

ATTI
DELLA
SOCIETÀ ITALIANA PER IL PROGRESSO DELLE SCIENZE

pubblicati per cura

del Segretario Prof. LUCIO SILLA

DICIANNOVESIMA RIUNIONE

BOLZANO-TRENTO 7-15 Settembre 1930

VOLUME I.

RAPPORTI A CLASSI RIUNITE E DI CLASSE



ROMA

SOCIETÀ ITALIANA PER IL PROGRESSO DELLE SCIENZE

Via del Collegio Romano 26

1931

IX

Atomi e Stelle

Prof. ENRICO FERMI

In questa conferenza cercherò di passare in rassegna rapidamente le vedute attuali sopra la struttura dei corpi; sia di quelli che si nascondono alla osservazione diretta per la loro estrema piccolezza, e cioè gli atomi, le molecole, e i loro elementi costitutivi, elettroni e nuclei, sia di quelli la cui osservazione è resa incerta dalla enorme grandezza e lontananza.

Naturalmente, data la grande vastità di questo programma, la mia esposizione dovrà per necessità limitarsi a pochi fatti essenziali; ed è questo che mi dà l'ardire di dir qualche parola anche sulla struttura delle stelle, per quanto questo argomento esca dal campo usuale dei miei studi. La nostra esposizione riuscirà più chiara incominciando dal parlare dei corpi piccoli per passare poco alla volta alla considerazione di quelli più grandi. Verremo così però ad allontanarci dall'ordine storico; poichè, date le nostre possibilità di osservazione, vennero per prime comprese le proprietà dei corpi aventi dimensioni usuali e da queste si poté solo in seguito, per mezzo di laboriose indagini arrivare a riconoscere prima l'esistenza e poi le proprietà di particelle costituenti assai più piccole.

Anche non volendo ricordare le speculazioni dei Greci, Democrito e i suoi seguaci, che giunsero all'ipotesi che la materia fosse costituita da atomi, e cioè da tante particelle staccate una dall'altra, poichè non arrivano a comprendere come una materia continua potesse essere compressibile, la nozione dell'esistenza degli atomi e delle molecole venne introdotta nella scienza moderna per due vie differenti. E cioè per via chimica dove l'ipotesi dell'esistenza di una particolare specie di atomo per ogni elemento chimico, e della possibilità che alcuni atomi si raggruppano a formare le molecole delle diverse sostanze spiega in modo immediato le leggi delle proporzioni definite e multiple; se poi l'ipotesi dell'esistenza degli atomi si completa con l'ipotesi di Avogadro, essa spiega anche la legge che i rapporti dei volumi di due o più gas che entrano in combinazione tra di loro sono sempre dei numeri semplici. D'altra parte anche i fisici arrivavano ad ammettere l'esistenza degli atomi e delle molecole per via totalmente diversa e cioè principalmente per spiegare

le proprietà dei gas. La teoria cinetica ammette infatti che un gas sia costituito da un numero enorme di molecole, in moto disordinato in tutte le direzioni, che si urtano continuamente e rimbalzano elasticamente le une sulle altre. La proprietà dei gas di esercitare una pressione sopra le pareti del recipiente che li contiene si spiega come risultato dei numerosissimi urti delle molecole del gas contro le pareti del recipiente. Questo bombardamento delle molecole contro le pareti è tanto fitto che è impossibile distinguere uno dall'altro i singoli urti e si ha l'effetto come di una pressione continua. I moti delle molecole sono intimamente legati alla temperatura del corpo; si trovò infatti che la temperatura assoluta è proporzionale all'energia cinetica media dei movimenti delle molecole.

Ma lo spirito dello scienziato moderno è essenzialmente quantitativo; e così i fisici non si accontentarono di convincersi che l'ipotesi molecolare permette di spiegare questa e quella legge, ma si posero immediatamente le seguenti domande: Quante sono le molecole contenute in una data quantità di materia? Quale è la massa di una singola molecola e quali le sue dimensioni? Il trovare la risposta a queste domande non era facile. Ciò dipende dal fatto che per spiegare la maggior parte dei fenomeni, e certamente i più appariscenti, basta ammettere che le molecole esistano e siano in numero tanto grande da sfuggire individualmente all'osservazione e da obbedire a leggi statistiche. Il risultato allora, nella maggior parte dei casi, è indipendente dal numero delle molecole e quindi non ci può fornire un mezzo per determinare questo numero. Vi sono però alcuni casi in cui il numero delle molecole ha una effettiva influenza sopra i fenomeni; e si può arrivare anche, in particolari circostanze, a rilevare l'azione esercitata da una singola molecola o da un gruppo di poche molecole. Lo studio di questi fenomeni permette di arrivare alla determinazione del numero di molecole contenute in una data quantità di gas. Si chiama numero di Avogadro il numero di molecole contenuto in un grammo molecola di qualsiasi sostanza. Secondo le misure più attendibili esso è $N = 6,06 \cdot 10^{23}$; e la più bella conferma della teoria molecolare è che il valore di questo numero, misurato con sette o otto metodi completamente indipendenti, risulta sempre lo stesso, entro i limiti dell'errore sperimentale. Le dimensioni delle molecole sono naturalmente diverse da caso a caso; esse hanno però sempre l'ordine di grandezza di 10^{-8} cm.

Riconosciuta così in modo definitivo l'esistenza delle molecole, venne il problema della loro struttura. Si sa dalla chimica che le molecole sono in genere costituite da alcuni atomi; ma quale è la struttura di questi? Sarebbe interessante analizzare attraverso a quali esperienze e con-

23
10 x 6,06

siderazioni si arrivò dapprima a sospettare che gli atomi non fossero gli « indivisibili » degli antichi ma contenessero delle particelle più piccole e infine a determinare il numero, la disposizione e le proprietà di queste. Ma ragioni di tempo mi consentono soltanto una esposizione di fatti che oggi si ritengono accertati o almeno molto probabili.

Le particelle costitutive della materia sono di due tipi: particelle cariche di elettricità negativa, o elettroni; particelle cariche positivamente, o nuclei.

Gli elettroni sono corpuscoli tutti eguali tra di loro; leggerissimi, avendo massa 1800 volte più piccola di quelle dell'atomo più leggero, l'idrogeno. Essi hanno tutti la stessa carica negativa $-e = -4,77 \cdot 10^{-10}$ u. e. s.

A differenza degli elettroni, esistono invece molte diverse specie di nuclei. Intanto per ciascuno dei 92 elementi chimici si ha almeno un particolare tipo di nucleo. E per molti elementi chimici si hanno anzi alcuni tipi diversi di nuclei, ciascuno dei quali dà in realtà origine a un diverso tipo di elemento. Solo che gli elementi che ne risultano hanno proprietà così enormemente simili tra di loro che è praticamente impossibile separarli uno dall'altro. Per caratterizzare un nucleo occorre darne la carica elettrica e la massa. La carica elettrica, sempre positiva, è un multiplo intero di quella carica $e = 4,77 \cdot 10^{-10}$ u. e. s. che abbiamo già incontrato nell'elettrone. Essa sarà dunque Ze dove Z è un numero intero che prende il nome di numero atomico del nucleo. I numeri atomici variano da 1 a 92.

Passiamo ora a descrivere la struttura di un atomo e incominciamo dall'atomo più semplice, l'idrogeno. Esso è costituito da un nucleo di numero atomico $Z=1$ e da un elettrone che è costretto a restare nelle vicinanze del nucleo dalla attrazione elettrostatica dovuta al fatto che nucleo ed elettrone hanno cariche elettriche di segno opposto. Invece un atomo qualunque contiene in generale un nucleo solo ed un numero di elettroni tale da neutralizzarne la carica positiva. P. es. l'atomo di ferro è costituito da un nucleo di numero atomico 26 circondato da 26 elettroni. Questo modello atomico, proposto da RUTHERFORD ricorda molto nella sua struttura il sistema solare. Il nucleo positivo al centro dell'atomo corrisponde al sole e gli elettroni che lo circondano corrispondono ai pianeti.

Ora, se si calcola questo minuscolo sistema planetario atomico, con i procedimenti della ordinaria meccanica, di quella stessa meccanica che, applicata al vero sistema planetario, dà risultati di così mirabile precisione, si trovano invece risultati in completo disaccordo, qualitativo e

La carica del
nucleo è sempre
positiva



quantitativo, con l'esperienza. Questo fatto non può meravigliarci. Basta riflettere che le leggi della meccanica e dell'elettrodinamica sono state dedotte e controllate in base ad esperienze fatte sempre sopra corpi di dimensioni usuali o grandi; l'applicare queste stesse leggi ad un sistema atomico di dimensioni cento milioni di volte più piccole di un centimetro costituisce quindi una estrapolazione arditissima e a priori assai incerta.

Riconosciuta l'inapplicabilità delle leggi ordinarie ai sistemi atomici sorse il problema di trovare quali fossero le leggi a cui questi sistemi obbediscono. La ricerca di queste leggi incominciò circa 20 anni fa e forse soltanto oggi si avvicina alla sua conclusione. Nei primi tempi si cercò di arrivare alle nuove leggi partendo dalle antiche, valide per i sistemi ordinari, modificandole qua e là in modo da adattarle ai sistemi atomici (Teoria di Bohr). Poi poco alla volta si riconobbe la necessità di un mutamento più essenziale nelle stesse premesse della meccanica e si arrivò così alla costruzione della nuova meccanica quantistica che va oggi applicandosi con successo a un numero sempre crescente di fenomeni. Mi manca qui però il tempo per accennare ad essa con qualche particolare.

Prima di passare a dir qualche parola alla struttura di corpi più complessi dell'atomo vogliamo ancora dire qualche cosa sopra le particelle costitutive dell'atomo: gli elettroni e i nuclei. Hanno essi stessi una struttura complessa oppure no? Per l'elettrone e per il nucleo più leggero, cioè quello di idrogeno, detto anche protone, non si hanno fino ad oggi indizi seri di una struttura complessa. Ci sono invece buone ragioni per ritenere che tutti gli altri nuclei siano costituiti da aggregati di elettroni e protoni. Sorge così per i fisici il nuovo problema della struttura del nucleo che si presenta oggi come uno dei più affascinanti campi della fisica dell'avvenire.

Ma lasciando da parte questi problemi, ancora estremamente lontani dalla loro soluzione, dobbiamo passare ad occuparci delle forze che agiscono tra gli atomi e li riuniscono insieme per formare sia aggregati di pochi atomi, quali sono le molecole; sia aggregati assai più numerosi, come i corpi solidi. Le forze che agiscono tra gli atomi si possono ridurre sostanzialmente a due tipi, tra i quali non mancano tipi di transizione. Il primo ci è dato dalle forze elettrostatiche; il secondo dalle così dette forze di risonanza o omeopolari.

Le forze elettrostatiche possono anche esercitarsi tra atomi neutri, purché essi siano polarizzati; ma in questo caso si tratta di forze assai piccole che non sono normalmente sufficienti a tenere insieme gli atomi per formare molecole o corpi solidi. Invece le forze elettrostatiche agi-

scano intensamente tra gli ioni, cioè tra queglii atomi che, avendo perduto oppure acquistato uno o più elettroni, sono restati carichi positivamente oppure negativamente. Sia dall'esperienza che dalla teoria risulta che alcuni atomi (quelli dei metalli) hanno tendenza a perdere elettroni, formando ioni positivi; altri atomi invece (quelli dei metalloidi) hanno tendenza ad aggregarsi elettroni formando ioni negativi. Se allora poniamo un atomo di un metallo, Sodio p. es., in presenza di un atomo di un metalloide, p. es. Cloro, il Cl. avido di elettroni si approprierà uno degli elettroni del Sodio. Il Cloro diventerà così uno ione negativo e il Sodio uno ione positivo; i due ioni, avendo carica di nome opposto si attrarranno fino a venire in contatto formando la molecola NaCl . Questo è, in poche parole, il meccanismo delle forze polari; il meccanismo delle forze omeopolari, che sono quelle che tengono insieme molecole del tipo H_2 , N_2 , O_2 , non formate da ioni, ma da atomi neutri è assai più recondito e non può venir spiegato senza considerazioni alquanto complicate.

Ci limiteremo pertanto a dire che le forze omeopolari sono una caratteristica conseguenza della nuova meccanica atomica e che non hanno un corrispondente nella meccanica ordinaria. Esse sono state studiate principalmente negli ultimi anni e, insieme alle forze polari peraltro, sono di interpretare la formazione dei principali tipi di composti chimici.

Sostanzialmente simili alle forze che tengono insieme gli atomi di una molecola, sono le forze che li raggruppano per formare i corpi solidi. Tra questi i più caratteristici sono i cristalli (cristalli propriamente detti e corpi a struttura microcristallina); poichè i corpi solidi amorfi non differiscono qualitativamente da liquidi estremamente viscosi. I cristalli invece sono caratterizzati dalla disposizione mirabilmente regolare delle loro molecole, in reticolati formati da serie di piani equidistanti (le loro distanze sono dell'ordine di un centomillesimo di centimetro). Anche tra i cristalli, come abbiamo visto per le molecole, dobbiamo distinguere i cristalli polari da quelli omeopolari; i primi sono costituiti da ioni positivi e negativi, tenuti insieme dalle attrazioni elettrostatiche; i secondi sono invece tenuti insieme, almeno in parte, dalle forze di risonanza a cui abbiamo già accennato. Un cristallo polare molto tipico è il salgemma costituito da atomi, o meglio ioni di Cloro e Sodio, i primi con carica negativa e i secondi positiva, disposti alternativamente nei vertici di un reticolo cubico. In generale i sali formano cristalli polari. Cristalli non polari sono invece p. es. il diamante e molti cristalli metallici.

Ci manca qui il tempo di parlare con qualche dettaglio dei corpi liquidi e gassosi e ci limitiamo perciò ad accennare che ciò che, dal punto di vista molecolare, maggiormente li distingue dai solidi è il fatto che

le loro molecole, in seguito all'agitazione termica vagano per tutta la massa del corpo allontanandosi molto dalla posizione iniziale; mentre l'agitazione termica degli atomi in un corpo solido consiste in una vibrazione intorno ad una posizione di equilibrio. Nei liquidi le distanze tra molecola e molecola sono dello stesso ordine di grandezza delle dimensioni molecolari; così che le varie molecole sono quasi continuamente in contatto. Invece nei gas esse sono assai più distanziate tra di loro; ed in un gas sufficientemente rarefatto si può anzi considerare ciascuna molecola per conto suo, praticamente pochissimo perturbata dall'azione delle altre.

Abbiamo così passata in rapida rassegna la struttura dei corpi quali essi si presentano in condizioni ordinarie alla nostra osservazione; e per condizioni ordinarie intendo qui quelle che si possono realizzare nei nostri laboratori. Ma al di fuori dei nostri laboratori, ed in luoghi inaccessibili all'esperienza diretta dell'uomo, la materia può trovarsi in condizioni così profondamente diverse da quelle ordinarie che la sua struttura viene ad esserne assai notevolmente alterata. Condizioni di questo genere hanno luogo verosimilmente, per l'enorme temperatura e l'enorme pressione, nell'interno delle stelle. Ma prima di parlare dell'interno diciamo due parole della superficie.

Lo stato fisico della superficie delle stelle ci viene in buona parte rivelato dall'esame dello spettro della luce che esse ci inviano. Questo spettro, opportunamente interpretato, può dirci infatti molte cose; esso ci rivela intanto quali sono gli elementi chimici presenti alla superficie della stella, poichè riconosciamo nello spettro le righe che sappiamo esserne caratteristiche. Ma lo studio dello spettro ci informa anche sopra la temperatura della stella; così p. es. si trova che la presenza con grande intensità delle righe dell'idrogeno e dell'elio è indice di temperatura elevata; mentre la presenza delle righe emesse dai metalli neutri e ancor più dalle molecole indica invece una temperatura relativamente bassa. Un altro metodo che consente la determinazione della temperatura esterna della stella è il seguente. Se riscaldiamo un corpo fino a renderlo appena incandescente esso ci appare rosso; aumentando la temperatura la sua colorazione si sposta verso il bianco e se potessimo portarne la temperatura fino oltre una decina di migliaia di gradi la sua luce finirebbe con l'apparire bluastro. Ciò dipende dal fatto che nella luce emessa da un corpo incandescente la percentuale della luce di piccola lunghezza d'onda (violetta) va crescendo con la temperatura, in modo che la colorazione è tanto più violacea quanto più alta è la temperatura. E siccome

si conosce la legge secondo cui la colorazione dipende dalla temperatura si può, inversamente, dal colore dedurre la temperatura.

Da questi studi è risultato che la temperatura della superficie delle stelle può arrivare fino a venti o trentamila gradi. Sembra anzi che le stelle subiscano una specie di processo evolutivo incominciando la loro esistenza come corpi di grandi dimensioni (stelle giganti) e di temperatura relativamente bassa; le dimensioni vanno poi decrescendo mentre la temperatura cresce fino a un massimo, oltrepassato il quale la stella incomincia a raffreddarsi mentre le sue dimensioni continuano a decrescere (stelle nane).

Come si intravede anche da questi pochi cenni, lo stato fisico della superficie delle stelle, almeno di molte stelle, è relativamente ben conosciuto. Se invece vogliamo dir qualche cosa dell'interno di esse siamo necessariamente costretti a ricorrere ad ipotesi molto arrischiate. Tutte le teorie sopra l'interno delle stelle sono pertanto assai incerte; esse però concordano nel fatto che nell'interno delle stelle la temperatura deve essere elevatissima; essa è stata valutata dell'ordine di grandezza di decine di milioni di gradi.

A una temperatura così straordinariamente elevata le proprietà della materia diventano assai differenti da quelle che noi conosciamo. Basta riflettere che l'energia cinetica dei moti di agitazione termica, essendo proporzionale alla temperatura, risulta centomila volte maggiore che non lo sia a temperatura ordinaria. Si capisce allora come non possano esistere molecole; poichè, se per caso a un certo momento due atomi si riunissero per formare una molecola, essi verrebbero immediatamente strappati uno dall'altro dagli urti violentissimi contro gli altri corpuscoli. Ma nemmeno la compagine dell'atomo è abbastanza resistente da non infrangersi sotto urti così impetuosi. Consideriamo p. es. un atomo di ferro; in condizioni normali esso è costituito da un nucleo accompagnato da 26 elettroni. Ma sotto l'azione del bombardamento quasi tutti questi elettroni gli vengono strappati e verosimilmente soltanto un paio di essi restano col nucleo mentre gli altri 24 si disperdono nell'ambiente. In conclusione possiamo dunque raffigurarci la materia nell'interno di una stella costituita da una miscela disordinatissima contenente alcuni nuclei accompagnati da due o tre elettroni, e molti elettroni liberi moventisi in tutte le direzioni con velocità dell'ordine di quelle dei raggi catodici. Il tutto in un ambiente compenetrato da una radiazione di enorme frequenza e la cui intensità è tanto grande da produrre una pressione che, secondo EDMINGTON, può in alcuni casi arrivare a spezzare la compagine stessa della stella.

Ma tutto quanto ho detto è forse puro risultato di immaginazione : nessuno ne ha mai avuto e probabilmente nessuno ne potrà mai avere esperienza diretta. D'altra parte la mente umana ha bisogno di figurarsi anche le cose molto lontane e molto riposte; e forse, senza questa tendenza, quel piccolo numero di fenomeni che la scienza degli uomini è riuscita a comprendere sarebbe anche più ristretto.