparecchio era in realtà troppo grossolano per poter mettere in luce una variazione così sottile come quella ricercata. Così solo nel 1887, a Cleveland, dove ancora era nel 1881 la cattedra di fisica a essere incontrato Morley, docente di chimica ma molto competente e interessato anche in fisica, Michelson poté attuare l'esperienza decisiva. Lo schema dell'apparecchio era sempre lo stesso: un raggio di luce incontra una lastra debolmente argentea, e in parte l'altra, continuando la sua via in linea retta, in parte ne è riflessa ad angolo retto, ciascuna delle due parti è riflessa da uno specchio, e torna indietro, essendo le distanze percorse rigorosamente eguali.

Il raggio ricomposto colpisce l'oculare di un cannocchiale, e mostra frange di interferenza, dovuta alla sovrapposizione accurata ma non assolutamente perfetta dei due raggi ottenuti con la precedente separazione. Tutto l'apparecchio è fatto ruotare lentamente, e ci si attende che, quando il cammino di uno dei raggi si trovi allineato con l'ipotesizzata «corrente d'etere», e il cammino dell'altro raggio perpendicolare a questa, le frange di interferenza risultino alternate visibilmente, nel tanto da consentire una misurazione.

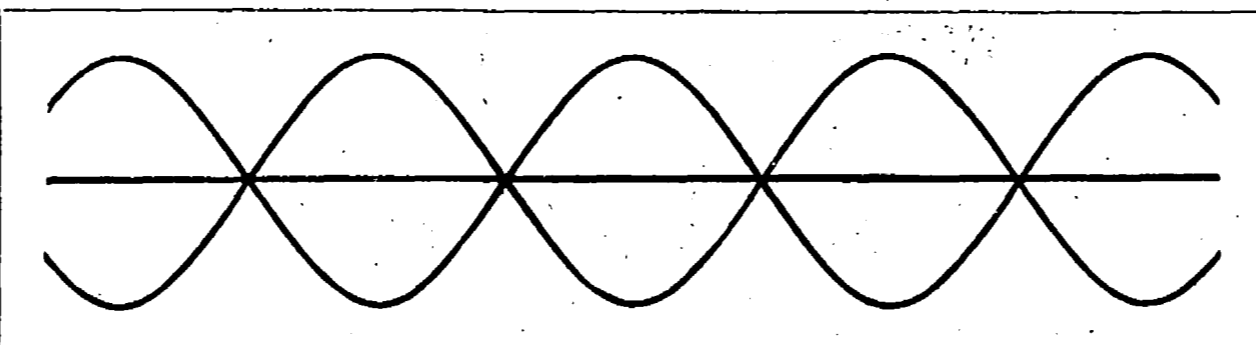
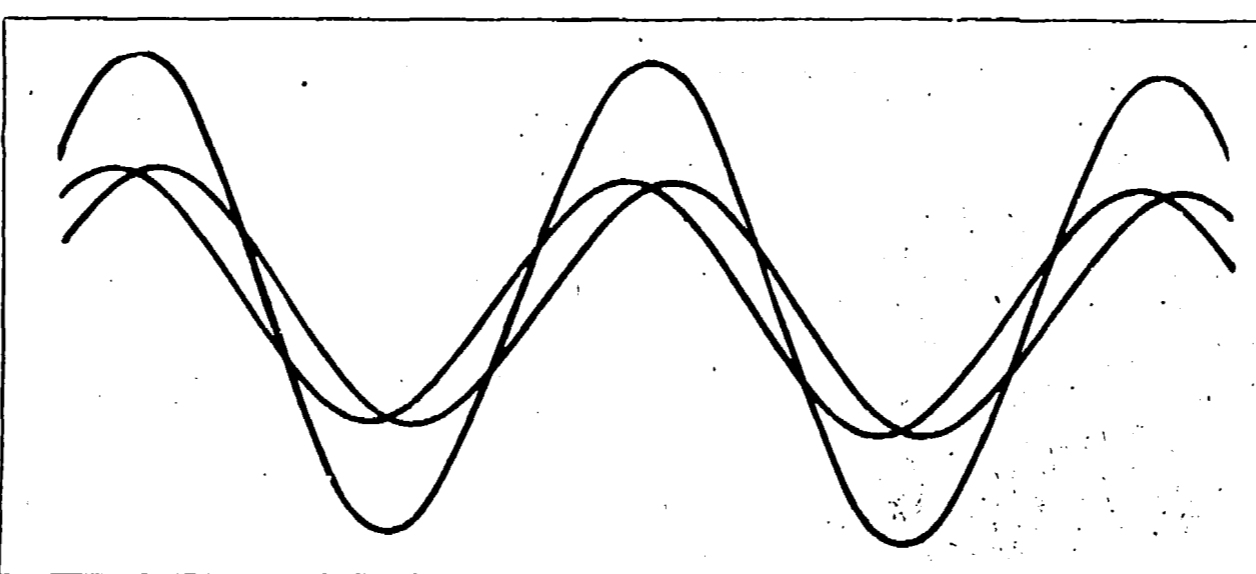
L'accuratezza dell'esperienza del 1887 era dovuta alla tecnica costruttiva, veramente notevole per l'epoca: la base dell'apparecchio era costituita da un blocco spianato di arenaria, montato su una ciambella di legno, fluttante sul mercurio contenuto in un recipiente di ghisa, anch'esso a forma di ciambella, e il cammino percorso da ciascun raggio era moltiplicato per quattro da altrettante coppie di specchi, diventando di circa 11 metri. Il calcolo dimostrava che l'influenza della «corrente di etere» sulla velocità della luce, se si fosse verificata, doveva apparire con grande evidenza: ruotando l'apparecchio, le «frange» dovevano subire una visibile variazione, da un massimo a un minimo, poi a un massimo in senso perpendicolare al primo.

Ma nulla di simile apparve, e questo significò — sebbene non pochi fisici anche illustri non volessero ammetterlo subito e sollecitassero nuove prove, che vennero poi fatte con eguale risultato — che non si poteva provare in alcun modo l'ipotesi della esistenza dell'«etere luminifero», così che non c'era ragione di credere che questo esistesse veramente. Ma allora le onde luminose di che cosa sono onde? Qual è il mezzo fisico che di esse si increspa?

La risposta a questo interrogativo si può dire che non è ancora interamente definita, e in ogni caso non può essere data in un modo diretto, ma si trova un po' in tutta la nuova fisica, inaugurata con il principio del nuovo secolo da Albert Einstein. Come dice Russell nel passo citato, l'esperimento Michelson-Morley poneva in realtà i problemi a quali Einstein ha dato una soluzione, o l'inizio di una soluzione, o che comunque ha messo in luce in termini esatti.

Il termine intermedio fra Michelson-Morley e Einstein è costituito da Lorentz e Fitzgerald. Quest'ultimo, unita notizia dell'esperimento di Cleveland, aveva avanzato l'ipotesi che l'apparecchio usato potesse, e così anche ogni altro corpo materiale, contrarsi nella direzione del moto in misura proporzionale al quadrato del rapporto fra velocità della luce e velocità orbitale della Terra, cioè esattamente nella stessa misura che avrebbe dovuto essere evidente nella «invarianza» variazione delle frange di interferenza. L'idea del fisico irlandese non era così bizzarra come potrebbe sembrare a prima vista, poiché era in realtà connessa con la teoria elettromagnetica di Maxwell. Lorentz infatti, partendo da tale ipotesi, sviluppò una serie di formule note come «trasformazioni di Lorentz», accolte poi da Einstein e dalla fisica successiva.

Senonché, mentre l'idea di Fitzgerald mirava a salvare l'ipotesi dell'«etere» pur rinunciando a provarla con l'osservazione, Einstein conferì al problema una nuova e ben maggiore dimensione, la sola che gli compete, superando di un balzo la questione dell'«etere» con la scoperta della fondamentale relazione fra massa, energia, e velocità della luce.



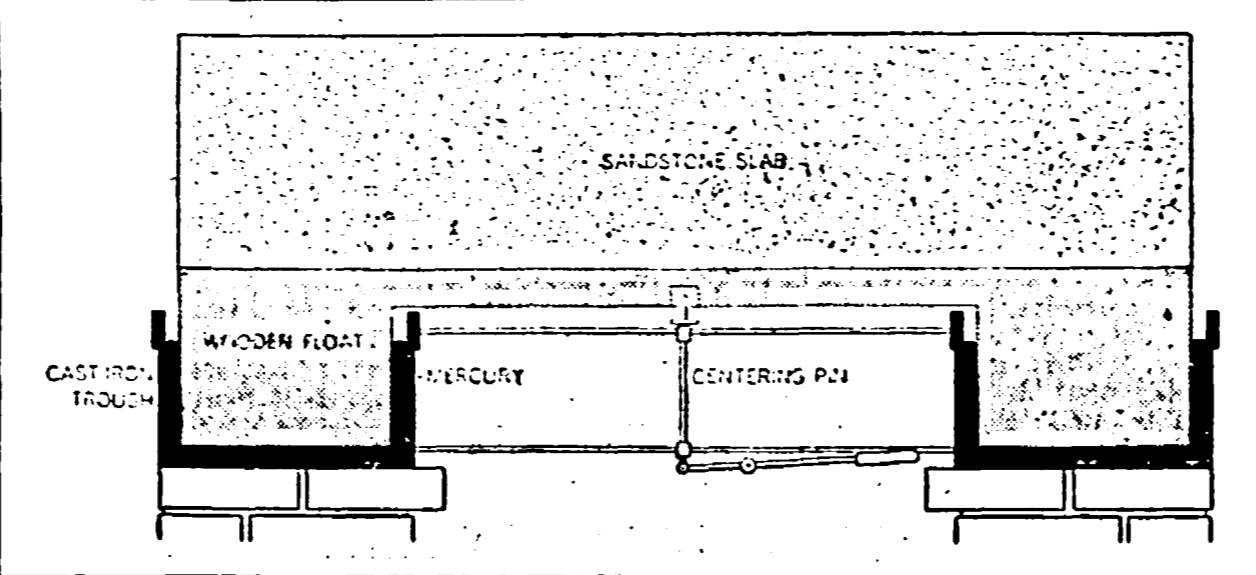
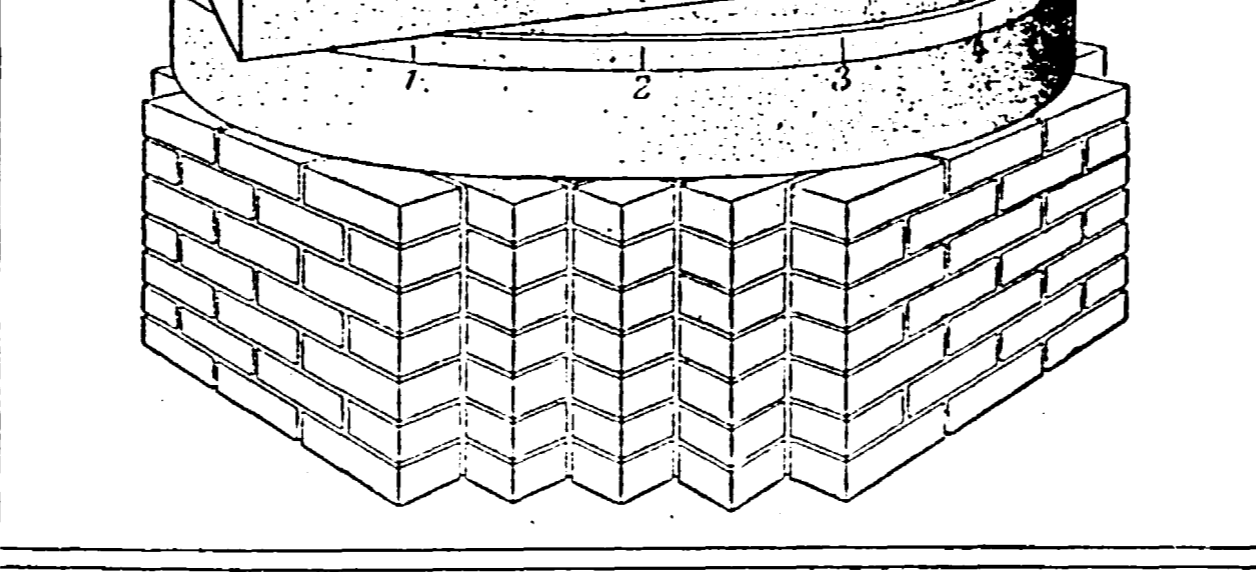
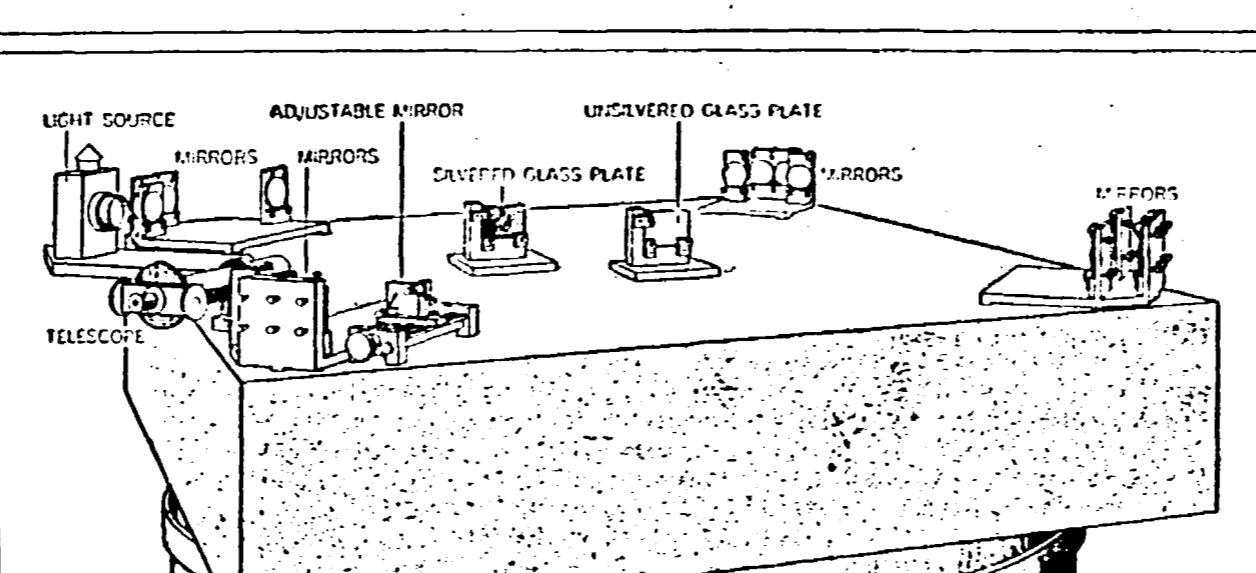
Frangie di interferenza: onde luminose che si sovrappongono con lieve sfasamento (in alto) si sommano; se si sovrappongono in modo che ogni massimo corrisponda a un minimo (sotto) si elidono e la luce scompare.

Le frange di interferenza viste su uno schermo ottico.

Il primo apparecchio di Michelson, usato a Berlino.

L'apparecchiatura per l'esperimento del 1887 (scritte interne: fonte di luce; cannocchiale, specchi, specchio regolabile, lastra di vetro argentea, lastra non argentea, specchi, specchi).

Spaccato della apparecchiatura (scritte interne: conca di ghisa, galleggianti di legno, mercurio, blocco di arenaria, spillo centrale).



scienza e tecnica

Sviluppi di una tecnologia avanzata

I problemi costruttivi dei grandi missili

Come aumentare la velocità di efflusso dei gas di spinta — Razzi a «tripropellente»

Come abbiamo accennato in un precedente articolo, ai missili a propellenti liquidi sono state affidate tutte le imprese cosmiche di grande rilievo, ed è prevedibile che questo si ripeta pure nei prossimi anni avvenire. Il razzo a propellente liquido, dunque, ha già oggi una storia gloriosa, ed ha dimostrato, negli ultimi anni di avere subito un'evoluzione, uno sviluppo eccezionale, bruciando letteralmente le tappe. In meno di dieci anni il carico utile dei missili di questo tipo è aumentato di oltre cento volte, passando dalle decine di chili alle decine di tonnellate; migliorata il rendimento, inteso come percentuale del carico utile sul peso complessivo del missile, la sicurezza di funzionamento è ormai un fattore acquisito.

Cercheremo ora di accennare ai problemi costruttivi di questi grandi missili ai punti essenziali sui quali eserciti di specialisti sono al lavoro da anni, e sui quali si basano sia i problemi che i progressi realizzati.

Diremo subito che in un missile, quale che sia il tipo di propellente usato, occorre che la velocità di efflusso dei gas di propulsione sia più elevata possibile. Tale velocità risulta tanto più alta quanto più alta è la temperatura che regna entro i motori del razzo, e quanto più basso è il peso molecolare del gas di propulsione.

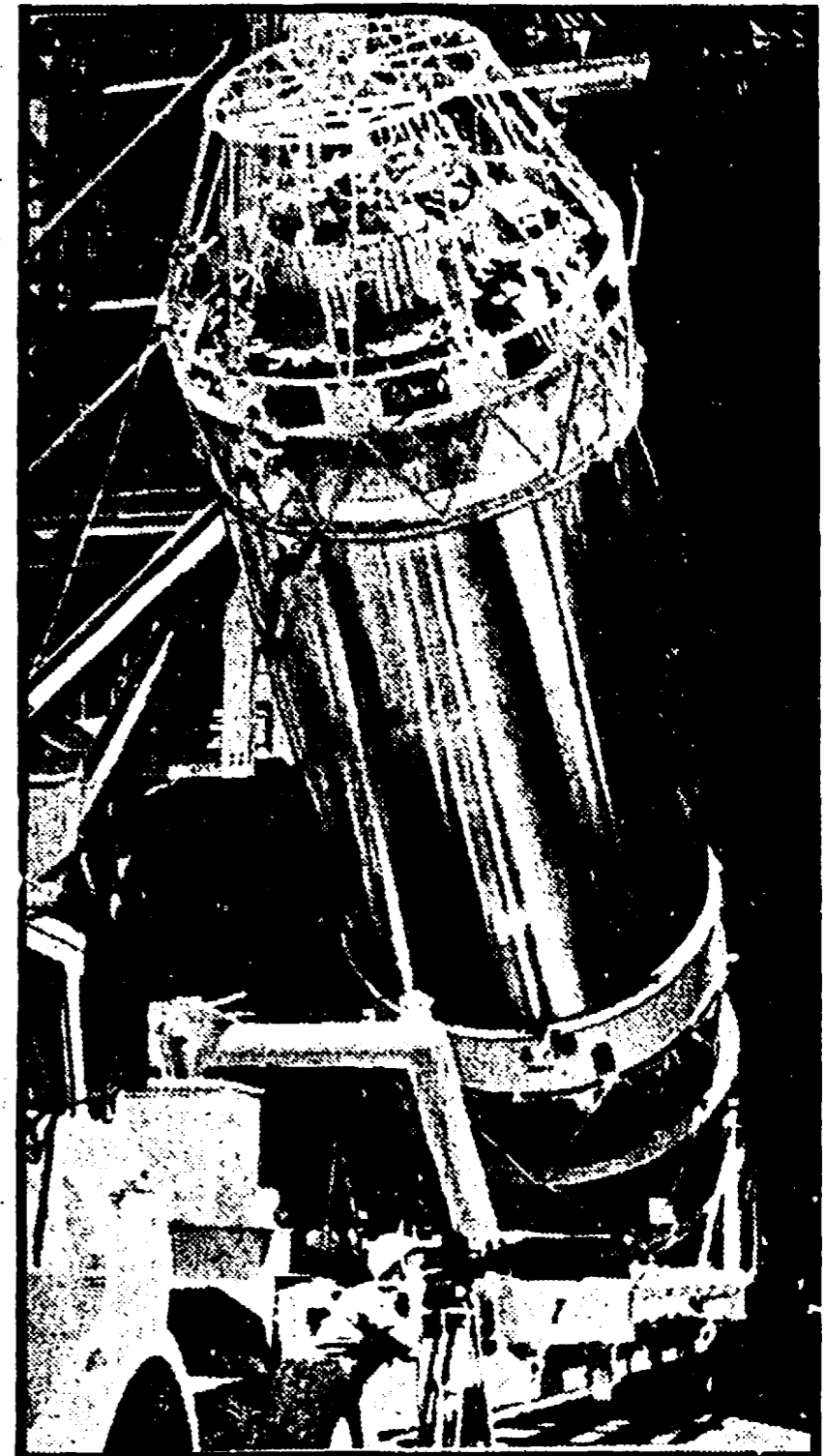
I limiti di temperatura del gas all'interno dei motori sono posti dalla resistenza delle pareti delle camere di combustione, dall'andamento più o meno regolare della combustione, dai movimenti dei flussi gassosi all'interno delle camere, dalle possibilità di raffreddarle dall'esterno.

È chiaro che per la costruzione delle camere, da anni si cercano materiali sempre più resistenti, sia meccanicamente che alle alte temperature, tanto da aver fatto nascere tutta una metallurgia nuova, che utilizza metalli rari, composti finora sconosciuti, quali i tormaliti, i idruri, gli ossidi, i materiali simili sotto certi aspetti ai materiali ceramici (i cermeti). Ma gli studi non si sono limitati a questo: i motori vengono oggi progettati in modo che in un'intercapedine immediatamente adiacente alla parete interna delle camere, vengano fatti circolare i propellenti prima di essere immessi nelle camere. Le pareti di queste vengono così raffreddate, ed il calore loro sottratto non è perduto in quanto rientra nei propellenti, e si mangia, in molti casi, vengono costruite di materiali metallici (tipici, e rivestite di altri materiali, meccanici, molto poco resistenti, ma molto resistenti al calore (ossidi metallici, silicati e altri).

Le ricerche più recenti

Oltre a questo, la forma delle camere, la disposizione degli iniettori di propellente e degli ugelli d'efflusso vengono studiate in modo che non si creino in nessun caso «punti caldi» vicino alle pareti, ma che, anzi, queste vengano lambite da strati di gas relativamente «freddi» e cioè molto meno caldi degli strati che si generano verso il centro delle camere, e che vengono direttamente avviati agli ugelli d'efflusso. Con tali artifici, è oggi possibile costruire propulsori per missili entro i quali la temperatura del gas tocca temperature più alte di 1500° della temperatura di fusione del materiale che costituisce le pareti delle camere di combustione.

La chimica, nel funzionamento dei missili, gioca anche per altre vie. Abbiamo visto come, negli effetti della velocità di efflusso dei gas, e quindi delle prestazioni complessive del razzo, giochi il peso molecolare del gas d'efflusso, per cui si possono ottenere ottimi risultati passando da gas con molecole pesanti ad altri con molecole più leggere. Oltre a ciò, va considerata la capacità delle diverse «coppie» combustibile-ossidante di sviluppare, per ogni unità di peso di materiali consumati, una quantità di energia maggiore o minore. Questi due gruppi di problemi vanno considerati congiuntamente, in quanto alcune «coppie» che sviluppano elevate energie, danno, come prodotti di combustione,



Un serbatoio per propellente chimico di un grande missile

ne, gas con peso molecolare elevato, e viceversa. Aggiungendo ad un combustibile liquido polveri di metalli leggeri (berillio, alluminio, litio) si ha un sensibile aumento dell'energia sviluppata per unità di peso di propellente, ma si hanno notevoli, piuttosto pesanti, alcune delle quali tendono ad assumere, anche a temperature molto alte, lo stato solido, ponendo così nuovi problemi.

Le ricerche più recenti hanno preso orientamenti assai interessanti portando alla luce tutta una gamma di materiali nuovi. In primo luogo, l'idrogeno liquido, assai difficile da ottenere, da conservare e da maneggiare, è entrato ufficialmente in missilistica; la sua unione con l'ossigeno fornisce molta energia, e dà luogo, nello stesso tempo, a molecole di vapore acqueo di basso peso molecolare (e cioè 18, mentre ad esempio il peso molecolare dell'anidride carbonica, risultante dalla combustione di idrocarburi con ossigeno, è 44); d'altro canto, le difficoltà comportate dall'impiego dell'idrogeno sono tali, che, per ora, i missili di maggiori dimensioni non lo utilizzano.

Su un altro elemento chimico, che ha il ruolo di «ossidante», cioè sostituisce l'ossigeno, è in corso la ricerca dell'idrogeno o altro combustibile, si concentrano oggi gli sforzi degli scienziati e dei tecnici, e cioè il fluoro, il quale combinandosi con l'idrogeno permette, per unità di peso, di sviluppare energie superiori del 5-15% a quelle sviluppate dalla «coppia» ossigeno-idrogeno, ed addirittura quasi doppie di quelle sviluppate da molte «coppie» combustibile-ossidante di uso convenzionale, come acido nitrico-petrolio, ossigeno-alcol, ossigeno-petrolio.

D'altra parte, il fluoro è ancora più difficile e pericoloso da ottenere, da conservare e da maneggiare che non l'idrogeno liquido, è energeticamente tossico, è ancora più reattivo, dal punto di vista chimico, che non il fluoro, e dà luogo a composti velenosi. Gli sforzi intesi ad ottenere reazioni sempre più energetiche, hanno portato a farmaceutici chimiche nuove, e all'avvio di esperienze su nuove strade. È nato così il «tripropellente», cioè un sistema propellente costituito non più da due, ma da tre materiali differenti, nella fattispecie berillio, ossigeno e idrogeno ed anche litio, fluoro e idrogeno. Dal la reazione chimica di queste due terne di elementi, si possono ottenere i più elevati quantitativi di energia

per unità di peso, ma le difficoltà pratiche per una serie di realizzazioni pratiche in questo senso sono molto pesanti.

In primo luogo, i materiali di idrogeno e fluoro, come abbiamo visto, sono difficili da ottenere, da immagazzinare e da manipolare; in secondo luogo, le reazioni chimiche relative, essendo così energetiche, sono difficili da controllare, con pericolo di andamento instabile o addirittura di esplosioni. Infine, in ambedue le terne si trovano due materiali allo stato liquido ed uno allo stato solido.

Diverse soluzioni

Per superare tutte queste difficoltà, diverse soluzioni sono in fase di studio e di sperimentazione. I metalli possono essere finemente polverizzati e mescolati al combustibile liquido; in gruppi di specialisti stanno studiando motori «ibridi» e cioè funzionanti con un materiale liquido ed uno solido, in forma massiccia o polverizzata. Altri gruppi ancora tentano di attenuare la reattività e la pericolosità dei materiali mescolandoli ad altri, oppure fornendoli chimicamente composti. Sono così allo studio composti cloro-fluoro, azoto-fluoro, bromo-fluoro, ossigeno-fluoro e cloro-ossigeno-fluoro, mentre ormai cinque sono i metalli allo studio come additivi dei combustibili per aumentarne il potere energetico, e cioè alluminio, berillio, boro, litio e zinco. A loro volta questi metalli possono anche essere impiegati composti chimicamente con l'idrogeno (idruuri metallici semplici e misti).

È chiaro dunque, da questi cenni, necessariamente sommersi, che la tecnica dei missili a propellente liquido, quanto a metallurgia, tecnica costruttiva e chimica dei propellenti è in pieno sviluppo, su numerose strade, e che da tanti studi e costose esperienze sarà possibile trarre gli elementi per uno sviluppo ancora più rapido di questo tipo di macchina.

Quanto ai razzi a propellente solido (seppure per ora in seconda linea nelle imprese spaziali) i progressi, quanto a metallurgia, tecnica e le esperienze altrettanto attive, tali da meritare il massimo interesse. Cercheremo di occuparcene quanto prima.

Giorgio Bracchi