

EVOLUZIONE INORGANICA STUDIATA TRAMITE L'ANALISI
SPETTRALE

di Sir Norman Lockyer

MacMillan e co. Londra - 1900

Prefazione

Questo volume contiene una descrizione delle indagini più recenti sulla chimica delle stelle e di alcune questioni che hanno avuto origine da esse. Ha preso la sua forma attuale perché numerosi amici, sul cui giudizio posso contare, suggerirono che dovevo far precedere la presentazione del lavoro e le conclusioni da esso derivanti, da una dichiarazione, la più chiara e semplice possibile, dei principi dell'Analisi Spettrale e dei precedenti passi nelle varie indagini la cui convergenza ha portato all'attuale punto di vista.

Nella mia "Chemistry of the Sun", pubblicata nel 1887, trattavo principalmente con le condizioni precedenti del problema per quanto riguardava il Sole. Nei due ultimi volumi, "The Meteoric Hypothesis" e il "Sun's Place in Nature", includevo le stelle. La breve storia che presenterò nella prima parte del presente libro consiste di un *riassunto* dei tre volumi, per quanto riguarda la questione della dispersione; questa è seguita dall'evidenza recentemente accumulata da altri scienziati che tendono tutti a sostenere la mia tesi originale. Nell'ultima parte del volume cerco di mostrare come, negli studi riguardanti la dispersione, ho in realtà raccolto fatti riguardanti l'evoluzione degli elementi chimici; e segnalo specialmente quei primi passi in questa evoluzione che possono essere meglio studiati, e più chiaramente rappresentati, mediante una lunga catena di fatti ora disponibili che riguardano i cambiamenti spettrali osservati nelle stelle più calde.

I miei ringraziamenti sono dovuti ai signori (1) Lockyer, Fowler e Baxandall e ad altri assistenti al South Kensington, che mi hanno aiutato in questo lavoro; (2) ai miei colleghi, professori Perry, Howes e Farmer, al professor Poulton e al dottor Woodward, che hanno liberamente fornito informazioni su parecchi punti toccati nei successivi capitoli; (3) al professor Kayser, a Sir William Crookes, al professor A. Schuster e al dottor Preston che hanno rivisto le parti riguardanti le loro ricerche; e (4) ai membri e consiglieri della Royal Society e al signor MacMillan per avermi messo a disposizione le sue illustrazioni.

Norma Lockyer

*Solar Physics Observatory
South Kensington
9 gennaio 1900*

Libro I - Le basi dell'Indagine

Capitolo 1

Principi e Metodi

Il lavoro di trent'anni a cui devo fare riferimento in questo libro ha a che fare con diversi aspetti dell'indagine dell'irraggiamento e dell'assorbimento della luce in cui è coinvolta la scienza dell'analisi spettrale.

L'analisi spettrale, anzi, sta diventando così estremamente estesa, in particolare nelle indagini che hanno a che fare con le condizioni dei vari corpi celesti, che vedono molti ansiosi di ricavare qualcosa dai loro insegnamenti. Per alcuni di questi, tuttavia, i termini utilizzati dagli uomini di scienza, abbreviazioni alquanto necessarie, sono sconosciuti e sembrano difficili da capire, perché l'opportunità di vedere le cose che intendono definire e che generalmente definiscono in modo più ammirevole non si è mai presentata. Propongo pertanto di tentare di dimostrare che non c'è nulla di recondito in questi termini; che è possibile senza alcun apparecchio costoso per chiunque voglia con un poco di difficoltà, osservare i fenomeni, e ciò consentirà di superare gli ostacoli e le difficoltà legate ai significati di tali termini.

Come una chiave per i geroglifici, la storia della luce, che è nascosta in ogni raggio di luce, viene fornita dall'arcobaleno. Ci insegna che la luce bianca con la quale la natura ci fornisce in gran parte i raggi del sole è composta da raggi di diverso tipo o di colori diversi; ed è conoscenza diffusa che esiste un'analogia quasi perfetta tra queste luci colorate e suoni di diverse tonalità.

Il blu dell'arcobaleno può essere paragonato alle note più alte della tastiera di un pianoforte e il rosso dell'arcobaleno, d'altro canto, può essere paragonato alle onde sonore più lunghe che producono le note più basse; e come siamo in grado nel linguaggio musicale di definire ogni nota particolare, come B piatto e G acuto, e così via, così anche le onde luminose sono caratterizzate dai loro colori o lunghezze d'onda.

Ciò che la natura compie con una goccia di pioggia noi possiamo fare con un prisma o un reticolo. Un prisma è un pezzo di vetro o altro materiale trasparente attraverso il quale la luce è deviata dal suo corso o *rifratta* nel processo. Un reticolo è un insieme di fili, o rigature su un vetro o un metallo, equidistanti, molto ravvicinate e tutte tra loro parallele. Quando la luce passa attraverso o è riflessa da un tale sistema, si dice che è *diffratta*, e si ha un risultato che è molto simile a quello della luce che passa attraverso un prisma.

È rapidamente divenuto un fatto familiare a molti che quando un raggio di luce bianca è rifratto da un prisma o diffratto da un reticolo si produce una banda di colori simili a un arcobaleno e che questo effetto e questo perché la luce bianca è costituita da tutti i colori, ognuno dei quali ha la propria speciale lunghezza d'onda e grado di rifrangibilità. La nostra banda arcobaleno è detta uno spettro.

Un tale prisma di vetro o reticolo è la parte fondamentale dello strumento detto lo spettroscopio e il più complicato spettroscopio che possiamo immaginare utilizza semplicemente il ruolo che il prisma o il reticolo giocano nel suddividere un fascio di luce bianca nei suoi costituenti dal rosso al violetto. Tra questi colori comprendiamo l'arancio, il giallo, il verde e il blu che sono familiari nell'arcobaleno.

Un semplice spettroscopio

Per sei pence ognuno di noi può realizzare uno strumento che servirà a molti degli scopi di dimostrazione del fertile e meraviglioso campo di conoscenza che ci è stato recentemente dischiuso. Da un ottico possiamo acquistare un piccolo prisma per sei pence; prendere un pezzo di legno lungo da 20 a 10 pollici (la distanza per una visione distinta), largo 1 pollice e spesso mezzo pollice. A una delle estremità incollare un tappo di sughero alto 2 pollici, e all'altra fissare, fondendo la base, un moncone di una candela di cera di altezza tale che il cono scuro sopra lo stoppino sia livellato con la parte superiore del sughero, così che guardando attraverso il prisma si possa vedere l'immagine colorata o spettro della fiamma della candela posta all'altro lato del pezzo di legno.

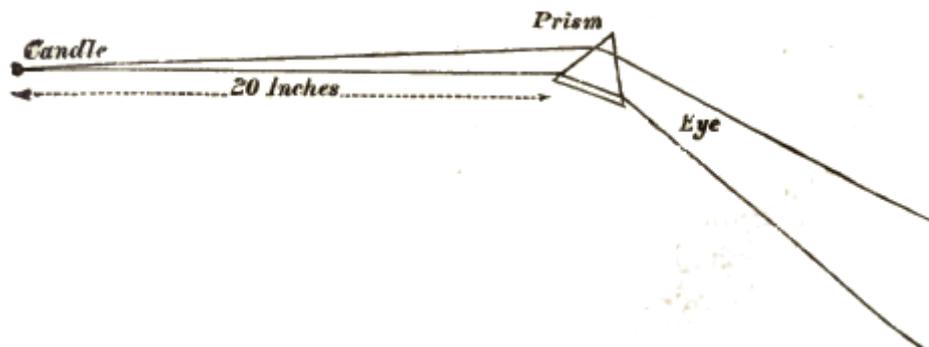


FIG. 1.-- Arrangement of candle, prism and eye.

Avremo una banda di colori, uno spettro della fiamma della candela costituito da un numero infinito di immagini della fiamma prodotto dai raggi luminosi di ogni colore. Ma, per ora, lo spettro è inquinato, perché le immagini si sovrappongono. Possiamo liberarci di questo difetto sostituendo la candela con un ago.

Se consentiamo all'ago di riflettere la luce della fiamma della candela, avendo cura che la luce diretta dalla candela non cada sulla faccia del prisma, otterremo una banda di colori più pura, poiché abbiamo una innumerevole moltitudine di immagini dell'ago sottile invece della fiamma allargata. L'ago è l'equivalente della fenditura di spettroscopi più complicati usati nei laboratori.

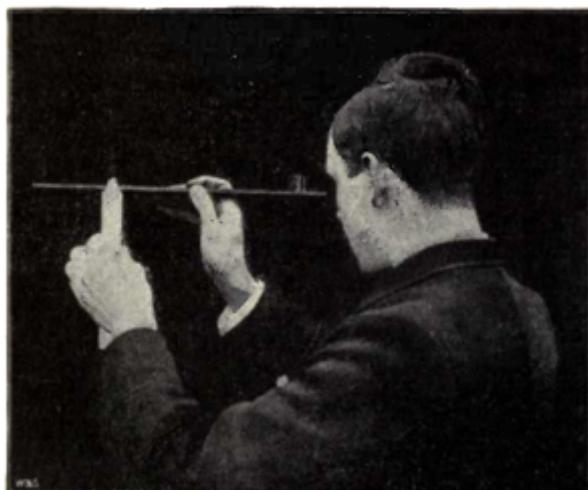


FIG. 2.—Use of the simple spectroscope.

Possiamo variare questo esperimento incollando due pezzi di stagno con i due bordi perfettamente allineati su un pezzo di vetro cosicché i bordi allineati siano paralleli e molto vicini tra loro. In questo modo abbiamo una fenditura; questa andrà fissata vicino alla candela tra essa e il prisma.

La luce della candela è bianca e il precedente esperimento ci dice che tale luce ci dà una banda contenente tutti i colori senza interruzioni o salti. Otteniamo quello che si chiama uno *spettro continuo*.

Lo Spettro Continuo

Se bruciamo un pezzo di carta, o un fiammifero o un comune gas di carbone, otteniamo una luce bianca identica a quella dataci dalla candela; i solidi che non liquefano quando sono portati al calor bianco, e i liquidi che non volatilizzano nelle stesse condizioni, e alcuni gas densi quando sono riscaldati, presentano la stessa cosa.

Questo effetto è prodotto poiché vi è luce di ogni lunghezza d'onda a produrre un'immagine dell'ago (o della fenditura); queste immagini si mescolano tra loro continuamente da una estremità all'altra dello spettro.

Consideriamo stabilito tale fatto, cioè, che corpi solidi o liquidi e gas densi, se riscaldati a una intensa incandescenza, producono uno spettro continuo. In queste circostanze la luce all'occhio, senza spettroscopio, apparirà bianca, come quella di una candela o un attizzatoio al calor bianco.

La Lunghezza dello Spettro Continuo varia con la Temperatura

Se poniamo un attizzatoio nel fuoco, esso diviene al calor rosso; se riscaldiamo un filo di platino facendo passare in esso una debole elettricità, esso diviene al calor rosso come l'attizzatoio.

In entrambi i casi l'esame per mezzo del prisma mostra che solo la parte finale rossa dello spettro è visibile. Ma se l'attizzatoio o il filo sono gradualmente riscaldati in modo più intenso, appariranno in successione i raggi giallo, verde e blu. Infine, quando si è raggiunto un brillante calor bianco, sarà presente l'intero spettro dei colori.

Da ciò comprendiamo che se il grado di incandescenza non è alto, la luce sarà solo rossa. Ma, quando lo spettro cresce - e si espanderà verso il violetto. all'aumentare dell'incandescenza, come prima affermato - sarà continuo.

La condizione rosso deriva dall'*assenza* della luce blu; la condizione bianco deriva dalla graduale aggiunta del blu al crescere della temperatura.

Una delle leggi formulate da Kirchoff nella prima fase dell'indagine spettroscopica riguarda il tipo di radiazione che si ottiene dai corpi a diverse temperature. La legge afferma che più calda è una massa materiale più il suo spettro si estende verso l'ultravioletto.

La luce dai gas è più rossa di quella di una lampada incandescente poiché quest'ultima è più calda. I carboni nella cosiddetta lampada ad arco producono una luce bianco bluastra poiché essi sono ancora più caldi.

Con un ragionamento simile dall'esperienza siamo portati a considerare le stelle bianco bluastré, le stelle bianche, le gialle, rosse e rosso sangue in ordine decrescente di temperatura¹.

Non andremo molto lontano dal vero supponendo che la stella con la radiazione continua più intensa nell'ultravioletto è la più calda, indipendentemente dalle condizioni di assorbimento, che, in assenza della prova contraria, assumiamo seguire la stessa legge.

Un'indagine sui fatti posti a nostra disposizione dalle fotografie stellari, mostra che vi è una considerevole variazione nella distanza lungo la quale si estende nell'ultravioletto e che le stelle possono disporsi in ordine di temperatura su queste basi.

Valutate solo con questo criterio, alcune delle stelle più calde finora osservate sono γ Orionis, ζ Orionis, α Virginis, γ Pegasi, η Ursae Majoris e λ Tauri. Tra le stelle con temperature non molto inferiori a quelle indicate, possiamo nominare Riegel, ζ Tauri, α Andromedæ, β Persei, α Pegasi e β Tauri.

In questo modo l'analisi spettrale ci aiuta considerando la temperatura sia in terra che nel cielo.

Spettri Discontinui con Righe Brillanti

Passiamo di seguito da un solido che mantiene la propria incandescenza come il filo di platino senza fondere, o un liquido che mantiene la propria incandescenza, come il ferro fuso, senza volatilizzare e vediamo cosa succede. Abbiamo trovato che quando la luce entrante in una fenditura è formata da ogni colore e da ogni tonalità, abbiamo una banda *continua* di colori. Se vi è qualche mancanza nella luce possiamo averne una *discontinua*, per la ragione che un'immagine della fenditura non può essere prodotta in ogni zona particolare dello spettro se non vi è luce di quel particolare colore a produrla.

Vi sono molte fiamme artificiali che sono colorate e se si analizza la loro luce allo stesso modo della luce di una candela è presente una nuova serie di fenomeni.

Si faccia ancora uso del nostro spettroscopio improvvisato e si illumini l'ago con la fiamma di una lampada ad alcool nella quale si fa cadere del sale; vediamo subito perché la fiamma è gialla. Non contiene raggi rossi, verdi, blu o violetti, cosicché non rappresentiamo lo spettro con V I B G Y O R [iniziali dei colori non tradotti] come nel caso della candela, ma semplicemente con Y.

Vediamo un'immagine dell'ago colorato in giallo.

Siamo passati dallo spettro della luce policromatica a quello della luce monocromatica - dalla luce bianca a quella colorata - dalla luce di tutte le lunghezze d'onda a quella di una lunghezza d'onda; da un numero infinito di immagini della fenditura che danno una banda continua di ogni colore, a un'immagine della fenditura prodotta da luce di una rifrangibilità, il colore dell'immagine dipendente dalla rifrangibilità. Ciò che vedremo passando dallo spettro della candela a quello del vapore di sodio nella lampada ad alcool è mostrato nella tavola che accompagna.

¹Su questo punto, ho scritto quanto segue nel 1892: "Un'idea erronea riguardo alle indicazioni della temperatura delle stelle è stata sostenuta da quelli che non hanno considerato nel particolare la materia. Essi hanno immaginato che la presenza delle righe delle serie dell'idrogeno nell'ultravioletta era di per sé sufficiente a dimostrare una temperatura molto elevata. Gli esperimenti di Cornu, tuttavia, hanno mostrato che le complete serie di righe si possono vedere con una comune scintilla senza rumore. Pertanto, l'alta temperatura di una stella come Sirio non è indicata dal fatto che il suo spettro mostra la serie completa delle righe dell'idrogeno, ma dal fatto che vi è una brillante radiazione continua nel lontano ultravioletto.

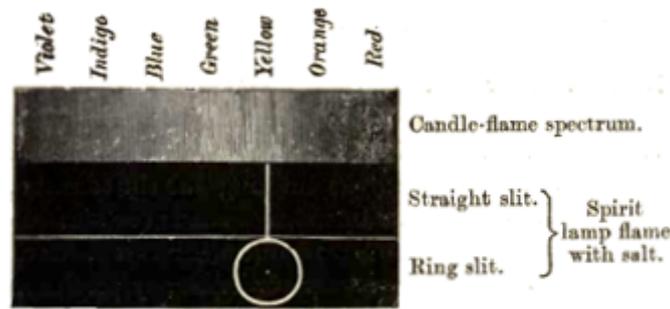


FIG. 3.—A continuous and a discontinuous spectrum.

Ciò che si sta veramente trattando con un'immagine dell'ago (o di una fenditura) può essere dimostrato usando una fenditura di qualsiasi forma. Questo può essere mostrato modificando leggermente il nostro esperimento con l'ago. Si prenda un pezzo di vetro e un pezzo di stagnola di 1,5 pollici quadrati, si tagli nel centro della stagnola un piccolo disco più largo di una moneta da tre penny e si incollì il resto sul vetro. Nel centro, dove il disco è stato tolto, incollare una moneta da tre penny. L'intervallo tra la moneta e la stagnola costituisce una fenditura circolare. Si sostituisca l'ago e si esamini la fiamma della lampada ad alcool caricata con sale con il prisma come in precedenza.

Si comprenderà facilmente, da quanto affermato, che nel caso di fiamme colorate, la luce che passa attraverso lo spettroscopio sarà solo rossa, o gialla, o verde e andrà a costituire un'immagine della fenditura nella parte appropriata dello spettro e quell'immagine così costruita assumerà la forma di una linea o di un cerchio, a seconda della fenditura usata.

Molte sostanze chimiche, sali di vari metalli, divengono luminosi inserendoli nelle fiamme, così come per il comune sale (cloruro di sodio). Con ogni metallo il colore impartito alla fiamma sarà differente. Lo spettro risultante è detto uno spettro *discontinuo*, poiché è solo qua e là che le immagini di quella fenditura sono prodotte; poiché sono presenti solo alcuni raggi colorati, ma non tutti.

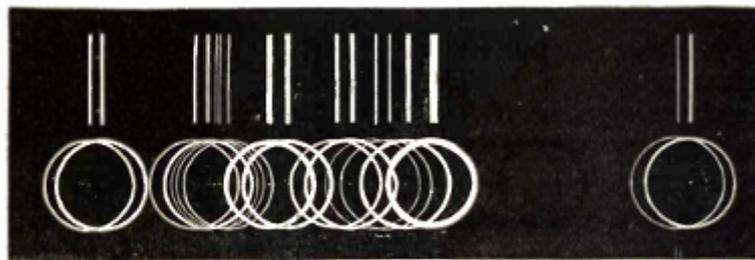


FIG. 4.—The spectrum of a complicated light-source as seen with a circular and a line slit.

Il dispositivo comunemente usato nei laboratori per osservare gli spettri delle fiamme è mostrato nella Figura 5. Inoltre, il sistema delle immagini dell'ago (o della fenditura) varia per ogni sostanza ed è in questo campo che si usa il termine *analisi spettrale*, poiché possiamo in questo modo riconoscere le varie sostanze nella fiamma.

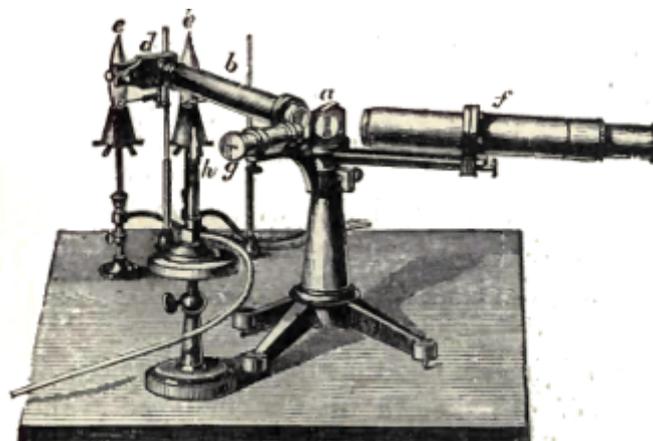


Figura 5: Osservazione di uno spettro alla fiamma con un comune spettroscopio con prisma di confronto. *a*, prisma; *b*, collimatore; *d*, fenditura; *e* è, fiamme da confrontare; *f*, telescopio per osservazione; *g*, scala illuminata da *h* e riflessa dalla seconda superficie del prisma nel telescopio.

Ma non siamo limitati alle temperatura della fiamma; sostanze allo stato gassoso o vapori possono essere rese irraggianti mediante l'elettricità. A queste maggiori temperature sono prodotti spettri molto complessi e di nuovo lo spettro è speciale per ogni sostanza chimica analizzata; le immagini dell'ago (o fenditura), occupano diverse posizioni lungo lo spettro in accordo con la natura della sorgente di luce.

La Figura 5 ci mostra uno spettroscopio da laboratorio di piccola dispersione; con gli spettri più complessi i fenomeni sono spesso meglio osservati se si impiega più di un prisma. La Figura 6 mostra uno strumento nel quale sono usati quattro prismi.

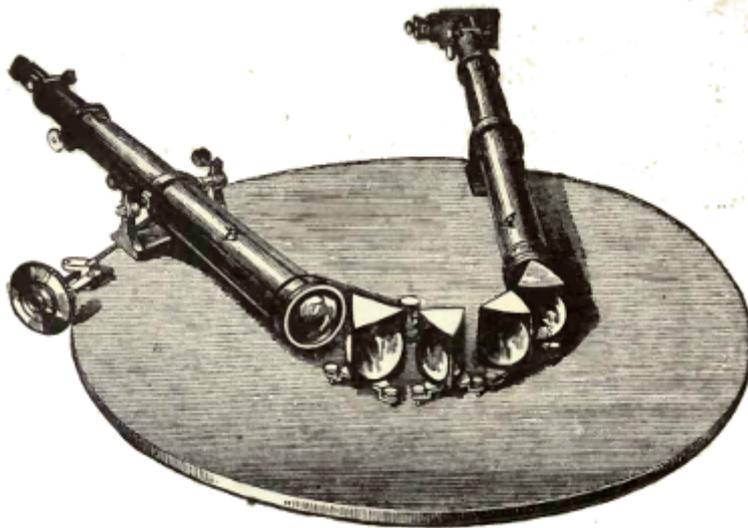


FIG. 6.—Steinheil spectroscope with four prisms.

È nel caso degli spettri più complicati che la lunghezza d'onda deve essere in particolare considerata dal punto di vista della definizione della posizione di una riga. Non è sufficiente dire, come nel caso della riga del sodio, che è posta nell'arancio.

Le lunghezze della varie onde luminose sono molto piccole. La lunghezza d'onda dell'onda sonora della nota medio C di un piano è circa 4 piedi, mentre quella della luce gialla definita mediante una misurazione molto accurata della riga è 0.0005895 di millimetro cioè 5895 decimilionesimo di un millimetro; cosicché vi sono 43088 onde in un pollice britannico. L'unità della lunghezza d'onda solitamente impiegata è il decimilionesimo di metro. Queste lunghezze d'onda si rimpiccioliscono passando da rosso al violetto.

Per misure accurate delle lunghezze d'onda di queste righe si impiega un reticolo come mostrato in Figura 7.

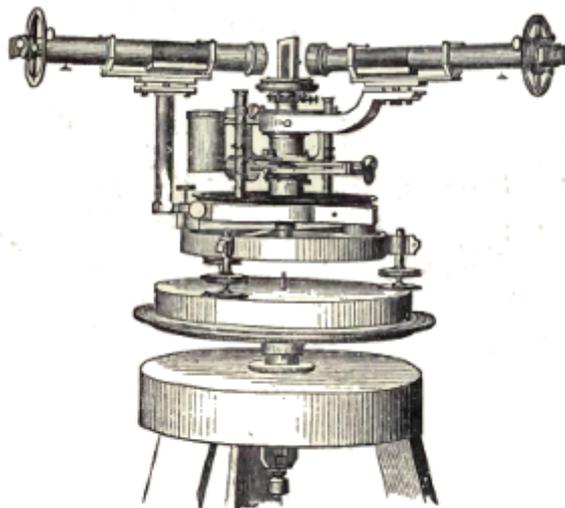


FIG. 7.—Angström's grating spectrometer.

Si procede così in generale per le radiazioni prodotte dalle sorgenti luminose; è il modo in cui lo spettroscopio le mostra e in cui i ricercatori registrano le loro posizioni.

L'analisi spettrale fu stabilita quando l'esperienza ha mostrato che non vi sono due sostanze che producono uno spettro a righe con lo stesso ordine delle righe dall'inizio alla fine dello spettro; in altre parole, la riga spettrale di ogni sostanza chimica differisce da quella data da un'altra.

Qui sta uno dei segreti della nuova capacità di indagine che lo spettroscopio ha messo in nostro possesso; possiamo riconoscere ogni elemento dal suo spettro, sia che esso sia prodotto in laboratorio o sia che la luce provenga da stelle più distanti, *indicando gli elementi che si trovano nei due casi*.

È in questo modo che l'analisi spettrale ci aiuta nella chimica; lo spettro varia secondo la sostanza chimica che lo produce nella forma raccolta attraverso un'analisi della fotografia (Figura 8) che mostra la differenza tra lo spettro del bario (A) e quello del ferro (B).

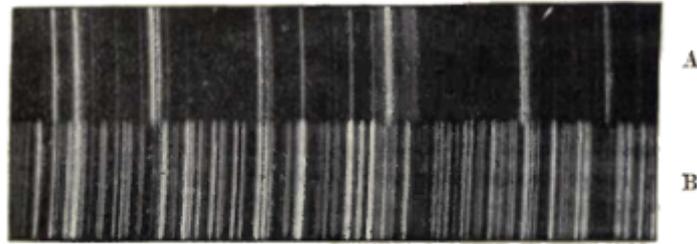


FIG. 8.—Parts of the spectra of (A) barium and (B) iron (from a photograph).

Scanalature

Le prime osservazioni spettroscopiche rivelarono il fatto che in alcuni spettri le righe, invece di essere irregolarmente distribuite lungo lo spettro, erano disposte secondo una forma ritmica facilmente individuabile. Una tale distribuzione di righe è detta *a scanalature*, poiché la loro successione richiama molto l'aspetto di una scanalatura di una colonna corinzia osservata sotto una forte illuminazione laterale.

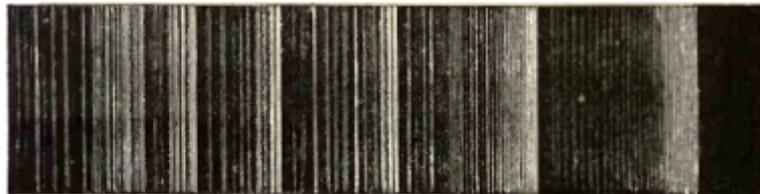


FIG. 9.—Fluting of carbon.

Il nostro spettroscopio improvvisato ci è di aiuto; usare la candela e la fenditura dritta, davanti a esso è fare come prima, ma stringendo la fenditura e consentiamo solo alla luce blu dalla base della fiamma della candela di passare attraverso il prisma. Vediamo due o tre serie di scanalature. Queste sono le scanalature del carbonio; sono tra gli esempi più belli noti e sono alquanto tipici.



FIG. 10.—Fluting of magnesium.

Serie

Una delle scoperte più importanti fatte negli anni recenti, ci insegna che nel caso di molti elementi chimici, la distribuzione apparentemente irregolare delle righe è in realtà dominata da una legge bellissima e che il ritmo squisitamente più ordinato si può ottenere suddividendo le righe in quelle che sono chiamate “serie”, cioè righe numericamente tra loro correlate.

I signori Runge e Paschen² mostrarono, nel 1890, che gli spettri del litio, del sodio e del potassio erano la somma degli spettri di varie “serie”. In seguito hanno mostrato che lo stesso vale nel caso di gas da cleveite.

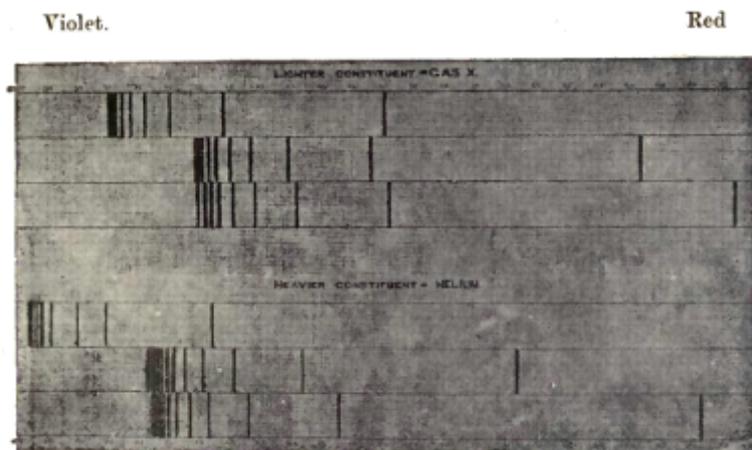


Fig. 11.—The series in the cleveite gases.

Una “serie” di righe spettrali può essere definita come una sequenza di righe, la cui intensità diminuisce con la lunghezza d’onda e il cui numero d’onda o frequenza d’onda si può determinare con la formula

$$A + \frac{B}{n^2} + \frac{C}{n^4}$$

dove n rappresenta gli interi successivi al tre e le costanti A, B, C sono da determinare separatamente per ogni elemento. Più corta è la lunghezza d’onda maggiore è il numero di onde presenti in un dato percorso; pertanto, la frequenza varia inversamente con la lunghezza d’onda.

Il fatto che le righe siano tra loro ravvicinate, quando si raggiunge la fine del violetto dello spettro, indica che il carattere di una “serie” è meglio osservato nell’estremo ultravioletto dello spettro. Nella parte visibile dello spettro le righe che formano una “serie” sono troppo distanziate per essere riconosciute come appartenenti ad una serie.

Il diagramma in Figura 11 mostra come l’apparente irregolarità delle righe osservate nello spettro dei gas di cleveite possono essere disposte nell’ordine più perfetto quando sono mostrate separatamente sei serie di righe che formano lo spettro.

Alcune di queste serie sono composte di triplette e altre di doppietti invece di righe singole.

A tal proposito scrissi nel 18979:

“Sono attualmente impegnato nell’indagare questo problema del ritmo e ho già trovato che molte righe del primo ordine del ferro possono probabilmente derivare dalla sovrapposizione o integrazione di un numero di triplette ritmici. Tutto ciò mostra quanto sia lunga la serie delle semplificazioni che ci riportano al caso dei cosiddetti corpi elementari dall’applicazione di una temperatura che non possiamo ora definire.

“Infatti, più studiamo gli spettri in dettaglio e in particolare in condizioni variabili di temperatura (ciò che ci permette di osservare l’inversione tanto di un tale gruppo di righe, tanto di un altro) più la loro possibile origine diviene complessa. Alcuni spettri sono pieni di doppietti, altri di triplette, essendo l’elemento più spaziato a volte a fianco dello spettro più rifrangibile, a volte dalla parte che lo è di meno.”³

Mascart⁴ aveva notato questo ritorno di configurazioni analoghe negli spettri, dieci anni prima.

²Abh. k. Akad. Wiss., Berlino, 1890.

³Proc. roy. Soc., vol. XXVIII, marzo 1879.

⁴Nel 1879 egli scriveva: “Sembra difficile che la riproduzione di un simile fenomeno sia un effetto del caso. Non è forse più naturale ammettere che questi gruppi di righe simili siano armoniche che sono collegate alla costituzione molecolare del gas luminoso? Serviranno senza dubbio molte osservazioni analoghe per scoprire la legge che descrive queste armoniche”.

Spettri Discontinui a Righe Oscure

È tempo ora di fare un'altra esperienza con il nostro ago e il nostro prisma. Se studiamo la luce del sole e, avendo sempre cura di riparare il prisma, permettiamo a un raggio del sole di illuminare l'ago, abbiamo uno spettro di una specie diversa da quella che abbiamo finora visto; non solo la banda di colori è interrotta, ma essa è piena di righe scure. Certi raggi colorati mancano, e vi sono immagini dell'ago che non si producono più. Le posizioni di certe righe principali che Fraunhofer ha indicato con delle lettere, sono indicate nella Figura 12.

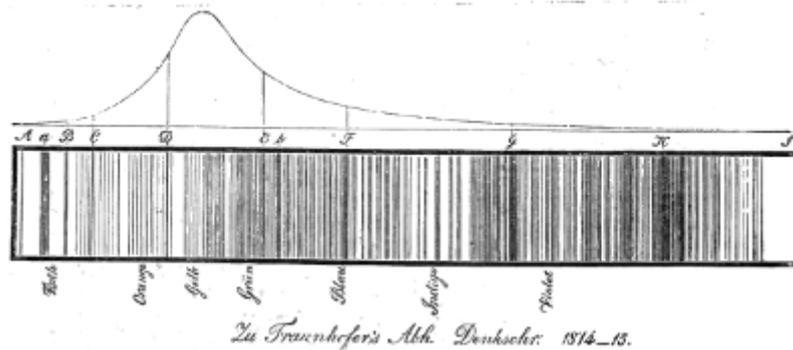


Fig.12 - Copia del diagramma di Fraunhofer delle righe nello spettro solare con le loro principali lettere

Sappiamo ora che questo risultato è prodotto da ciò che chiamiamo l'*assorbimento* della luce. Per comprendere questo fatto dobbiamo guardare solo una candela attraverso dei vetri di colori diversi. Un vetro blu assorbe o ferma la luce rossa e rimane solo l'estremità blu dello spettro. Un vetro rosso ferma o assorbe il blu e resta la sola estremità rossa.

In questi esempi, grandi regioni dello spettro sono alternativamente cancellate, impiegando vetri di colori diversi, ma l'assorbimento al quale abbiamo dedicato la maggior parte del tempo ha un carattere più ridotto: si tratta solo di righe, cioè semplici immagini della fenditura.

Uno dei risultati più importanti ottenuti dallo studio di questo assorbimento è che, se guardiamo una sorgente luminosa in grado di fornirci uno spettro continuo, attraverso uno dei vapori o di un gas che abbiamo visto prima restituire uno spettro di righe brillanti, - e se la sorgente luminosa è più calda di questo gas o vapori, - i raggi particolari costituiscono le righe brillanti, o lo spettro discontinuo, di questo vapore o gas, scompariranno dalla luce dello spettro continuo.

Spiegazione dell'assorbimento

Mentre nell'emissione della luce abbiamo a che fare con vibrazioni molecolari così energiche che esse danno luogo a radiazioni luminose, i fenomeni di assorbimento ci forniscono la prova di questo moto delle molecole quando le loro vibrazioni sono molto meno violente.

Ogni specie di molecola vibra solo secondo un periodo che le è proprio; molecole date, di conseguenza, faranno un moto vibratorio proprio della luce che le attraversa, se questa luce ha, tra le sue vibrazioni, quella dello stesso periodo della molecola attraversata.

Comprenderemo meglio il fatto con l'aiuto di un esempio tratto dall'acustica: in una camera tranquilla dove si trova un piano cantiamo una nota e fermiamoci bruscamente; troveremo che la nota ha avuto la sua eco nel piano. Se produciamo un'altra nota, sarà ancora così. Che cosa è successo? Quando abbiamo cantato una nota definita, abbiamo posto l'aria in un definito stato di vibrazione. Una corda del piano era suscettibile di vibrare all'unisono con l'aria; essa ha dunque vibrato e tenuto la nota dopo che noi abbiamo cessato di cantare.

Questo principio può ancora essere messo in evidenza in modo evidente per mezzo di due grandi diapason montati su casse di risonanza e regolati esattamente all'unisono. Uno dei diapason è messo in vibrazione per mezzo di un archetto e poi avvicinato all'altro, essendo le aperture delle due casse di risonanza una di fronte all'altra per rendere l'effetto il più grande possibile. Se, qualche istante dopo, si afferra il diapason inizialmente eccitato, in modo da arrestare la vibrazione, si troverà che essa è trasmessa all'altro diapason e che esso a sua volta risuona, con intensità minore, certamente, ma ancora in modo distinguibile. Se i due diapason non sono esattamente all'unisono, si potrà passare l'archetto tanto quanto si vorrà su uno di loro senza provocare la minima vibrazione dell'altro. Supponiamo ancora di avere un violino in fondo ad una lunga camera, e che vi sia, tra questo violino e un osservatore posto all'altra estremità, un insieme di violini tutti accordati come quello isolato, possiamo immaginare che in questo caso l'osservatore udirà appena la nota prodotta su una delle corde del violino isolato.

Perché? Il motivo è che le onde d'aria emesse dalla corda di questo violino isolato metteranno in vibrazione le corde di tutti gli altri violini; o queste onde non possono produrre la vibrazione di tutte queste corde e, inoltre, attraversare tutta la camera per giungere all'orecchio dell'ascoltatore senza perdere la loro intensità.

Applichiamo ora quanto detto al caso della luce. Supponiamo di avere in un lato della camera una sorgente potente di luce che ci dà tutte le lunghezze d'onda possibili dal rosso al violetto. Possiamo rappresentarla come in precedenza con **V I B G Y O R**.

Supponiamo anche di avere nel mezzo della camera uno schermo di molecole, una fiamma di sodio per esempio, in grado di emettere luce gialla: **Y**

Cosa succederà? La luce giungerà ai nostri occhi esattamente come se le molecole non ci fossero? No di certo. Quale sarà allora la differenza? Le molecole che vibrano in modo da emettere luce gialla manterranno per il loro uso proprio - filtreranno per così dire, - nella luce che le attraversa, le vibrazioni particolari di cui hanno bisogno per produrre il loro proprio moto, e come risultato avremo: **V I B G O R**

La luce ci giunge diminuita delle vibrazioni la cui energia è stata utilizzata dallo schermo di vapore. Abbiamo, infatti, uno spazio che sembra scuro e può essere rappresentato così: **V I B G Y O R**

Nella spettroscopia vediamo uno spettro continuo, con la presenza anche di una riga nera invece della gialla, riga la cui posizione è assolutamente identica a quella della riga brillante osservata quando le molecole del vapore che formano lo schermo emettevano luce nella prima esperienza. Non vi è, tuttavia, oscurità assoluta o assenza di questa riga particolare, poiché le molecole sono messe in vibrazione dai raggi che esse assorbono ed emettono un poco di luce, ma è così debole che fa l'effetto del nero in contrasto con i raggi molto più brillanti che provengono direttamente dalla sorgente.

Questa grande legge può essere riassunta nel modo seguente: *I gas e i vapori, quando sono relativamente freddi, assorbono gli stessi raggi che emettono quando sono incandescenti.*

L'assorbimento è continuo o discreto (si dice così: selettivo) a seconda che la radiazione sia continua o discreta (selettiva).

Ho trattato questo argomento assai a lungo perché, nelle nostre sorgenti luminose, nel sole e nella maggior parte delle stelle, la luce di un centro ad alta temperatura passa attraverso un involucro di vapori più freddi che, di conseguenza, producono fenomeni di assorbimento.

Fu Fraunhofer che, all'inizio del XIX secolo, scoprì questo fatto che lo spettro del sole era discreto con delle righe scure.

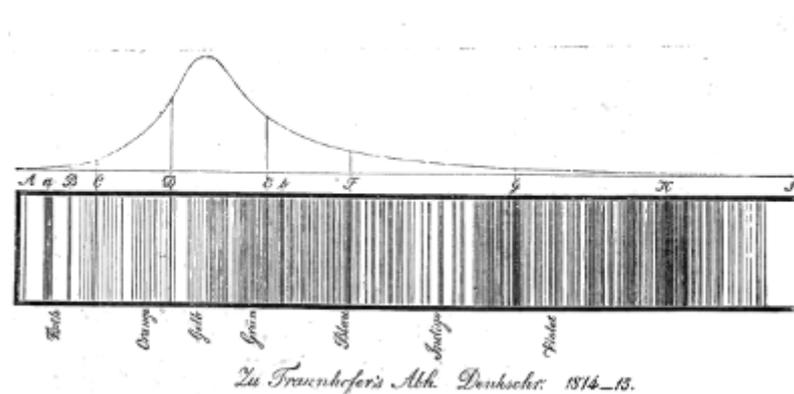


Fig.12 - Copia della figura di Fraunhofer con la sua notazione originale, che rappresenta con delle lettere le righe principali dello spettro solare

Se desideriamo estendere i nostri studi del sole alle stelle, ci serviremo dapprima di un cannocchiale per raccogliere la luce e poi di uno spettroscopio.

La Figura 13 mostra uno spettroscopio così adattato posto all'oculare del grande rifrattore di Lick. Nelle ricerche astronomiche si adottano gli stessi metodi di lavoro e sebbene, come visto, siamo ora lontani, sia come costruzione sia come uso, dallo spettroscopio improvvisato descritto all'inizio, non vi è alcun nuovo principio in gioco.

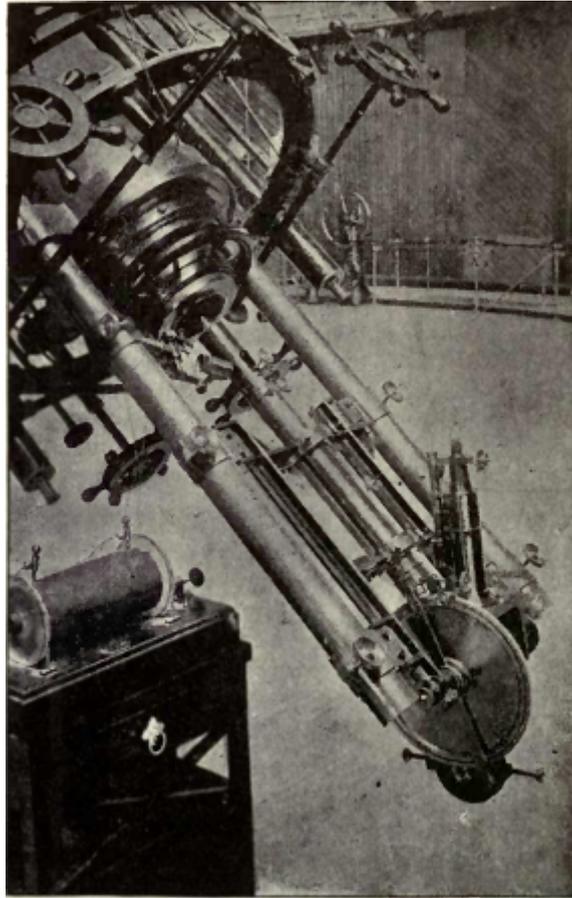


Fig.13 - Uno spettroscopio stellare adattato all'equatoriale Lick

Ora che il lettore non ha esitato ad acquistare un prisma e ha avuto la pazienza (non serve nessun'altra qualità) di seguire le mie indicazioni, la strada gli è aperta per leggere senza difficoltà la maggior parte dei libri che trattano dell'analisi spettrale che potrà incontrare.

Termini quali

Spettro	Spettro a scanalature
Spettro continuo	Spettri discreti (o selettivi)
Reticolo	Righe di Fraunhofer
Prisma	Lunghezze d'onda, frequenze di vibrazione
Spettroscopio	Radiazione
Fenditura	Assorbimento
Spettro di righe	Serie

hanno ora assunto per lui un senso definito, e sono sicuro che ciò che essi esprimono sarà assai consapevole da poter far parte del capitale intellettuale dell'avvenire.

Capitolo 2

Qualche difficoltà iniziale

Quando iniziai ad applicare i principi dell'analisi spettrale a indagini sulla natura dei corpi celesti nel 1865, si accettava in genere l'idea, basata sui lavori del 1859 di Kirchoff e di Bunsen, che lo spettro di un elemento chimico fosse uno ed indivisibile, - che non poteva essere modificato né dalla temperatura, né da qualsiasi altra cosa.

Quando si guarda così indietro, si vede facilmente che questa idea veniva principalmente dal fatto che, all'inizio, ci si serviva di fiamme a bassa temperatura. Si ricava in queste condizioni che le sostanze più visibili nella fiamma, - e a causa di questo fatto scelte per le esperienze, - come il sodio, il calcio, il potassio, ecc., danno spettri di righe alle basse temperature.

Così le prime idee degli spettroscopisti si accordavano pienamente con quelle dei chimici, cioè che l'atomo chimico, definito da un certo peso atomico, era un qualcosa di indivisibile, indistruttibile. Le sostanze chimiche elementari erano composte sia da questi atomi, unità indivisibili, sia da "molecole" formate da due o tre atomi. Da cui i termini; molecola diatomica, molecole poliatomiche. La differenza tra gli spettri dello stesso elemento agli stati solido e gassoso, - il primo, spettro continuo, il secondo, spettro a righe - era spiegata supponendo il moto degli atomi liberi allo stato gassoso e vincolato allo stato solido. Era una questione di "libero cammino".

La differenza tra gli stati che ci danno gli spettri continui e discreti era un differenza fisica che non aveva nulla a che fare con la chimica.

Secondo la teoria cinetica dei gas, le particelle di tutti i corpi sono in uno stato di continua agitazione e la differenza tra lo stato solido, liquido e gassoso della materia, è che, in un corpo solido, la molecole non si discostano mai, oltre una certa distanza, dalla loro posizione iniziale. I loro spostamenti sono spesso circoscritti a una regione dello spazio molto piccola. Il professor Clifford, in una conferenza sugli atomi, illustrò questa idea molto chiaramente, già alcuni anni fa. Egli supponeva, per mezzo di una camera, un corpo tenuto con delle corde elastiche al soffitto e al pavimento e così da ciascun muro. Se si disturba il corpo, esso vibrerà, ma sempre attorno a una posizione media. Non si sposterà mai molto e ritornerà alla sua posizione.

Veniamo ora ai liquidi. A questo proposito, leggiamo: "Nei fluidi, d'altra parte, non vi sono limiti al cammino delle molecole. È vero che, in generale, la molecola può percorrere solo una minima distanza, poiché la sua traiettoria è disordinata dallo scontro con qualche altra molecola. Ma, dopo questo scontro, non vi è nulla che obblighi la molecola a ritornare al punto di origine, piuttosto che a proseguire il suo cammino verso nuove regioni. Da ciò segue che, nei liquidi, lo spostamento di una molecola non è limitato da una regione stabilita come nel caso dei solidi; essa può, al contrario, penetrare in tutte le parti dello spazio occupato dal liquido. Qual è il moto della molecola in un gas? Un corpo gassoso è supposto essere formato da un grande numero di molecole in moto molto rapido". Per esempio, le molecole dell'aria fanno circa 20 miglia al minuto. Durante la maggior parte del loro percorso, le molecole non sono soggette ad alcuna forza misurabile e, di conseguenza, si muovono in linea retta con una velocità uniforme. Quando due molecole arrivano ad una certa distanza una dall'altra, ha luogo un'azione reciproca che può essere paragonata alla collisione delle biglie del biliardo. Il moto di ciascuna molecola è cambiato ed essa riparte in una nuova direzione".

La collisione tra due molecole è denominata "urto"; il cammino di una molecola nell'intervallo tra urti, "libero cammino". Nei gas comuni, il libero cammino di una molecola prende molto più tempo dell'urto. Al crescere della densità diminuisce il "libero cammino".

Si comprende, secondo questo modo di vedere, che la differenza tra gli spettri continui e discreti dipenderà semplicemente dagli stati gassoso e solido; nessun solido potrà restituirci uno spettro di righe, e gli spettri di assorbimento del vetro di due tipi e di altri corpi solidi non potrebbero esistere.

Un'altra serie di fatti importanti fu presto constatata. Plücker e Hittorf, nel 1865, annunciarono "che vi era un certo numero di corpi semplici che, trattati in due modi differenti, fornivano due tipi di spettri di carattere del tutto diverso, non mostrando alcuna riga né una banda comune".

La differenza nelle caratteristiche, alla quale si alludeva, consisteva nel fatto che lo spettro prodotto a bassa temperatura era composto da scanalature che erano sostituite dalle righe quando la temperatura si innalzava.

Questa fu il primo attacco all'ipotesi generale: “un elemento, uno spettro”, al quale mi riferivo prima. Ci si arrivò da due punti di vista.

Prendendo lo spettro delle righe come rappresentativo della vibrazione propria dell'unità chimica, ho mostrato che lo spettro continuo si spiegava con le circostanze fisiche che accompagnano lo stato solido o liquido. Non resta allora che porsi dal punto di vista della chimica.

Gli spettri scanalati erano stati audacemente spiegati dalle “impurità”. Ciò non era sempre saggio, perché, senza parlare della difficoltà presentata dai due spettri dell'idrogeno, per l'acetilene erano indicati due spettri perfettamente distinti.

Si pone nuovamente l'*ipotesi della campana*, secondo la quale lo spettro non dipendeva tanto dalla sostanza vibrante quanto dal modo in cui era messo in vibrazione. Da questa ipotesi, lo stesso atomo chimico poteva avere una dozzina di spettri diversi se era messo in vibrazione in dodici modi diversi.

Ma, per questo stesso motivo, si obiettava che questa spiegazione spiegava troppo. Mitscherlich mostrò nel 1864 che alcuni corpi noti per essere dei composti chimici davano, portati all'incandescenza, uno spettro proprio, cioè avevano uno spettro speciale di corpo composto. Alcune righe dell'una o dell'altra componente non si vedevano.

Io mostrai più tardi che quando la temperatura era tale da produrre la scomposizione, le righe dei corpi elementari del composto, apparivano secondo la temperatura raggiunta. E mostrai anche che la stessa cosa si ha precisamente nel caso dello spettro scanalato o delle righe di uno stesso elemento. Possiamo ottenere a bassa temperatura soltanto il primo. Possiamo, innalzando la temperatura, modificarlo un poco con qualche riga che fa la sua comparsa; poi, impiegando una temperatura molto elevata, possiamo distruggere del tutto lo spettro scanalato e ottenere solo uno spettro di righe.

Dal momento che la differenza tra i due spettri di uno stesso elemento non era più marcata di quella tra lo spettro di un composto noto e quello dei suoi costituenti (dopo la dissociazione del composto per mezzo del calore), era anche logico sia negare l'esistenza dei corpi composti sia negare l'esistenza di parecchi gradi di complessità molecolare nei fenomeni che emergevano dall'analisi spettrale.

Approcci di questo genere portarono i chimici ad esaminare più da vicino le loro asserzioni e, qualche tempo dopo, essendo sotto la sensazione - che più tardi si rivelerà ingiustificata - che gli elementi “monoatomici”, come il mercurio, non avevano spettro scanalato, ammisero che gli spettri scanalati potevano rappresentare la vibrazione della molecola “diatomica” negli elementi diatomici”. Questo, naturalmente, voleva dire abbandonare l'ipotesi della campana.

Nel momento in cui si discuteva sugli spettri scanalati e a righe di diversi elementi, le osservazioni solari cominciavano a fornire una massa di fatti privi in apparenza di ogni ordine e legge.

Nel 1886, proiettai un'immagine del sole sulla fenditura di uno spettroscopio (fig. 14) al fine di osservare gli spettri delle sue diverse parti; è così che osservai lo spettro delle macchie solari e, accidentalmente, quello delle protuberanze.

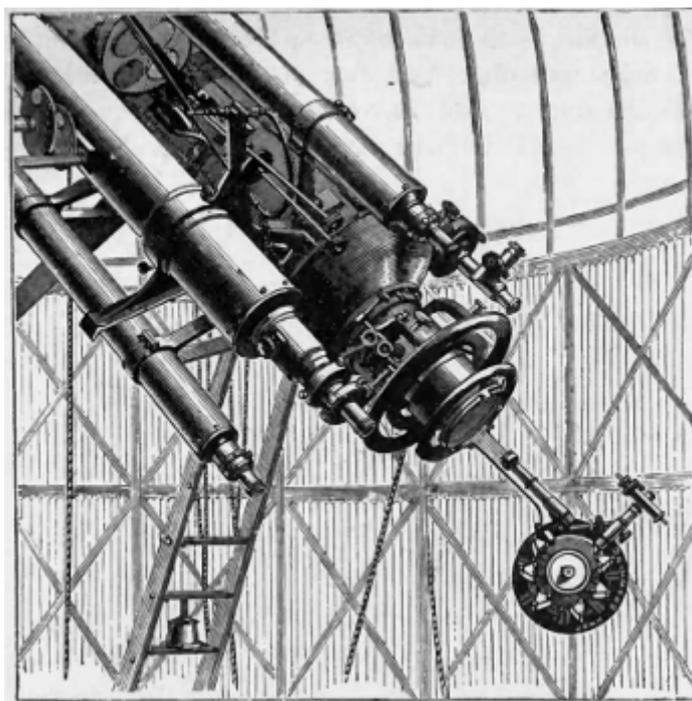


Fig.14 Spettroscopio attaccato ad un grande rifrattore che proietta un'immagine del sole sulla fenditura

Nel procedimento di ricerca inizialmente adottato, lo spettroscopio era diretto verso la sorgente di luce, in modo che lo spettro fosse composto dalla luce proveniente da tutte le parti di questa sorgente senza distinzione.

Nel 1869, introdussi, nel lavoro di laboratorio, il metodo impiegato per il sole negli osservatori, cioè l'immagine della sorgente di luce esaminata era proiettata con una lente sulla fenditura (fig. 15) in modo che si poteva osservare lo spettro proprio di ciascuna parte di questa sorgente. Ecco alcuni dei risultati ottenuti con il nuovo metodo:

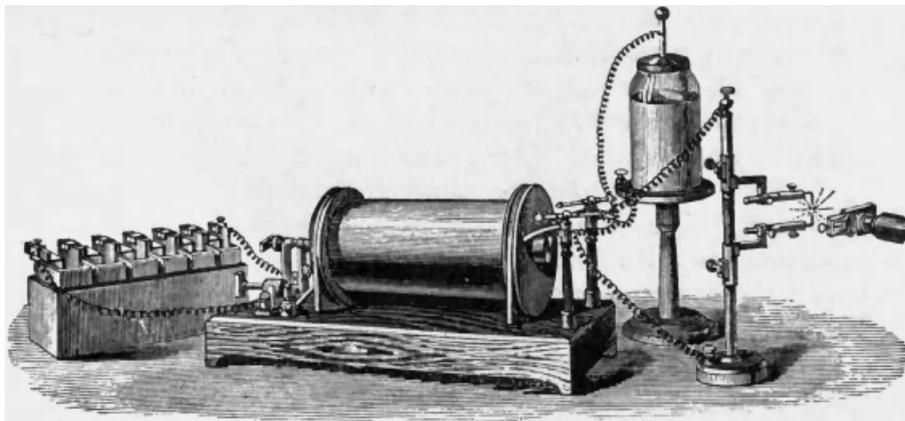


Fig.15. Primo metodo di lavoro, la fenditura dello spettroscopio era molto vicina alla sorgente luminosa. Nell'esperienza, la sorgente luminosa è una scintilla elettrica prodotta da una bobina di induzione con una bottiglia di Leyda nel circuito. L'estremità dello spettroscopio che sosteneva la fenditura è raffigurata a destra.

Le righe spettrali, ottenute servendosi di una sorgente luminosa come quella dell'arco elettrico o della scintilla, erano di lunghezze diverse. Alcune apparivano soltanto nello spettro del centro della sorgente luminosa, altre si estendevano più lontano nell'inviluppo esterno. Questo effetto fu meglio studiato quando si proiettò l'immagine di un arco o di una scintilla orizzontali su una fenditura verticale. Le lunghezze delle righe fotografiche nell'arco elettrico di molti elementi metallici furono riuniti in tabelle pubblicate nel 1872 e 1874.

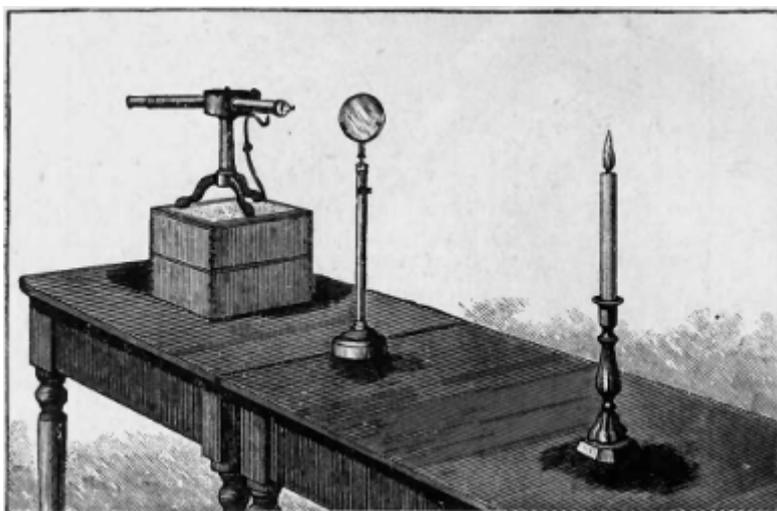


Fig.16 - Metodo per proiettare l'immagine della sorgente luminosa (la fiamma di una candela nello spazio) sulla placca con la fenditura dello spettroscopio

Nelle figure 17 e 18, queste righe, dette "lunghe" e "corte" sono disegnate. In un caso, abbiamo una mescolanza di sale di calcio e di stronzio, nell'altro sodio metallico. La ricchezza delle righe nello spettro del cuore stesso dell'arco sarà meglio mostrato dalla figura 17, mentre le differenze di lunghezza tra le righe dalla figura 18.

Questa era la prima indicazione dell'idea che lo spettro completo di un elemento chimico ottenuto alla temperatura più alta può essere la somma di due o più spettri di righe diverse, prodotte a diversi gradi di temperatura; ciò che ci mette in presenza di due o più complessità molecolari, cioè di molecole diverse disaggregate a temperature diverse.

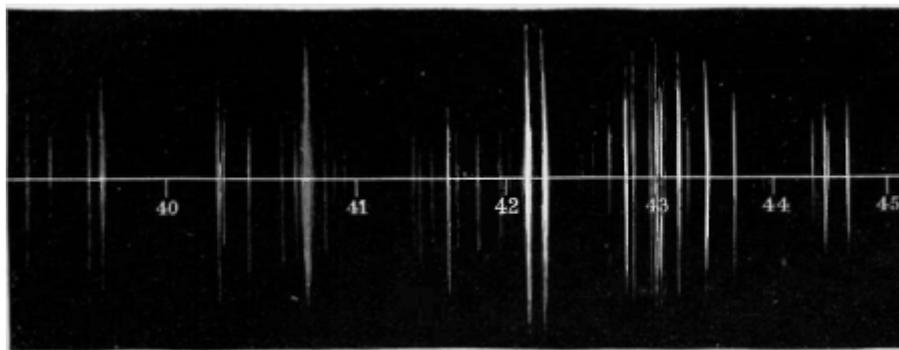


Fig.17 - Le righe lunghe e corte. Riproduzione di una fotografia, presa con fenditura verticale, dei composti di stronzio e di calcio volatilizzati tra i poli di carboni orizzontali.

Non appena le esperienze di laboratorio dettero un risultato definitivo per lo spettro di un particolare metallo, mi sono messo a studiare il sole al fine di determinare come questo metallo si comportasse.

Ciò implicava, prima di tutto, fotografie dello spettro solare con le sue righe scure e confronti fotografici di queste righe scure con le righe brillanti che formavano gli spettri degli elementi metallici. Ciò ci permetteva di confrontare la luce totale data per ogni sorgente di luce con la luce ricevuta da tutte le parti del sole indistintamente.

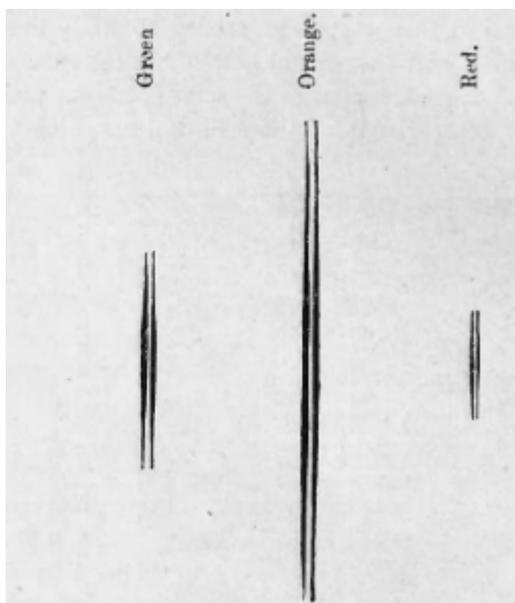


Fig.18 - Le righe lunghe e corte del sodio prese nelle stesse condizioni mostrano che le righe delle turbolenze si estendono più lontano dai poli.

Infine, gli spettri di diverse parti del sole (cromosfera, protuberanze, macchie) furono confrontate con le diverse parti della sorgente luminosa, il centro dell'arco, il centro della scintilla e le parti esterne dell'una e dell'altra. Nello spettro della parte più calda del sole.

Si vedrà, in seguito, che la ricerca aveva allora una base molto solida e se ne è avuta immediatamente la prova in molti modi, a ogni tappa.

Certe erano limitate alle protuberanze, altre alle macchie (fig. 20) e, nelle turbolenze solari, differenti righe del ferro indicavano diverse velocità (fig. 21). Nello spettro della parte più calda del sole accessibile alle nostre osservazioni (cioè alla regione che ricopre immediatamente la fotosfera e che ho chiamato la cromosfera), le anomalie divennero numerose. Basta dire che nella parte del sole più calda alla quale abbiamo accesso, lo spettro del ferro (rappresentato allora da 460 righe nella carta dello spettro consueto del sole tracciata da Kirchoff) era ridotto a tre righe.

Non era più solo questione di risolvere le difficoltà sollevate dalle osservazioni di Plücker e di Hittdorf.

Numerose osservazioni e confronti sorprendenti nel corso di questi ultimi anni mi convinsero che questa teoria: *ogni elemento ha un solo spettro di righe*, era sbagliata. I risultati ottenuti suggerivano l'idea che i diversi fenomeni terrestri e solari fossero causati da una serie di semplificazioni prodotte da ogni innalzamento della temperatura impiegata. Questo nuovo strumento, lo spettroscopio, mostra che l'impiego di temperature più elevate di quelle utilizzate in precedenza portava a far ammettere ai chimici - come altre indagini avevano già fatto - l'esistenza di costituenti ancora più piccoli nelle sostanze considerate fino ad allora come semplici.

Era il primo sospetto della dissociazione, nei suoi rapporti con la modifica degli spettri di righe.

Nel 1872, i lavori di Rutherford e Secchi sugli spettri stellari permisero a queste indagini di estendersi alle stelle così come al sole. In alcune stelle l'esistenza dell'idrogeno, del magnesio e del carbonio non era più in discussione. Il punto che mi angosciò per primo fu che, nelle stelle bianche come α della Lira e di Sirio, aventi spettri continui che si estendevano nel lontano violetto, - stelle, di conseguenza, più calde delle loro sorelle gialle o rosse, - si aveva a che fare solo con l'idrogeno.

Fu nel 1873 che richiamai dapprima l'attenzione della Società Reale sui fatti alquanto significativi che erano stati riuniti già allora, relativi alla possibile azione del calore nel sole e nelle stelle.

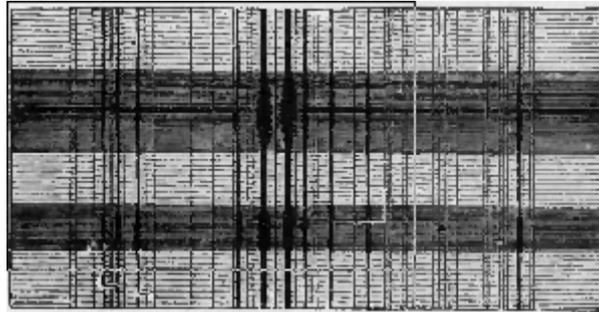


Fig.19 - Spettro di una macchia solare confrontato con lo spettro generale e mostrante che alcune righe metalliche (sodio e calcio nella fattispecie) sono dilatate. La parte scura è lo spettro della macchia.

Specialmente, a proposito della classificazione di Rutherford, scrissi quanto segue¹:

“Io mi sono chiesto se tutti i fatti precedenti non si possano spiegare con l'ipotesi che negli strati di convergenza del sole e delle stelle, operino gradi variati di “dissociazione celeste”. Questa dissociazione impedisce la riunione degli atomi che, alla temperatura terrestre e a tutte le temperature artificiali ottenibili, finora, compongono i metalli, i metalloidi e i loro composti”.

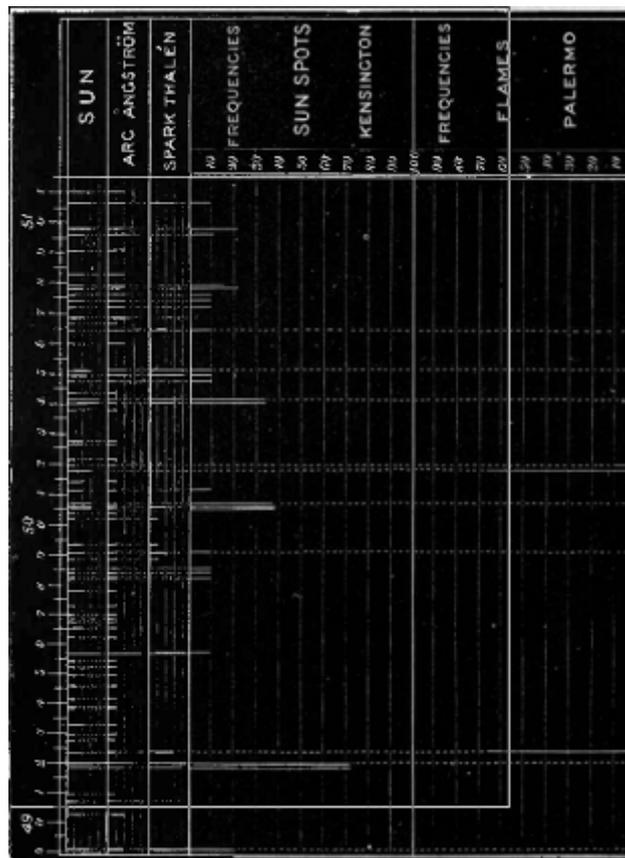


Fig. 20

Successivamente, in una lettera particolare a M. Dumas, che mostrava il più cortese interesse ai miei lavori sul sole, scrivevo: “Sembra che più una stella è calda, più il suo spettro è semplice”. Costatai così la stretta

¹Phil. Trans., vol. CLXIV, parte II, p. 491.

relazione dell'idrogeno con il calcio, il magnesio e gli altri metalli. Era su tali fondamenti che avevo chiamato "elio" la sostanza che dava la riga D^2 , e che variava sempre con l'idrogeno; constatai che tutti gli altri gas terrestri erano assenti dallo spettro solare.

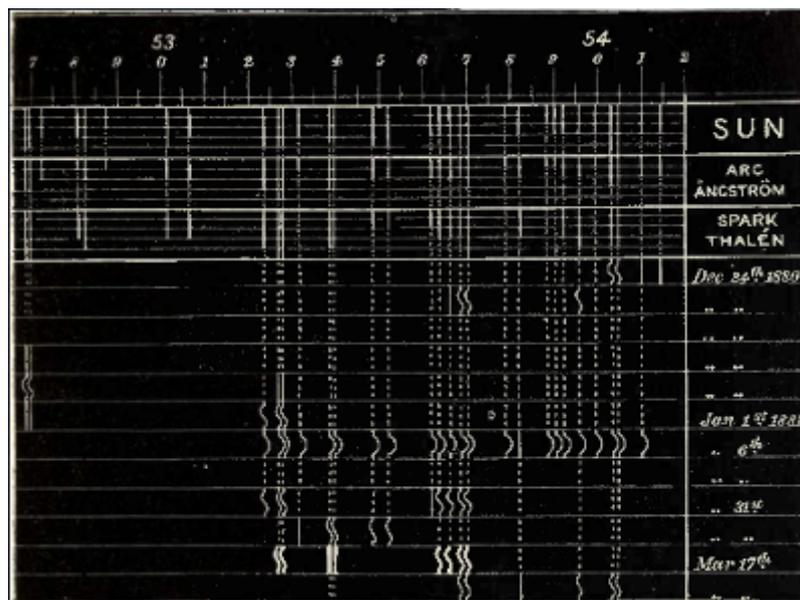


Fig. 21

Un'interessante discussione presso l'Accademia delle Scienze ricevette da M. Dumas questa conclusione:

“Riassumendo, quanto sostenevo all'Accademia che gli elementi di Lavoisier dovevano essere considerati, come aveva stabilito lui stesso, non come gli elementi *assoluti* dell'universo, ma come gli elementi *relativi* all'esperienza umana; quando professavo, tempo fa, che *l'idrogeno* fosse più vicino ai metalli che a tutte le altre classi dei corpi, esprimevo opinioni che le scoperte attuali tendono a confermare e che non ho motivo oggi di modificare².”

Una delle risposte alla mia ipotesi era che i diversi elementi chimici esistessero probabilmente in proporzione diversa nelle diverse stelle. Si otteneva così che in Vega e Sirio, una tra le due, esisteva praticamente solo l'idrogeno.

Nel 1878, andai oltre e mostrai che mille fenomeni solari raccolti con cura durante gli anni precedenti non si potevano spiegare senza ammettere che le modifiche nell'intensità delle righe dello stesso spettro di righe, indicavano dissociazioni successive.

Descrivevo l'effetto di queste fornaci a diverse temperature e scrivevo quanto segue³:

“È ben chiaro che se gli elementi presunti o, per meglio dire, i loro atomi più sottili - quelli che ci danno gli spettri di righe - sono realmente dei composti, questi devono essersi formati ad una temperatura molto alta. È facile immaginare che non si possa avere alcun limite superiore alla temperatura e, di conseguenza, alcun limite oltre il quale analoghe combinazioni siano possibili poiché gli atomi che hanno la facoltà di combinarsi a questi livelli trascendenti di temperatura non esistono come tali o piuttosto esistono combinati con altri atomi, simili o diversi, a tutte le temperature più basse. In tal modo l'associazione sarà una combinazione di molecole più complesse quando la temperatura diminuirà e la dissociazione si produrrà in un modo indefinito, con l'aumento della temperatura.

Nel 1878 ritornai sullo studio delle modifiche degli spettri di righe nei loro rapporti con le modifiche osservate quando composti noti sono dissociati e dopo aver discusso certe obiezioni, avanzai questa conclusione che i fatti conosciuti di modifica degli spettri di righe “si raggruppano facilmente e si può stabilire una continuità perfetta tra i fenomeni mediante l'ipotesi di dissociazioni successive analoghe a quelle osservate nei casi in cui si tratta senza dubbio di composti”.

Si vede così che le conclusioni alle quali il mio lavoro spettroscopico mi aveva portato prima del 1880 avevano la stessa tendenza di quelle alle quali pervenne Berthelot nello stesso anno con indagini puramente chimiche: “Lo studio approfondito delle proprietà fisiche e chimiche delle masse elementari che formano i nostri corpi semplici, tende ogni giorno di più ad assimilarle non ad atomi singoli, omogenei e in grado di provare solo moti d'insieme, - è difficile immaginare un moto e una nozione più contraria all'osservazione, - ma ad edifici molto complessi, dotati di una architettura specifica e animati da moti intestinali molto diversi”⁴.

²Chemistry of the Sun, p. 205.

³Proceedings of Royal Society, vol. XXVIII, p. 169. Vedere anche Chemistry of the Sun, cap. VXIII.

⁴Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, vol. XC (1880). p. 1512.

Capitolo 3

Stato attuale della Scienza

Nell'ultimo capitolo mi sono occupato delle difficoltà incontrate dai primi sperimentatori nell'analisi spettrale. Mi sono proposto di sorvolare sulla storia del lavoro di questi ultimi venti anni con tutti i dubbi e le difficoltà passeggiare per occuparmi del risultato al quale questo lavoro ci porta, la perfetta armonia tra fenomeni stellari, solari e di laboratorio.

È stato dimostrato in modo definitivo che nel caso della maggior parte degli elementi, non solo lo spettro scanalato e lo spettro di righe sono entrambi visibili, ma che molti elementi metallici, di cui mi occuperò in seguito, hanno almeno due specie di righe la cui comparsa accompagna l'azione di temperature molto diverse, se anch'essa non ne è il risultato.

È importante ricordare che i diversi elementi chimici si comportano in modo molto diverso per quanto concerne l'azione del calore e dell'elettricità su di essi, quando passiamo dalla forma solida a quella liquida o gassosa, cioè che quelle due forme di energia sono suscettibili di agire in modo molto diverso. La prima differenza è quella che si constata tra i gas detti permanenti e i corpi che si trovano in genere allo stato solido; la seconda si osserva tra i corpi a piccolo peso atomico e punto di fusione poco elevato e gli altri corpi.

Quando l'energia calorica può crescere molto, noi otteniamo dapprima un aumento del "libero cammino" delle molecole, che infine sono esse stesse messe in vibrazione.

Nel caso dell'elettricità ad alta tensione, d'altra parte, l'aumento del "libero cammino" conta poco e noi possiamo avere effetti simili a quelli delle alte temperature, con effetti appena percettibili del calore al verso ordinario del moto.

Conversando su questo argomento con il mio amico Clifford, già anni fa, venimmo alla conclusione che l'energia trasferita a una molecola può causare: 1° un'estensione del "libero cammino"; 2° una rotazione; 3° una vibrazione. Parliamo di "calore di movimento", "calore di rotazione", "calore di vibrazione". I fatti sembrano mostrare che l'energia calorifica non produce spettri di righe finché i primi due risultati non siano stati raggiunti e, in tutti i gas e molti metalli, essa non ha la capacità di produrre vibrazioni.

L'elettricità, d'altra parte, sappiamo ora che molti degli elementi presentano modifiche a diversi livelli di temperatura molto diversi tra loro. Gli spettri di righe di elementi, come il sodio, il litio e altri, possono essere ottenuti con il calore della fiamma di una lampada ad alcool o di un bruciatore Bunsen, introducendo la sostanza nella fiamma per mezzo di un filo di platino ben annodato alla sua estremità.

Questa temperatura è senza effetto sul ferro e i metalli analoghi. Per avere una indicazione spettrale speciale di questi metalli, basta una temperatura superiore a quella del Bunsen. Si può impiegare il cannello nel quale si soffia un getto d'aria al centro della fiamma del gas all'estremità di un tubo cilindrico.

Otteniamo in tal modo ciò che si chiama uno "spettro di fiamma" in cui si vedono scanalature e qualche riga. Al fine di ottenere lo spettro di righe completo di alcuni dei metalli meno volatili, come il ferro e il rame, siamo obbligati a servirci dell'energia elettrica e ad impiegare la corrente voltaica, passante tra gli elettrodi fatti con il metallo scelto; essi sono molto riscaldati dal passaggio della corrente purché il vapore del metallo in questione sia prodotto e portato all'incandescenza.

Possiamo dire, in generale, dire che nessuna quantità di calore potrebbe rendere visibile gli spettri dei gas. Li si ottiene racchiudendo i gas in tubi di vetro e illuminandoli per mezzo di una corrente elettrica. Possiamo andare oltre e dire che la corrente voltaica ordinaria impiegata nei laboratori è ugualmente inefficace. Abbiamo bisogno di corrente indotta e, a diverse tensioni, si producono spettri diversi.

Ecco quindi a quale punto siamo giunti: L'energia calorifica che ci dà spettri di righe quando si tratta di certi metalli, ci lascia in difetto nel caso dei gas permanenti e di molti metalli. Una corrente voltaica ci dà spettri per i metalli, ma, come l'energia calorifica, non giunge a far vibrare le molecole dei gas permanenti.

Ma quando i metalli, così come i gas permanenti, sono sottoposti all'azione di un'alta tensione, come quella che si ottiene impiegando una bobina di induzione con bottiglie di Leida e una interruzione del circuito, si ha questa vibrazione; i gas allora diventano luminosi; un cambiamento molto netto si osserva negli spettri dei metalli, cambiamento molto marcato, se non più duraturo, di quelli osservati a temperature più basse.

Le differenze prodotte nello spettro dagli aumenti successivi della tensione elettrica sono soprattutto marcati nel caso dei gas, poiché, racchiusi nei tubi, non possono sfuggire all'azione della corrente e tutte le loro molecole sono ugualmente influenzate. *Talvolta lo spettro non è mescolato.* Nel caso dei metalli, si fa passare la scintilla tra piccoli poli appuntiti e la regione dell'azione più intensa è molto limitata. Le particelle che sono fuori da questa regione ci danno lo spettro che si ottiene con l'energia elettrica a un grado inferiore. Questo spettro è uno spettro mescolato. Anche quando prendiamo la precauzione di proiettare un'immagine della scintilla sulla fenditura dello spettroscopio, gli strati esterni più freddi attraverso i quali si vedono gli altri aggiungono le loro righe allo spettro della regione centrale.

Non è tutto; l'individualità di diversi elementi chimici emerge in modo notevole.

Prendiamo uno o due esempi: comincio dai gas impiegando prima una debole e poi una forte corrente indotta. L'idrogeno ci dà ciò che si chiama uno "spettro di struttura", cioè uno spettro pieno di righe. Questo si riduce a una serie.

L'ossigeno ci dà serie che si cambiano in uno spettro di righe complesse in cui non si individuano serie. L'azoto ci dà uno spettro scanalato che si muta in uno spettro di righe complesso.

Passo ora ai metalli e, per andare più veloce, parlerò solo di tre sostanze. Nel caso del magnesio, del ferro e del calcio, i cambiamenti osservati passando dalla temperatura dell'arco a quella della scintilla sono stati minuziosamente annotati:

In tutti questi metalli, con l'innalzamento della temperatura, appaiono nuove righe, oppure le esistenti aumentano di intensità. Si sono chiamate queste righe: "*righe intensificate*".

Non si vedono solo queste righe intensificate, nel caso della scintilla come in quello dell'arco, al di fuori della regione di alta temperatura dove queste righe intensificate sono prodotte, i vapori più freddi ci danno le righe visibili a temperatura più bassa.

Avendo presente il senso che ci deriva nel caso dei gas, possiamo supporre che si vedranno solo le righe intensificate in uno spazio sufficientemente riparato contro l'azione di una riduzione della temperatura. Ma ciò è impossibile nei nostri laboratori. Nell'atmosfera delle stelle, come mostrerò, ci avviciniamo, probabilmente di molto alla nostra osservazione, a questa condizione alla quale mi riferivo di uno spazio uniformemente caldo.

Le righe intensificate sono in numero molto piccolo, se le paragoniamo a quelle che si vedono alla temperatura dell'arco. Nel caso del ferro, da alcune migliaia si riducono a qualche decina.

Tutto quanto precede è esatto solo in termini generali. Se passiamo ai metalloidi, sono necessari stadi di temperatura più numerosi e diviene allora evidente che alla stessa temperatura, sono prodotte specie diverse di spettri, nel caso di elementi differenti. In altri termini, a numerosi livelli di temperature diverse, si producono cambiamenti, sempre nello stesso senso, ma molto differenti alle basse temperature per le diverse sostanze. Alla temperatura più alta - a quella limite - vi è una costanza molto maggiore nei fenomeni osservati, se trascuriamo la questione delle serie. Se ci poniamo dal punto di vista delle serie, non vi è più costanza del tutto.

Si vede che, grazie all'osservazione di tutti questi effetti di temperatura su un grande numero di elementi, divengono possibili molti confronti; tutti mostrano che la dissociazione è realmente in gioco, in qualche caso almeno, più di due semplificazioni nella condizione delle righe sono necessarie per spiegare i fatti. È possibile che gli effetti, dapprima attribuiti alla quantità di materia, siano dovuti alla presenza di una serie di molecole di diversa complessità e che questa sia la vera ragione per la quale "più dissociazioni ci sono, più serve tempo per percorrere le serie e meglio si vedono i primi gradi¹".

Dopo questa constatazione generale dei cambiamenti osservati negli spettri e paralleli ai cambiamenti nella quantità e tipo di energia impiegata, mi propongo di riportare brevemente i recenti lavori sulle modifiche osservate passando dall'arco alla scintilla nel caso di un certo numero di elementi metallici.

Grazie alla bontà di M. Hugh Spottiswoode ho potuto avere fotografie di righe intensificate ottenute con una grande bobina di induzione che produce una scintilla lunga quaranta pollici, appartenente al Dr. Spottiswoode, P. R. S. Tengo molto qui a esprimere il profondo obbligo che devo a M. Hugh Spottiswoode per il prestito di questo magnifico strumento.

La scintilla ottenuta da questa bobina è così luminosa che si possono ottenere le dispersioni più forti rispetto a prima, ciò che consente di decelerare molto più facilmente le righe intensificate. Così il loro numero è stato considerevolmente aumentato.

Alle temperature più elevate, le righe intensificate fanno la loro comparsa nello spettro di quasi tutti i metalli esaminati finora. Il litio fa eccezione a questa regola.

Se si trascurano tutti i cambiamenti che si producono alle temperature più basse, ma si tiene conto dello spettro di fiamma, le variazioni spettrali dei metalli indicano quattro stadi distinti di temperatura. Per semplicità mi limiterò a prendere il ferro come esempio. Questi sono:

1. Lo spettro di fiamma, consistente solo in un piccolo numero di righe e scanalature, ivi comprese parecchie righe ben marcate, alcune raggruppate in triplette.
2. Lo spettro d'arco consistente, secondo Rowand, in 2000 righe o oltre.

¹Proc. Roy. Soc., 1879, n° 200.

3. Lo spettro di scintilla, differente dallo spettro d'arco per l'intensificazione di certe righe corte e la relativa diminuzione di splendore delle altre.
4. Uno spettro che consiste in un numero relativamente molto piccolo di righe che sono rese più intense nella scintilla. Possiamo pensare, come è stato prima detto, che esse siano le sole visibili, alla temperatura più alta, in uno spazio efficacemente riparato contro l'azione di tutte le temperature più basse, poiché le righe intensificate si comportano come quelle di un metallo quando un composto di tale metallo è eliminato dall'azione del calore.

Ogni riga di ogni elemento, a qualsiasi temperatura si produca, può sempre essere confrontata, per quanto riguarda la sua posizione nello spettro, con le righe visibili nei corpi celesti, al fine di determinare se questo elemento esiste in questi astri.

All'epoca in cui le prime ricerche di questo tipo furono effettuate, si potevano osservare i corpi celesti solo per questa via. I risultati erano quindi limitati allo spettro visibile.

Durante questi ultimi anni, si sono ottenute fotografie dello spettro delle stelle più brillanti, e, durante le eclissi, fotografie dello spettro della cromosfera solare. Diviene, quindi, importante estendere alle regioni fotografiche le osservazioni degli spettri terrestri, al fine di poter fare i confronti necessari al proseguo delle ricerche.

I lavori recenti sono stati effettuati da questo punto di vista. Il modo in cui sono state impiegate le righe intensificate è il seguente. Quelle appartenenti a certi elementi metallici principali sono state riunite per formare ciò che io chiamo uno "*spettro campione*".

Questo è stato trattato come se fosse lo spettro di un elemento sconosciuto ed è stato confrontato con i diversi spettri presenti nel sole e nelle stelle.

Mostrerò in dettaglio quanto meravigliosi siano stati i risultati di questa ricerca. Ma posso qui dire come anticipazione che lo spettro campione è praticamente lo spettro della cromosfera, cioè lo spettro della parte più calda del sole che possiamo raggiungere e che si è trovata una stella nella quale esiste quasi da solo, stella nella quale tutte le righe erano state fino ad allora considerate come sconosciute.

Quest'ultimo risultato è della massima importanza, poiché convincerà tutti quelli che non soddisfacevano le modifiche dello spettro viste in laboratorio. Sulla terra le righe intensificate viste nello spettro del centro della scintilla sono sempre mescolate alle righe dello spettro dell'involuppo esterno che naturalmente è in via di raffreddamento e dove le molecole più tenui si ricombinano. Per vent'anni ho desiderato avere un recipiente incandescente per immagazzinarvi ciò che il centro della scintilla produce. Le stelle lo hanno fornito come mostrerò.

Sebbene abbia promesso di sorvolare sulla storia generale dei lavori, devo ancora constatare che le righe intensificate nello spettro campione comprendono in realtà tutte quelle che si sono dapprima studiate quando tutto era ancora confuso e che noi vediamo a fatica attraverso un vetro, e non, come ora, faccia a faccia. Per mostrare la stretta connessione del presente con il passato, è desiderabile riferirsi brevemente ad una parte del lavoro intrapreso su alcune delle prime anomalie notate.

Un vantaggio di questo metodo è quello di mostrare l'immensa massa di fatti che serve da base solida per tutte le conclusioni tratte da qualche rara prova raggruppata in venticinque anni.

Ecco alcune di queste anomalie tra molte altre che riporto come esempio:

1. *Inversione dell'intensità delle linee viste in diverse condizioni.* - Ho mostrato nel 1879 che non esisteva alcun tipo di rapporto tra gli spettri del calcio, del bario, del ferro e del manganese e lo spettro della cromosfera al di fuori di certe coincidenze di lunghezza d'onda. Le righe lunghe viste nelle esperienze di laboratorio sono soppresse e le righe deboli esaltate, nello spettro della cromosfera. Nello spettro di Fraunhofer, le intensità relative delle righe sono del tutto diverse da quelle delle righe che, nella cromosfera, coincidono con esse.
2. *La semplificazione dello spettro di una sostanza alla temperatura della cromosfera.* - Per prendere un esempio, nella regione visibile dello spettro, il ferro è rappresentato da circa mille righe di Fraunhofer: nella cromosfera vi sono solo due rappresentanti.
3. Nelle macchie solari abbiamo a che fare con un insieme di righe del ferro, nella cromosfera con un altro.
4. Nel periodo di massimo delle macchie solari, le righe intensificate negli spettri delle macchie sono quasi tutte sconosciute; nel periodo di minimo, esse sono dovute principalmente al ferro e ad altre sostanze note.
5. La comparsa e la scomparsa di ciò che si chiama vapore di ferro nel sole non è ugualmente registrata da tutte le righe del ferro, come sarebbe nell'ipotesi della non dissociazione. Così, come ho osservato la prima volta nel 1880: mentre il movimento è qualche volta manifesto attraverso il cambiamento di rifrangibilità di certe righe attribuite al ferro, altre righe del ferro vicine indicano una condizione di riposo assoluto.

Il lavoro di laboratorio è stato, senza eccezione, condotto per cercare di spiegare le anomalie poste all'attenzione.

Mi occupo qui solo del lavoro fatto sul ferro, il magnesio e il calcio, per mostrare che, in questi metalli, le anomalie erano dovute per la maggior parte alle righe attualmente indicate come intensificate - cioè al fatto che le righe sembrano cambiare considerevolmente di intensità, quando si impiegano le temperature più elevate.

Ferro

Nel corso delle mie prime osservazioni dello spettro della cromosfera, ho scoperto, il 6 giugno 1869, una riga brillante al 1474 della scala di Kirchoff e ho constatato la coincidenza con una riga del ferro. Il 26 giugno ho scoperto un'altra riga a 2003,4 della stessa scala.

Le ultime ricerche sullo spettro del ferro hanno mostrato che la riga del ferro, di cui avevo osservato nel 1869 la coincidenza con le righe brillanti della cromosfera a 1474 della scala di Kirchoff, avente una lunghezza d'onda di 5316,79, è una riga intensificata, coincidente assolutamente con l'ultima determinazione di Young della lunghezza d'onda della riga cromosferica 1474. Anche la riga 2003,4 della scala di Kirchoff con lunghezza d'onda di 4924 è una riga intensificata del ferro.

Le prime esperienze avevano lo scopo di spiegare le osservazioni fatte da me e dagli scienziati italiani sulla cromosfera. Queste osservazioni provavano la presenza di queste due righe del ferro solamente nella parte dello spettro comunemente osservato.

Lo spettro ordinario del ferro nel quale erano state catalogate 460 righe era del tutto invisibile.

Le anomalie furono studiate nelle esperienze con scintille prodotte dalle bobine in quantità e in tensione, con e senza bottiglie di Leyda nel circuito.

I risultati di queste esperienze mostrarono che i rappresentanti cromosferici del ferro erano precisamente le righe rese brillanti dal passaggio dall'arco alla scintilla, mentre le righe allargate nelle macchie solari corrispondevano a una temperatura più bassa.

L'ultima anomalia osservata era la seguente: in un macchia solare la riga del ferro 4924 non indicava spesso alcun movimento del vapore del ferro, mentre le altre righe del ferro lo mostrava con un velocità considerevole.

Sembrava perfettamente chiaro che nel sole "non abbiamo a che fare con lo stesso ferro, ma con forme primitive della materia contenute nel ferro e capaci di resistere all'alta temperatura del sole, dopo che il ferro osservato come tale è stato distrutto, così come suggerito da Brodie²".

Secondo questa ipotesi, le righe di alta temperatura del ferro della cromosfera rappresentano le vibrazioni di una specie di molecole, mentre le righe che risultano allargate nelle macchie solari corrispondono ad altre vibrazioni molecolari. La stessa idea di raggruppamenti molecolari diversi procura una spiegazione soddisfacente dei diversi modi di moto del vapore del ferro indicati dalle righe vicine, essendo prodotte dall'assorbimento di diverse molecole a diversi livelli e a diverse temperature.

Magnesio

Nel 1879 feci passare la scintilla attraverso una fiamma carica di vapore di diverse sostanze. Nel caso del magnesio l'effetto della temperatura più elevata della scintilla fu molto evidente: certe righe della fiamma erano soppresse, mentre facevano la loro comparsa due nuove righe, una di esse a 4481. Il fatto importante era che le righe speciali alla fiamma non apparissero tra le righe di Fraunhofer, mentre alcune di quelle della scintille apparissero.

Questa riga a 4481 ha la propria posizione tra le righe intensificate, come quelle del ferro prima ricordate. I casi speciali rientrano nella legge generale.

Qui ancora, le esperienze indicano gradi diversi di dissociazione a temperature diverse come causa della non comparsa delle righe del magnesio nello spettro di Fraunhofer.

Da queste esperienze, i cui risultati erano stati in seguito messi di fronte ai diversi livelli di calore indicati dai fenomeni solari, ho tratto nel 1879 le seguenti conclusioni:

"Credo ragionevole sperare che uno studio accurato delle tabelle, mostranti i risultati ottenuti finora, o da ottenere, a diverse temperature, risultati controllati da osservazioni delle condizioni nelle quali queste modifiche sono prodotte, ci permetterà di determinare se ammettiamo l'idea che le diverse dissociazioni delle molecole, che avvengono nei solidi, sono dovute all'azione di temperature diverse - e reciprocamente il modo di evoluzione mediante il quale le molecole vibrano nell'atmosfera delle stelle più calde, si associano per formare quelle che formano un metallo solido. Espongo questa idea con la più grande fiducia poiché credo che si potranno decidere metodi di lavoro convergenti³".

²Proc. Roy. Soc., vol. XXXII, p. 204.

³Proc. Roy. Soc., 1878, vol. XXX, p. 36.

Calcio

Avevo fatto la seguente ipotesi: - il raggruppamento molecolare del calcio che dà uno spettro avente la sua riga principale a 4226,9, è all'incirca distrutta nel sole e del tutto nella scintilla. - Nel 1876, provai che questa ipotesi spiegava il fatto che la riga di bassa temperatura perde la propria importanza nel sole, dove H e K sono di gran lunga le righe più forti.

Riassunti i fatti riguardanti il calcio, come segue: "Noi abbiamo la riga blu differenziata in H e K dalla sua sottigliezza nello spettro solare, mentre esse sono larghe, e dalla sua larghezza nell'arco dove H e K sono strette. Essa è ugualmente diversa da esse per la sua assenza nelle tempeste solari, mentre si vedono quasi universalmente H e K , e infine per la sua assenza durante le eclissi dove H e K sono state le righe più brillanti viste e fotografate."

Sperai in seguito di andare oltre con la fotografia dello spettro delle macchie solari. In tutti i casi, H e K furono viste invertite nelle macchie, proprio come Young le aveva viste a Sherman, mentre la riga blu del calcio non era invertita. La più antica di queste fotografie che è stata conservata porta la data del 1 aprile 1881.

I risultati sperimentali nel caso del calcio seguono quelli ottenuti per il ferro e il magnesio e indicano che la causa dell'inversione dell'intensità, nelle righe di una sostanza in diverse circostanze, è dovuta ai gradi variabili della dissociazione prodotta a diverse temperature.

Così come nel caso del ferro, del magnesio e del calcio, le righe in questione non si vedono del tutto a bassa temperatura, anche nel caso del calcio dove le lastre fotografiche hanno subito una posa di cento ore.

Risulterà a ciascuno in modo sufficiente il ruolo svolto dalla temperatura.

Pertanto, riassumendo, i cambiamenti corrispondenti negli spettri di certi elementi, osservati in laboratorio, nel sole e nelle stelle, sono spiegati semplicemente e sufficientemente dall'ipotesi della dissociazione. Se la respingiamo, nessun'altra spiegazione è in grado di coordinare e armonizzare i risultati ottenuti da tutti questi lavori. E questo non è tutto. Come mostrerò in seguito, vi sono altri settori delle ricerche fisiche che suggeriscono la stessa ipotesi.

Libro II . Applicazione della ricerca al sole e alle stelle

Capitolo 4

La Cromosfera Solare

Ho constatato nel capitolo precedente che, per utilizzare le informazioni messe a nostra disposizione dalla scoperte delle nuove righe viste nello spettro dei metalli esposti ad alte temperature, ho raccolto le righe intensificate dei principali elementi metallici e formato così uno spettro campione per utilizzarlo come nuovo strumento di ricerca.

In questo capitolo, mi occuperò dell'applicazione di questo spettro campione allo studio del sole. È certo che lo spettro solare, come in genere quello delle stelle, è costituito da tutti gli assorbimenti che *si possono produrre* in tutti gli strati della sua atmosfera dalla base alla sommità, cioè dalla fotosfera fino alla parte superiore della corona. È importante notare che di anno in anno questo spettro non varia.

Le macchie solari sono dei disturbi prodotti nella fotosfera. La cromosfera, con le sue perturbazioni che portano il nome di *protuberanze*, riposa direttamente sulla fotosfera. Qui, pertanto, abbiamo a che fare con la parte inferiore dell'atmosfera solare. Troviamo prima di tutto che, contrariamente allo spettro generale che è invariabile, intervengono grandi cambiamenti con il periodo delle macchie solari, insieme nelle macchie e nella cromosfera.

Lo spettro delle macchie ha per indicazione, come si è trovato nel 1866, l'allargamento di certe righe. Lo spettro della cromosfera, come si è trovato nel 1868, si manifesta con la comparsa sul disco del sole di certe righe brillanti. In entrambi i casi, le righe considerate, viste in un momento qualsiasi, sono quasi sempre poco numerose.

Dopo il 1868 abbiamo potuto osservare non solo lo spettro delle macchie solari, ma anche quello della cromosfera, ogni giorno, quando il sole brilla. La cromosfera è piena di cose meravigliose. Dapprima, quando la nostra conoscenza degli spettri era molto più ristretta rispetto ad oggi, quasi tutte le righe osservate erano sconosciute. Nel 1868 vidi una riga nel giallo che si comportava come se appartenesse all'idrogeno, sebbene possa provare che non era dovuta all'idrogeno. Per il linguaggio del laboratorio, chiamai *elio* la sostanza che dava luogo a questa riga. L'anno seguente, come dissi nell'ultimo capitolo, vidi una riga nel verde, a 1474 nella scala di Kirchoff. Era una riga sconosciuta, ma, in alcune ricerche successive, l'assegnai al ferro. Dopo di allora, abbiamo osservato un gran numero di nuove righe.

Ma per quanto utile sia il metodo di osservazione della cromosfera al di fuori delle eclissi, che ci permette, come disse Tennyson, "di sentire da un mondo all'altro", abbiamo bisogno di un'eclissi per vedere direttamente questa cromosfera.

Durante le eclissi del 1893, 1896 e 1898 un tratto di luce straordinaria è stato gettato su tutto ciò, con l'impiego di grandi strumenti costruiti su un piano rialzato da Respighi e me nel 1871.

Essi ci danno immagini della cromosfera colorate dalle sue radiazioni in modo tale che essa indica le posizioni esatte di ogni strato chimico. Uno degli strumenti impiegati durante l'eclissi delle Indie è stato utilizzato anche per fotografare spettri metallici e spettri delle stelle, così che ora è facile sovrapporre fotografie degli spettri della cromosfera ottenuti durante un'eclissi totale con quello degli spettri delle stelle e dei diversi metalli. Come nel caso delle fotografie prese con le camere prismatiche nel 1891 e 1896, lo spettro della cromosfera nel 1898 è molto diverso da quello di Fraunhofer, e noi non abbiamo a che fare solo con una semplice inversione delle righe oscure della luce ordinaria del sole in righe brillanti.

Molte delle righe cromosferiche molto intense, quelle dell'elio, per esempio, non sono rappresentate tra le righe di Fraunhofer, mentre molte di queste ultime sono assente dallo spettro cromosferico (fig. 23). Ma il risultato più notevole è che, nella fotografia dell'eclissi dello spettro della cromosfera, le più importanti delle righe metalliche sono precisamente quelle racchiuse nello spettro campione (fig. 22). Infatti, questa fotografia contiene soprattutto le righe metalliche intensificate.



Fig. 22 - Confronto tra lo spettro della cromosfera e quello campione

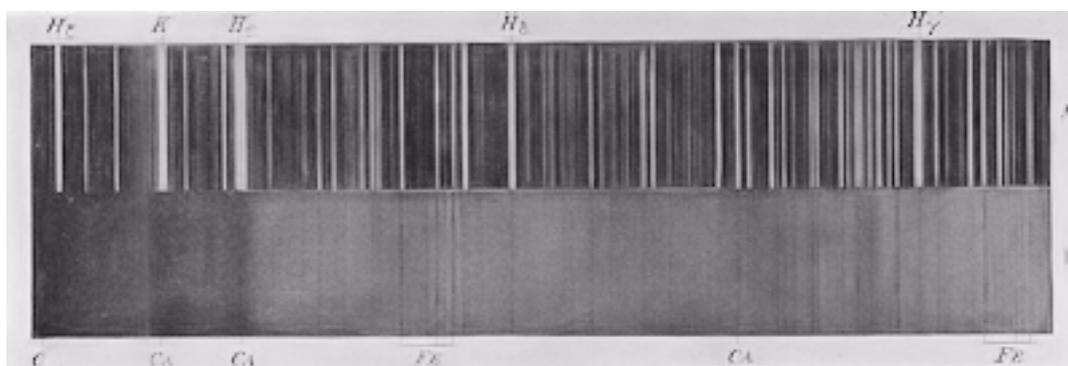


Fig. 23 - Uno spettro della cromosfera confrontato con B, le righe di Fraunhofer

Io riconosco in questo risultato una pietra come Rosetta che ci permetterà di leggere i geroglifici terrestri e celesti che ci presentano gli spettri e ci aiuterà a studiarli e ad ottenere dei risultati molto più delineati e sicuri rispetto a prima.

Questo risultato dimostra, in modo decisivo, che l'assorbimento nell'atmosfera solare, che produce le righe di Fraunhofer, non è prodotto dallo strato più basso e più caldo, la cromosfera.

È necessario, per rendere solide le fondamenta dello studio futuro degli spettri stellari, ricercare esattamente il posto effettivo in cui avviene l'assorbimento. Una delle conclusioni più importanti tratte dall'eclissi delle Indie è che, *per una ragione o per l'altra*, la parte più bassa e più calda dell'atmosfera solare non lascia tante tracce come un'altra, tra le righe di cui è formato lo spettro generale.

Questa conclusione differisce notevolmente dall'opinione generalmente adottata.

Nel mio rapporto sull'eclissi del 1893¹ insistei a lungo su questo punto. La cosa è così importante che non esito a ripetermi:

“Come risultato delle osservazioni spettroscopiche solari, combinate con il lavoro del laboratorio, il Dr Frankland ed io abbiamo concluso, nel 1869, che almeno per un dettaglio, la teoria di Kirchoff sulla struttura solare richiedeva di essere modificata”. In questo anno scrivemmo: “Questi fatti² non indicano che l'assorbimento al quale si deve l'inversione dello spettro e delle righe di Fraunhofer, ha luogo nella stessa atmosfera o vicino ad essa, ma invece di prodursi in una atmosfera esterna esterna e assorbente?³”.

In una vecchia osservazione di una protuberanza, il 17 aprile 1870, trovai centinaia di righe di Fraunhofer brillanti alla base ed evidenziai la difficoltà di formulare una prova più convincente della teoria della struttura solare avanzata dal Dr Frankland e da me⁴.

“Durante l'eclissi del 1870, nel momento della scomparsa del sole, fu segnalata una simile inversione delle righe. Abbiamo (per citare il professor Young) una improvvisa inversione dello splendore del colore di numerose righe scure dello spettro all'inizio della totalità dell'eclissi. Su queste osservazioni era basata l'opinione che vi era una regione alta², al di sopra della fotosfera, che invertiva per noi tutte le righe visibili nello spettro solare e, per questa ragione, le fu dato il nome di *strato di inversione*.”

Proseguendo le mie osservazioni, fui portato, nel 1873, ad abbandonare questa teoria che i fenomeni di assorbimento dello spettro solare sono prodotti da uno strato sottile di questo genere, e mi convinsi che l'assorbimento avviene, a diversi strati, al di sopra della fotosfera. Non ho bisogno di dare qui la prova. Essa è fornita nella mia *Chimica del Sole*⁵.

“Secondo quest'ultima ipotesi, i diversi vapori esistono normalmente a diverse distanze al di sopra della fotosfera, secondo il loro potere più o meno grande di resistere agli effetti dissocianti del calore⁶.”

Le mie osservazioni durante l'eclissi del 1882, nei sette minuti che hanno preceduto la totalità, hanno resa sicura la mia opinione sulla materia. “Noi vedemmo dapprima costantemente una riga corta e brillante nelle

¹Phil. Trans., 1896, CLXXXVII, A, p. 603.

²Proc. Roy. Soc., vol. XVII, p. 88.

³Proc. Roy. Soc., XVIII, p. 358.

⁴Proc. Roy. Soc., XVIII, p. 358.

⁵Cap. XXII, p. 303-309.

⁶Proc. Roy. Soc., XXXIV, p. 292.

protuberanze, mai nelle macchie. Poi, appariva un'altra riga, vista anche costantemente nelle protuberanze e, allora, per la prima volta, appariva una riga *più lunga* e più sottile che abbiamo notato occasionalmente nelle macchie, come allargata⁷, mentre, infine, abbiamo due righe molto lunghe, relativamente molto deboli, che si vedono costantemente allargate nelle macchie, e che, finora, non sono mai state indicate come allargate nelle macchie. È uno dei punti più importanti della fisica solare, ma l'accordo non è universale a tale riguardo. Il professor Young e altri sembrano mantenersi ancora sulle ipotesi precedenti del Dr Frankland e alle mie, all'inizio delle nostre osservazioni, cioè che l'assorbimento avviene in uno strato sottile contiguo alla fotosfera." Io procedetti poi a una analisi delle numerose fotografie ottenute durante l'eclissi e diedi una tabella mostrante la presenza solo di un leggero rapporto tra l'intensità delle righe comuni allo spettro di Fraunhofer e all'eclissi e che vi era rappresentato solo un piccolo numero di righe di Fraunhofer. Inoltre, nelle fotografie dell'eclissi, vi erano molte righe brillanti che non fanno parte di tutte le righe di Fraunhofer.

La cromosfera, che rappresenta questa parte dell'atmosfera solare sulla quale riposa lo strato effettivo di inversione, è ammirevolmente raffigurata nelle fotografie dell'eclissi del 1898. L'immagine è così completa da essere pienamente sufficiente per i nostri scopi e che si può fare affidamento sul fatto che essa rappresenta la cromosfera presa nello stesso momento. Ho constatato che la lista delle righe cromosferiche di Young può causare degli errori poiché è il totale dei risultati ottenuti in diversi momenti in diverse condizioni. Le protuberanze possono esserci e senza alcun dubbio vi appaiono. Le lunghezze e le intensità delle righe sono fedelmente registrate nelle fotografie.

Un esame delle fotografie dell'eclissi mostra che la temperatura dei vapori più luminosi del disco solare non è lontana da quella prodotta dalla scintilla elettrica ad alta tensione, con la presenza delle righe che vediamo rafforzarsi quando si passa dall'arco a questa scintilla.

La cromosfera, pertanto, non è certamente l'origine delle righe di Fraunhofer, sia dal punto di vista dell'intensità che del numero. Da osservazioni visuali fatte dopo il 1888, risulta evidentemente che la cromosfera, a riposo, indica una temperatura più alta di quella in cui avviene la maggior parte dell'assorbimento più forte.

In altre parole, la maggioranza delle righe associate alla temperatura meno alta si produce al di sopra del livello della cromosfera e, di conseguenza, lo strato effettivo di inversione, invece di essere nella parte inferiore della cromosfera, come molti sostengono, sta in realtà al di sopra.

Le fotografie dell'eclissi forniscono, tuttavia, la prova, per le lunghezze relative di certe righe di bassa temperatura, che non abbiamo bisogno di situare la regione assorbente, indicata dalle righe di Fraunhofer, ad una grande altezza al di sopra della cromosfera.

Devo dire che, per qualche tempo, ho creduto che, nel sole, molte delle righe più scure indicassero assorbimenti ad una grande altezza dell'atmosfera - e questo perché lo spettro brillante continuo delle regioni inferiori può avere un effetto importante sui fenomeni delle righe di assorbimento nel loro sovrapporsi alla sua radiazione e diminuendo così l'assorbimento totale. Le osservazioni degli eclissi del 1893, 1896 e 1898 indicano tuttavia che questa opinione non è pienamente corretta, quando si considerano gli strati dell'atmosfera solare esattamente sovrapposti alla fotosfera.

Passiamo ora a considerare le regioni più alte dell'involuppo solare per vedere quale contributo ne possiamo trarre.

In questo campo dipendiamo assolutamente dalle eclissi e certamente i fenomeni osservabili, quando è visibile ciò che chiamiamo la corona, sono pieni non solo della grandiosa maestosità, ma anche di informazioni preziose per gli scienziati. La corona varia, come le macchie e le protuberanze, con il periodo delle macchie solari.

Io l'ho vista durante l'eclissi del 1871 al massimo del periodo delle macchie solari e a quello del 1878 al minimo. La corona del 1871 era assai diversa dalla corona del 1878. Nel 1871 abbiamo visto soltanto righe brillanti indicanti la presenza del gas, in particolare l'idrogeno e un altro nominato provvisoriamente dopo coronium. Nel 1878, non avevamo affatto righe brillanti. Così supposi che i cambiamenti della costituzione chimica e dell'aspetto della corona dipendevano dal periodo delle macchie solari e i lavori recenti hanno confermato questa ipotesi.

Devo ora occuparmi specialmente della corona così come è stata osservata e fotografata nel 1898 in India per mezzo di una camera prismatica, rimarcando che un punto importante nell'uso della camera prismatica è di renderci capaci di separare lo spettro della corona da quello delle protuberanze.

Uno dei principali risultati ottenuti è la determinazione della posizione di numerose righe probabilmente di parecchi nuovi gas che, finora, non sono stati riconosciuti esistere sulla terra.

Come lo strato più caldo e più basso, *per un motivo o per l'altro*, questo strato superiore non lascia la propria traccia tra le righe che formano lo spettro generale.

Finora l'impiego della camera prismatica, non ha richiesto abbastanza cura, nelle osservazioni fatte con un comune spettroscopio, non si può ottenere una vera misura dell'altezza alla quale i vapori e i gas si possono innalzare al di sopra del sole. Le prime osservazioni mostrano l'esistenza di un chiarore tra l'osservatore e la luna oscura; esso deve pertanto esistere anche tra noi e l'involuppo solare.

⁷Proc. Roy. Soc., XXXIV, 297.

La camera prismatica ci sbarazza degli effetti di questo bagliore e il suo risultato indica che l'effettivo strato assorbente - che, in particolare, produce le righe Fraunhofer - è molto meno spesso di quanto indichino le prime osservazioni.

Apprendiamo, quindi, dal sole che l'assorbimento che produce il suo spettro ordinario è quello di una regione intermedia, riparata dall'elevata temperatura degli strati più bassi dell'atmosfera, dove si producono continuamente i cambiamenti più violenti e della regione esterna dove la temperatura deve essere bassa e dove i vapori metallici si devono condensare. È il primo grande insegnamento che ci offre lo spettro campione. Il capitolo successivo esporrà il secondo.

Capitolo 5

Atmosfere Stellari

Quando il lavoro di laboratorio intrapreso allo scopo di trovare le spiegazioni dei diversi fenomeni presentati dal sole giunse ad un certo punto, divenne necessario provare a farsi un'idea del posto del sole tra le stelle, mediante una discussione di tutte le osservazioni spettroscopiche esistenti, che potevano gettare luce sull'argomento.

In questo periodo un gran numero delle più importanti righe brillanti o scure, rivelate negli spettri stellari, erano di origine sconosciuta. Nelle ricerche riguardanti tutte le stelle più calde, bisognava trattare le righe spettrali come geroglifici e non come le rappresentanti di specie chimiche.

Quando iniziai le ricerche, secondo le idee prevalenti, il primo periodo della vita di una stella era quello con le più alte temperature, e tutte le differenze osservate erano dovute ai diversi gradi di raffreddamento raggiunti. Per quanto riguarda le nebulose, esse formavano nella creazione, per quanto si immaginava, un ordine di cose diverse dalle stelle.

Passando su queste idee antiche, rileveremo soltanto ciò che faceva delle nebulose uno squarcio su qualcosa di più oscuro, squarcio attraverso il quale riuscivamo a percepire qualcosa che brillava più lontano, e le si credeva composte di un fluido infiammato. Ancora non molto tempo fa, le si considerava come semplici masse di gas a temperature molto alte; si supponeva anche che esse rappresentassero i resti lasciati nello spazio dalla formazione delle stelle.

Il risultato di questo studio forma la materia di due volumi¹, anche se non serve qui entrare in maggiori dettagli. Ma è necessario che io riferisca, anche se nel modo più breve possibile, i risultati ai quali mi conducevano la discussione di tutte le osservazioni spettroscopiche allora utilizzabili.

L'ipotesi che tutti i corpi cosmici procedono mediante evoluzione di meteoriti, soddisfa tutte le osservazioni, essendo i diversi gradi segnati dagli spettri prodotti dalla varietà delle condizioni derivanti dall'ipotesi stessa.

Le nebulose ci presentano il primo livello. Le si può considerare come degli sciame sparsi di meteoriti in collisione, che producono la loro luce che, allo spettroscopio, sembra dovuta a gas permanenti, idrogeno, gas della cleveite e composti carbonati, estratti dalle meteoriti dal calore delle collisioni; e in misura minore contenenti le righe di bassa temperatura degli elementi metallici noti per esistere nelle meteoriti.

Abbiamo quindi a che fare con sciame di particelle in costante collisione e con gas permanenti emanati da esse che riempiono gli spazi. La temperatura è relativamente bassa. Poiché i gas possono brillare sia a bassa che ad alta temperatura la prova del grado di temperatura dipende unicamente dalla presenza di righe metalliche fredde e dall'assenza di righe intensificate.

Così le nebulose sono ammassi relativamente freddi di qualche gas permanente e di qualche vapore metallico freddo; gas e metalli sono precisamente quelli che io indico come coloro che lasciano le tracce più visibili nelle atmosfere stellari.

Se le nebulose sono così composte, esse si devono condensare al centro, per quanto immensa sia stata la loro dimensione iniziale, per qualsiasi irregolarità si sia avuta nella distribuzione iniziale delle nubi cosmiche che le costituiscono. Ogni meteorite, le cui collisioni ne bloccano il cammino, deve cadere nello stesso tempo verso il centro di gravità dello sciame.

Ogni coppia di meteoriti in collisione ci mostra ciò che deve essere lo stadio finale. Abbiamo dapprima un assorbimento debole prodotto dai vapori metallici attorno ad ogni meteorite in collisione. Lo spazio tra queste meteoriti è riempito dai gas permanenti che essi hanno sprigionato e che non possono condensarsi. Da qui righe metalliche scure e righe gassose brillanti. Con il tempo, le prime devono prevalere, di modo che tutto lo sciame di meteoriti finisce per formare una sfera gassosa con un centro fortemente caldo la cui luce è assorbita dal vapore esterno.

A seconda della condensazione, la temperatura che aumenta sempre al centro della condensazione, tutte le meteoriti dello sciame primitivo sono portati allo stato gassoso.

¹L'ipotesi meteorica e il posto del sole nella natura; editore Macmillan.

Il bombardamento meteorico cessa e la storia ulteriore della massa di gas è, in linea generale, quella di un corpo in raffreddamento; ai violenti moti dell'atmosfera durante la condensazione segue ora una calma relativa, e ciò produce uno strato di inversione la cui osservazione ci permette solo di definire la temperatura della stella.

L'ordine di temperatura dei gruppi di stelle a righe brillanti così come a righe scure è stato fissato, e stelle tipo, indicanti i cambiamenti spettrali, sono state accuratamente studiate; analogamente quelle i cui fenomeni di assorbimento sono i soli visibili. E così noi non abbiamo interruzioni nella serie che va dalle nebulose alle stelle in via di estinzione.

Ci troviamo qui in presenza di piccoli dettagli che mostrano gli effetti di una legge nettamente legata alla temperatura. Inoltre, abbiamo delle fornaci ad alta temperatura, interamente riparate, per la loro enormità, da questi fenomeni perturbatori dai quali non possiamo liberarci nelle condizioni sperimentali più perfette che possiamo creare sulla terra.

Grazie allo spettroscopio, invece della fantasia di altri tempi si ha il risultato di una ricerca generale per la quale si sono dedicate centinaia di migliaia di osservazioni, e, per parte mia, non credo probabile che il piano dell'evoluzione celeste, come l'ho delineato prima, e che è indicato sulla curva di temperatura in fig. 24, debba essere trasformato nelle sue parti principali, talmente è grande la base induttiva sulla quale esso riposa.

Quando questa ipotesi dell'evoluzione celeste fu formulata per la prima volta come risultato dei grandi lavori spettroscopici di cui ho parlato, molte delle righe delle nebulose e dei gruppi stellari III, IV e V erano di origine sconosciuta. I gruppi erano stabiliti accettando come criterio la presenza di queste righe senza alcuna considerazione chimica. Nei gruppi inferiori I, II e VI, la chimica aveva il suo *ruolo* e l'identificazione delle numerose scanalature metalliche rendeva le cose ancora più chiare.

Quando intrapresi, più tardi, nel 1893, il lavoro della classificazione delle stelle in base ai loro *spettri fotografici*², capitai su due importanti partite di righe di origine sconosciuta, una nelle stelle più calde, l'altra nelle stelle di temperatura intermedia.

Dopo la scoperta di una sorgente terrestre di elio da parte del professor Ramsay, mostrai, in una serie di sette note comunicate alla Società Reale³ (maggio-settembre 1895), che i gas della cleveite che ottenni con il procedimento della distillazione si applicavano in larga parte al primo gruppo di righe.

Questo risultato si trovò essere la chiave della chimica dei gruppi III e IV, i quali contengono le stelle più calde.

Nel 1897, in una serie di tre comunicazioni alla Società Reale⁴ stabilii il fatto che certe righe sconosciute dell'altro gruppo nelle stelle di temperatura intermedia, - prendendo α del Cigno come riferimento, - erano dovute a righe di scintilla intensificate del ferro e di altri metalli, essendo le righe di arco all'incirca del tutto assenti.

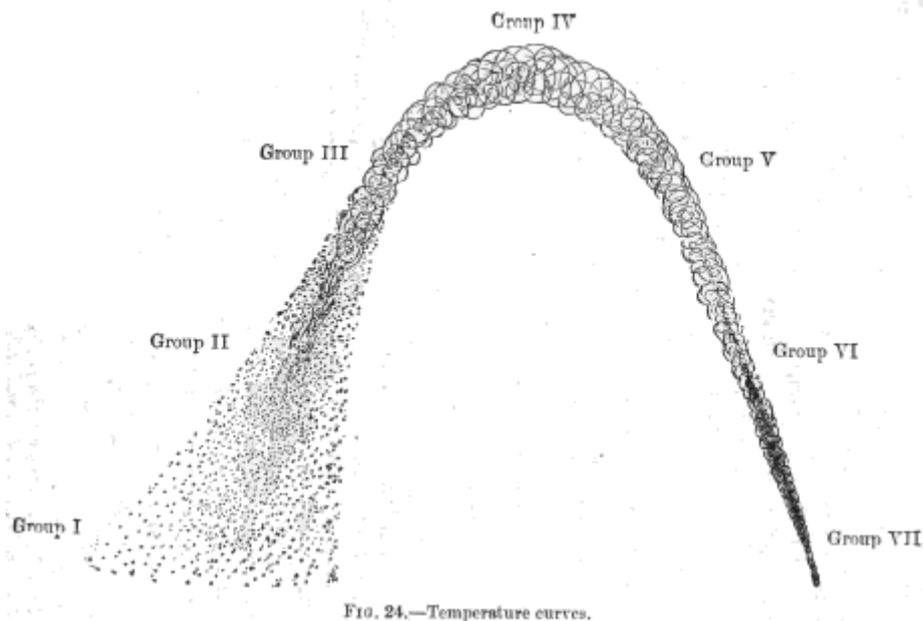


FIG. 24.—Temperature curves.

Gli sviluppi recenti di questa ricerca e in ultimo luogo la formazione di uno "spettro campione" sono stati riferiti nel capitolo III. Il risultato è stato di rafforzare fortemente l'argomento basato sulle prime osservazioni.

²Phil. Trans., vol. CLXXXIV, p. 675.

³1^a nota: Proc. Roy. Soc., LVIII, p. 67; *ibid.*, 173; 116; 192; 193; LIX, p. 4; p. 342.

⁴Proc. Roy. Soc., LX, p. 475; LXI, p. 148; LXI, p. 441.

La fotografia che accompagna queste note permette una comparazione tra le righe di α del Cigno e le righe intensificate delle sostanze riunite per formare lo spettro campione. Un numero straordinario di coincidenze salta agli occhi. Ecco i fatti:

Il numero di righe misurate nello spettro di α del Cigno a Kensington tra $\lambda 3798,1$ e $\lambda 4861,6$ è di 307. Queste righe si ripartiscono così:

Righe coincidenti approssimativamente con righe metalliche intensificate già osservate	129
Righe di una intensità superiore a 4 (con 10 il massimo), e le serie dell'idrogeno non comprese	40

In quest'ultimo numero di trovano 38 righe che, per la dispersione impiegata, coincidono con righe metalliche intensificate.

Lo studio delle righe delle stelle di di temperatura intermedia, come α del Cigno, è stato a lungo considerato dagli osservatori di Harward, così come da me, come irto di difficoltà.

Nel 1893 scrivevo⁵: “ Ad eccezione della riga K , delle righe dell'idrogeno e della riga di alta temperatura del magnesio a $\lambda 4481$, si dire che tutte le righe sono di origine sconosciuta. Alcune cadono vicino a righe del ferro, ma l'assenza delle righe più forti indica che le coincidenze strette sono probabilmente accidentali.”

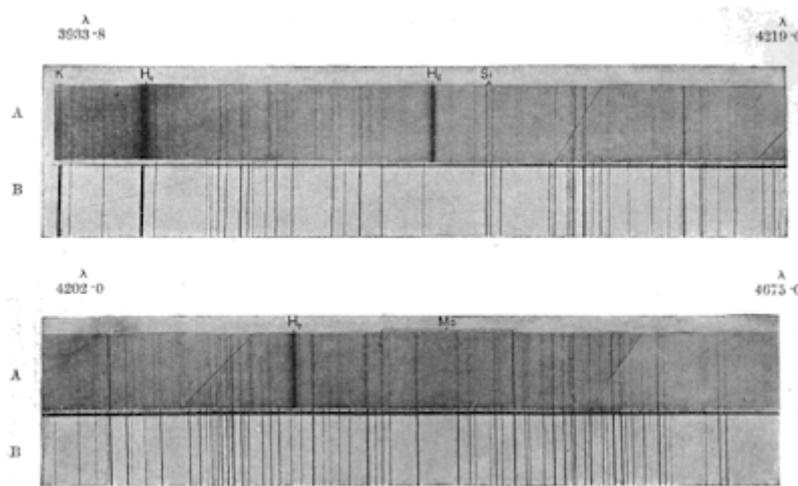


Fig. 25. - Confronto di α del Cigno e delle righe intensificate di certi metalli (principalmente del gruppo del ferro): A = spettro di α del Cigno tra le lunghezze d'onda indicate; B = Spettro campione delle righe intensificate.

Nel *Gli spettri delle stelle brillanti*, Harward, 1897, p. 5, si trovano le parole seguenti relative alle stesse stelle: “Questo sistema di righe deve essere visto forse come formante una classe separata, come nel caso delle righe di Orione, e non deve essere designato come “metallico”, come si è fatto precisamente in assenza di un nome più specifico.”

Si vedrà che il secondo gruppo di “righe sconosciute” è oggi esattamente classificato mediante la disposizione delle righe intensificate degli elementi metallici che per prime erano state notate per la scoperta dei gas della cleveite. Il segreto delle “righe sconosciute” nelle stelle più calde è ora svelato.

Oggi che la storia della chimica è vicina ad essere completa o almeno ha raggiunto un grado di completezza; siamo nella situazione di ricercare ciò che le stelle ci rivelano dalla loro chimica. Ma dobbiamo cominciare con lo studiare l'origine di questi insegnamenti, cioè tra altre condizioni di assorbimento e poi i rapporti della loro chimica e temperatura.

Dapprima per ciò che riguarda l'origine dei fenomeni di assorbimento sui quali le nostre ricerche verteranno in larga parte, abbiamo una stella, il sole, così vicino a noi che possiamo esaminare le diverse parti della sua atmosfera, ciò che non possiamo fare per le stelle più lontane.

Abbiamo visto, nel capitolo IV, ciò che riguarda il sole, cioè che lo strato di assorbimento maggiore occupa nell'atmosfera una certa regione, che non si trova né alla sommità né alla base, ma leggermente al di sotto dello strato inferiore o cromosfera.

Lo spettro di Arturo assomiglia a quello del sole, quasi riga per riga. Quello che è vero per il sole deve esserlo anche per Arturo, che gli è del tutto simile.

Il nuovo punto da considerare è questo: L'assorbimento che lo spettro ci ha rivelato nelle stelle in generale avviene dall'alto in basso dell'atmosfera, o soltanto a certi livelli?

Nella maggior parte di queste stelle l'atmosfera può avere un'altezza di milioni di miglia. In ciascuna di queste stelle, le sostanze chimiche delle parti più fredde e più calde possono essere estremamente differenti. La

⁵Phil. Trans., A., vol. CLXXXIV, p. 694.

regione nella quale si ha l'assorbimento, ciò che ci permette di distinguere spettroscopicamente una stella da un'altra, deve essere perfettamente noto prima che noi possiamo ottenere la maggior parte delle informazioni attese delle nostre ricerche.

Ammettendo che i vapori più assorbenti in ogni stella particolare hanno tutti una temperatura simile, possiamo procedere all'esame dell'origine delle righe dello spettro cominciando dal trarre una conclusione sulla temperatura probabile secondo l'estensione dello spettro continuo e ricercando poi la presenza o l'assenza delle righe che sono le più lunghe negli spettri delle diverse sostanze a quella temperatura. Se, tuttavia, l'assorbimento avviene a diversi livelli nell'atmosfera di una stella, lo spettro proprio di ogni sostanza da esaminare non può essere determinato se non con il confronto delle righe stellari e delle righe terrestri della sostanza, a diverse temperature.

Questo metodo di esame delle righe più lunghe è in difetto nel caso delle stelle più calde del calore delle nostre scintille. In questo caso ci dobbiamo basare su un confronto con le righe che, secondo i nostri studi degli spettri a diverse temperature, sarebbero probabilmente le più lunghe nello spettro, a una temperatura più alta di quello che ci possiamo attendere sperimentalmente.

Se ho dedicato il capitolo precedente allo studio del sole, questo di rivela qui di importanza capitale. È evidente che la conoscenza dei fenomeni solari ha un grande valore, poiché essa ci permette di applicare ai corpi più lontani una serie ben stabilita di fatti, relativi alla stella più vicina a noi.

Facendo questo studio, abbiamo ottenuto fatti che indicano dove si producono i diversi fenomeni sui quali si può basare una classificazione chimica. Questi fatti, siamo obbligati ad accettarli in una discussione sull'assorbimento stellare, salvo prova contraria. E noi estendiamo legittimamente queste conclusioni a tutte le stelle che brillano nel cielo. Dirò di più: in presenza di risultati così netti, non sarà filosofia il supporre che l'assorbimento possa avvenire alla base dell'atmosfera di una stella e nella parte alta di quella di un'altra stella. L'esigenza della prova incombe a quelli che sostengono una teoria di questo tipo.

Possiamo dire qualcosa sul modo in cui l'assorbimento degli strati inferiori dell'atmosfera delle stelle influisce sullo spettro, in base a quanto ci insegna lo studio del sole.

Se ci basiamo nel ragionamento su una stella a fotosfera assai sviluppata come quella del sole, su una stella nella quale è probabilmente meno marcata a causa di una temperatura più alta, dobbiamo ammettere che gli assorbimenti che caratterizzano i diversi gruppi di stelle sono regolati dalle temperature degli strati assorbenti piuttosto che dagli spessori degli strati o dalla densità dei loro diversi vapori. Un'altra considerazione da fare è che le atmosfere sono in parte composte di vapori condensabili e non interamente da gas permanenti a tutte le temperature stellari; di conseguenza, una condensazione si deve sempre produrre esteriormente nella regione della temperatura più bassa.

I fenomeni di assorbimento negli spettri stellari non sono identici per una stessa temperatura media, sui rami ascendenti e discendenti della curva, a causa dell'enorme differenza di condizioni fisiche. Il centro di uno sciame di meteoriti in condensazione, centro sottoposto da tutte le parti al bombardamento delle meteoriti, non può essere equivalente alla cromosfera solare.

Tutta la massa è composta di vapori eterogenei, a diverse temperature, in moto con velocità diverse secondo le regioni.

In uno sciame condensato, al contrario, e possiamo prendere il sole come tipo, questa azione è praticamente cessata. Abbiamo un'atmosfera a riposo relativo e una distribuzione regolare dei vapori, dalla base alla sommità, disturbata soltanto dalla caduta di vapori metallici condensati. Ma ancora secondo questa teoria per cui le differenze degli spettri dei corpi celesti rappresentano principalmente differenze di grado di condensazione e di temperatura, non ci può essere una grande differenza chimica tra corpi di temperatura crescente e decrescente.

Di conseguenza, troviamo sui rami opposti della curva, per temperature medie uguali, questa somiglianza chimica dei vapori assorbenti già dimostrata da numerosi punti di somiglianza negli spettri, specialmente per quanto riguarda le righe metalliche intensificate e le righe dei gas della cleveite.

Ora che lo spettro campione ci ha portato ad una conclusione molto netta per quanto riguarda α Cigno e le stelle analoghe, bisogna ritornare al capitolo IV dove discutiamo dell'atmosfera solare.

Dicemmo quale meravigliosa rassomiglianza vi era tra lo spettro campione e la cromosfera del sole fotografata durante l'eclissi del 1898. Se gli spettri dell'atmosfera fortemente assorbente di α Cigno e della cromosfera solare assomigliano allo spettro campione, anche le atmosfere devono assomigliarsi sia come composizione chimica sia come temperatura.

Abbiamo, di conseguenza, un'occasione impreveduta di notare la stretta connessione dei fenomeni solari e stellari, non solo osservando, come abbiamo fatto, l'azione identica degli strati assorbenti (troviamo infatti gli spettri del Sole, di Arturo e della Capella quasi identici riga per riga), ma ancora studiando i rapporti dello strato assorbente di una stella con lo strato inferiore a quello assorbente di un astro.

Da una parte troviamo che lo strato assorbente del sole è simile a quello di Arturo e della Capella e, d'altra parte, che lo spettro della cromosfera solare assomiglia a quello dello strato di inversione di α Cigno. Lo spettro campione si addice ad entrambi.

Inoltre, secondo una legge fisica ben nota, la cromosfera deve essere la più calda di alcuni degli strati che gli sono esterni; ma sappiamo che lo strato di inversione è esterno alla cromosfera, quindi lo strato di inversione di α Cigno deve essere più caldo di quello di inversione del sole.

Nella cromosfera del 1898, le righe dilatate sono tutte di maggiore intensità delle righe di Fraunhofer corrispondenti ed esse sono anche relativamente più intense, rispetto alle righe dell'arco, che non lo sono nella scintilla del laboratorio. Il vapore di ferro incandescente nella cromosfera deve essere ad una temperatura almeno alta quanto quella della scintilla e certamente più alta del vapore di ferro che agisce per produrre le righe di Fraunhofer.

È completamente provato che la temperatura nello strato di inversione di α Cigno è più elevata che nello strato di inversione del sole. Che cosa vi troviamo noi? Tra le righe che scompaiono, abbiamo le righe d'arco del ferro, del calcio, del magnesio, dello stronzio, ecc., nel numero di alcune migliaia. Tra le righe di importanza crescente, abbiamo il piccolo numero di righe intensificate del ferro, le righe dell'idrogeno e qualche altra che non possiamo ora associare al nome di nessuna sostanza nota. Siamo di fronte ad una serie di fenomeni che è semplicemente e sufficientemente spiegata dalla constatazione che passando dalla temperatura del sole a quella di α Cigno, tra i cambiamenti che si producono, si può constatare la sostituzione dello spettro complesso del ferro con uno più semplice di righe intensificate. Altre ricerche mostrano che gli altri spettri metallici si comportano allo stesso modo.

Passando dallo strato assorbente del sole a quello di α Cigno, passiamo da righe d'arco, dagli elementi metallici alle righe intensificate. È veramente un cambiamento enorme che lo spettro campione mette ora in dubbio e il cui significato sarà indicato in seguito.

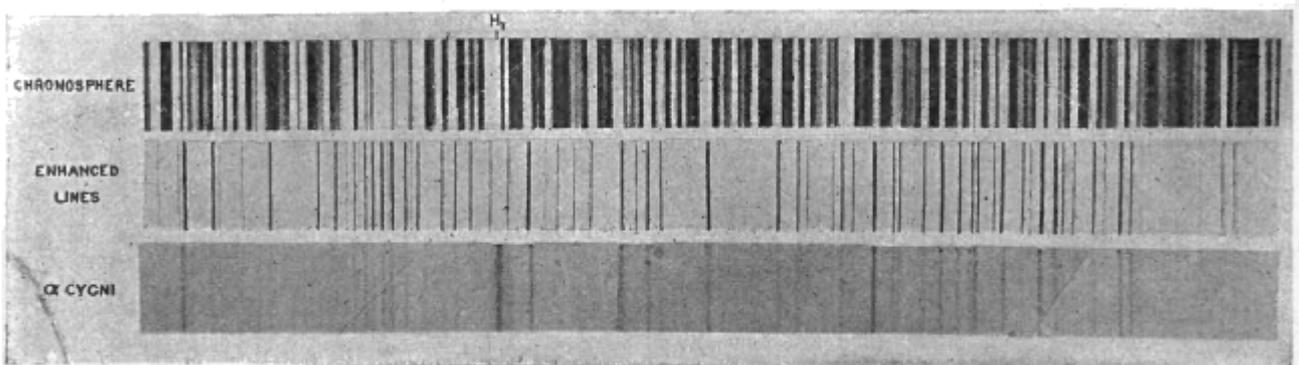


Fig. 26 - Confronto tra gli spettri della cromosfera di α Cigni, mostrandoci che lo spettro campione composto di righe intensificate è comune ad entrambi.

Nel caso del sole, lo spettro campione intensificato era il solo che potevamo impiegare utilmente. Ma nel caso delle stelle più calde, cioè quelle il cui spettro è il più lungo, possiamo andare oltre. Esse sono talmente più calde del sole che ci danno l'occasione di fare un nuovo passo in avanti, cioè impiegare come spettro campione quello che fornisce la somma delle righe dell'idrogeno e dei gas della cleveite. Come abbiamo visto, le righe metalliche dell'arco cedono il passo alle righe intensificate, nelle stelle di temperatura media, come il nostro sole e α del Cigno; analogamente nelle stelle più calde le righe intensificate svaniscono quasi interamente e lasciano il posto ad uno spettro quasi interamente gassoso.

Per prendere l'esempio del ferro, per maggiore semplicità, si vedrà che i fenomeni stellari attuali possono essere predetti fino a un certo punto partendo dai fenomeni solari e di laboratorio. Ma le stelle ci portano più lontano di quanto possiamo prevedere. Vediamo l'aumento graduale dell'idrogeno e dei gas della cleveite. I fatti dimostrano che con l'aumento della temperatura, l'idrogeno aumenta; nello stesso tempo i gas della cleveite, che non si vedevano finora, sostituiscono il ferro che è scomparso.

Capitolo 6

La chimica delle stelle

I progressi delle nostre conoscenze, frutto della combinazione delle ricerche solari, stellari e di laboratorio, effettuate con l'aiuto di strumenti più potenti di quelli impiegati in precedenza, ci hanno dato, dal punto di vista chimico, una solida base relativa a tutti i gruppi della mia classificazione delle stelle.

Questi gruppi erano stati formati discutendo l'ordine di successione delle righe, prima che la loro origine fosse comune. Come ho detto in precedenza, una serie di geroglifici è sostituita ora da fatti chimici e possiamo ora studiare la chimica delle stelle e il loro ordine in una classificazione sistematica.

La prima questione che si pone è naturalmente questa: Gli elementi chimici si manifestano indistintamente in tutti i corpi celesti, di modo che, praticamente, i corpi possono essere considerati di costituzione chimica simile? Non è così.

Consideriamo le stelle analoghe al sole, consistenti di un nucleo interno circondato da un'atmosfera che assorbe la luce del nucleo, stelle che noi studiamo grazie a questo assorbimento. Il loro spettro ci fa concludere che le atmosfere di alcune stelle sono principalmente gassose, cioè consistenti di elementi che conosciamo come gassosi sulla terra; per altre stelle l'atmosfera è principalmente metallica, altre, infine, sono soprattutto costituite dal carbonio o da suoi composti. Lo spettroscopio ci rivela quindi la presenza di una varietà chimica notevole nella costituzione delle atmosfere stellari.

Tuttavia questo insegnamento è ancora isolato. Possiamo confrontarlo con un altro? Per mezzo di uno dei primi principi dell'analisi spettrale ricordati nel capitolo I, sappiamo che più un corpo produce uno spettro continuo più è caldo, più questo spettro si estende lontano nel violetto e ultravioletto.

Di conseguenza, più una stella è calda, più il suo spettro è completo o continuo verso l'ultravioletto e meno la sua luce è assorbita dai vapori più freddi della sua atmosfera.

Prendiamo per esempio tre dei principali gruppi di stelle; troviamo il seguente risultato generale:

Stelle gassose	Spettri molto lunghi
Stelle metalliche	Spettri medi
Stelle carbonatate	Spettri molto brevi

Abbiamo anche associato due diverse serie di fenomeni, che ci permette di fissare le seguenti regole generali:

Stelle gassose	Temperature molto alte
Stelle metalliche	Temperature intermedie
Stelle carbonatate	Temperature più basse

Da ciò segue che la differenza di costituzione chimica apparente è associata a diverse temperature.

Questo è il risultato della nostra prima ricerca sull'esistenza di diversi elementi chimici nell'atmosfera delle stelle in generale. Vediamo una grande varietà e sappiamo che si accompagna con cambiamenti di temperatura.

Troviamo così che il sole, noto per ragioni indipendenti come una stella in via di raffreddamento, e Arturo sono chimicamente identici.

Possiamo associare una terza classe di fatti alle due sulle quali ho finora richiamato l'attenzione?

Il lavoro di laboratorio ce lo consente.

Lo spettro dei gas della cleveite e lo spettro delle righe metalliche intensificate ci vengono in aiuto e ci permettono di fare un passo in avanti. Studiando l'aspetto di queste righe negli spettri stellari, abbiamo una terza serie di fenomeni preziosi le cui conseguenze sono in armonia completa con quanto detto. Così

Stelle gassose:	
Alta temperatura	Forti righe dei gas della cleveite e deboli righe intensificate
Stelle metalliche:	Deboli righe dei gas della cleveite e forti righe intensificate
Temperature medie	Nessuna riga dei gas della cleveite e forti righe d'arco
Stelle carbonatate:	Spettri molto brevi
Temperature più basse	Deboli righe d'arco

È chiaro che non solo i cambiamenti spettrali nelle stelle sono associati a cambiamenti nella temperatura o prodotti da essi, ma che lo studio delle righe intensificate della scintilla e dell'arco ci permette una termometria rigorosa delle stelle, essendo tali righe molto più facili da osservare delle lunghezze relative dello spettro.

Quale è quindi la legge chimica? Eccola. Nelle stelle più calde abbiamo in generale, e quasi esclusivamente i gas idrogeno, elio, asterio e senza dubbio altri ancora sconosciuti. Alla temperatura immediatamente inferiore, questi gas sono sostituiti da metalli nella condizione in cui essi si trovano nella scintilla più potente condensata dei nostri laboratori. Ad una temperatura ancora più bassa, i gas scompaiono del tutto e restano i metalli in uno stato analogo a quello prodotto dall'arco elettrico.

Ho detto: "parlando in generale", ma realmente possiamo andare oltre questa constatazione generale; passando ora dal generale al particolare espongo i risultati dettagliati ottenuti recentemente relativi alle stelle calde come o più di Arturo - risultati dei lavori più recenti, alcuni dei quali sono stati riferiti nei precedenti capitoli. (La temperatura di Arturo è presa per rappresentare quella del sole).

Protometalli

Per quanto riguarda i metalli, i lavori recenti sulle righe intensificate degli spettri metallici, di α Cigni¹ e della cromosfera solare ci permettono di ragionare sulle righe che si osservano alle più alte temperature negli spettri delle sostanze seguenti: magnesio, calcio, ferro, manganese, nichel, cromo, titanio, rame, vanadio, stronzio, silicio.

Le riproduzioni di fotografie senza ritocchi degli spettri della cromosfera e di α Cigni con lo spettro campione hanno mostrato la straordinaria somiglianza che esiste tra questi tre spettri.

Siccome abbiamo a che fare con righe d'arco e di scintilla di queste sostanze, chiamerò per maggiore chiarezza righe *protometalliche* le righe di scintilla; considero le sostanze che le producono, sostanze ottenute alle più alte temperature di laboratorio, come dei *protometalli*, cioè come una forma del metallo più sottile di quella che produce le righe d'arco, forma corrispondente ai "*metaelementi*" di Crookes.

Ecco, per diverse stelle, i risultati di ricerche fatte sui livelli di temperatura ai quali corrispondono le righe intensificate di questi metalli:

METALLO	LIMITI DI TEMPERATURA SERIE CRESCENTE	LIMITI DI TEMPERATURA SERIE DECRESCENTE
Magnesio	da α Orsa Minore a γ di Argo	da α Eridano a Procione
Calcio	da α del Toro a γ di Argo	da α Eridano a Arturo
Ferro	da α del Toro a ξ del Toro ²	da β Perseo a Arturo
Titanio	da α del Toro a ξ del Toro	da β Perseo a Arturo
Manganese	da α Orsa Minore a α del Cigno	da β Perseo a Procione
Nichel	da α Orsa Minore a α del Cigno	da β Perseo a Procione
Cromo	da α Orsa Minore a α del Cigno	da γ Lira a Procione
Vanadio	da α Orsa Minore a α del Cigno	da Sirio a Procione
Rame	da α Orsa Minore a α del Cigno	da β Perseo a Procione
Stronzio	da α del Toro a α del Cigno	da Sirio a Arturo

Le righe intensificate degli elementi sopra sembrano rendere conto di quasi tutte le righe più marcate, in α del Cigno.

È ponendomi su questo terreno che ho ricercato il loro modo di essere nelle altre stelle prima di attendere i risultati di una ricerca completa.

¹Nature, vol. LXIX, p. 342.

²È uno degli spettri più straordinari che io abbia incontrato nella serie di fotografie di Kensington, come ho già fatto notare. (Proc. Roy. Soc., vol LXI, p. 184). Mentre le righe dell'idrogeno sono ben definite, e non molto larghe, molte righe, specialmente quelle dei gas della cleveite sono allargate fin quasi a essere invisibili. Nell'ipotesi meteoritica questo si spiega con la grande differenza di velocità e di direzione dei flussi meteoritici, dove l'allargamento speciale per i gas della cleveite indica che essi sono principalmente in gioco nelle perturbazioni di alta temperatura. A causa di certe righe troppo indistinte, ξ del Toro è trascurato in questa discussione.

Vi è un altro motivo; oltre alle righe intensificate dei metalli della tabella precedente, si sono studiate le righe intensificate del bario, del cadmio, del molibdeno, del lantanio, dell'antimonio, del piombo, del palladio, del tantalio, dell'erbio e dell'ittrio, del tungsteno, del cerio, dell'uranio, del cobalto e del bismuto; ma questo studio è stato fatto con una dispersione più debole e una scala ottenuta con una bottiglia di Leyda di capacità molto minore, di modo che non ho la certezza che una di queste sostanze esista negli strati di inversione delle stelle di temperatura media.

I limiti di temperatura delle righe d'arco di qualche metalli sono stati pure ricercati e i risultati compaiono nella tabella seguente:

METALLO	LIMITI DI TEMPERATURA SERIE CRESCENTE	LIMITI DI TEMPERATURA SERIE DECRESCENTE
Ferro	da α del Toro a α del Cigno	da α del Grande Cane a Arturo
Calcio	da α del Toro a α dell'Orsa Minore	idem
Manganese	idem	idem

Così per i metalli; passiamo ai gas.

Protoidrogeno

Poco tempo fa, il professor Pickering, dell'Osservatorio di Harvard, trovò, studiando gli spettri delle stelle australi, che una di quelle della Poppa (Puppis in latino), del vascello che forma la costellazione di Argo, detta ξ Puppis, conteneva un sistema di righe ancora sconosciuto e propose l'esistenza di un nuovo elemento³.

Una ricerca più approfondita lo portò a supporre che questa nuova serie aveva, in un modo qualsiasi, legame con l'idrogeno poiché le righe occupavano le stesse posizioni di quelle calcolate con le formule e le costanti che servono per la serie ordinaria dell'idrogeno; la sola differenza nell'impiego della formula era che si davano a n valori pari invece di valori dispari⁴.

I professori Pickering e Kayser ammettono entrambi che questa nuova forma dell'idrogeno è dovuta molto probabilmente ad un'alta temperatura e il professor Kayser constata con le proprie parole "che, se questa serie non si è mai potuta prima osservare è a causa della insufficiente temperatura dei nostri tubi di Geissler e della maggior parte delle stelle".

Se, come il professor Kayser ed io ci siamo più volte vicendevolmente suggeriti, questa nuova serie e quella precedentemente nota sono probabilmente serie secondarie, la serie principale dell'idrogeno non ci è ancora caduta sotto gli occhi, a meno che una delle righe ancora classificata come sconosciuta non la ripresenti, come ha pensato il professor Rydberg. È ancora possibile che, anche nelle stelle più calde considerate finora, la temperatura non sia così alta da permettere alla sua molecola di esistere al di fuori di ogni combinazione.

Questa idea che la nuova serie di righe, probabilmente dell'idrogeno, in ξ Puppis è dovuta all'effetto di una temperatura trascendente, ha provocato un tentativo di produrre questo spettro in laboratorio. Con la scintilla ad alta tensione nell'idrogeno alla pressione atmosferica, la serie ordinaria è rappresentata da righe larghe. L'impiego della scintilla con grandi bottiglie nei tubi a vuoto produce la fusione parziale del vetro e la comparsa di righe attribuite al silicio, ma la nuova serie non è ancora stata osservata.

Nella sua prima comunicazione il professor Pickering menziona righe a 4698, 4652, 4620, 4505, ma non ne parla nel suo secondo articolo che riguarda in particolare la nuova serie. La riga 4505 fu presa dapprima per una delle componenti della nuova serie, ma essa sembra essere stata poi soppiantata dall'impiego della riga 4544 che è più conveniente sia come intensità che come posizione. (Il calcolo dà 4543,6).

Siccome questa nuova serie dell'idrogeno sembra avere con la serie nota la stessa relazione che le righe protometalliche hanno con le righe metalliche, chiamo per maggiore chiarezza *protoidrogeno* il gas che le produce.

³Si veda, *Astrophysical Journal*, vol. IV, p. 369; vol. V, p. 95.

⁴Queste due serie sono le seguenti:

SERIE ANTICA			NUOVA SERIE		
n	Calcolata	Osservata	n	Calcolata	Osservata
6	6563.0	6563.0	5	10128.1	—
8	4861.5	4861.5	7	5413.9	—
10	4340.6	4340.7	9	4543.6	—
12	4101.9	4101.8	11	4201.7	4200.4
14	3970.2	3970.2	13	4027.4	4026.8
16	3889.2	3889.1	15	3925.2	3924.7
18	3835.5	3835.5	17	3859.8	3858.7
20	3798.0	3798.1	19	3815.2	3815.9
			21	3783.4	3783.4

Queste tabelle sono prese dall'articolo del professor Pickering, *Astrophysical Journal*, V, p. 93. Vedere anche l'articolo di Kayser, p. 95, stessa rivista.

La nuova serie è stata trovata negli spettri di ξ , ε , δ , α di Orione fotografati a Kensington nel 1892.

Il professor Pickering ha trovato dopo da allora questo sistema di righe in altre stelle oltre a ξ Puppis, nella 29 del Grande Cane tra le altre, e M. Mac Clean, nel suo ammirevole lavoro sulle stelle più brillanti dell'emisfero australe, ha ottenuto fotografie dello spettro di γ Argo nelle quali compariva la nuova serie.

Risulta, dal confronto di queste stelle con altre già fotografate, che siamo quasi senza alcun dubbio in presenza delle stelle più calde conosciute e che la nuova serie di righe dell'idrogeno rappresenta uno degli ultimi stadi di semplificazione chimica che possiamo vedere.

Siamo, di conseguenza, ora meglio in grado di determinare le relazioni di questo nuovo gas con gli altri gas, noti e sconosciuti, che compariranno nelle stelle di temperatura quasi uguale.

Altre nuove righe

Nelle attuali condizioni delle nostre conoscenze degli spettri stellari, troviamo ancora, per quanto riguarda le stelle più calde, alcune lacune di ordine chimico; inoltre, se teniamo conto dei limiti dei nostri mezzi di osservazione, e del fatto che queste osservazioni sono strettamente limitate alla porzione di spazio relativamente debole (per quanto enorme sia) che ci circonda immediatamente, abbiamo il diritto di affermare che siamo realmente in presenza delle temperature stellari più alte?

Inoltre non possiamo essere certi che il piccolo numero di stelle finora studiate ci metta in presenza delle più alte temperature stellari. Quelle tra queste stelle che sono in apparenza al vertice della curva di temperatura hanno righe sconosciute e devono essere studiate con una speciale attenzione.

Due righe tipiche sconosciute aventi lunghezze d'onda di 4089,2 e 4649,2⁵ appaiono con tre altre righe sconosciute in γ Argo.

Siccome esse rivelano probabilmente gas non ancora scoperti, le comprendo nella tabella sotto mostrando i limiti di temperatura stellare ai quali si estendono le righe note e sconosciute, di origine probabilmente gassosa.

ORIGINE	ADELLE LINEE PRINCIPALI	LIMITI NELLA SERIE ASCENDENTE DELLE STELLE	LIMITI NELLA SERIE DISCENDENTE
Sconosciute	4457	viste solamente in γ Argoda ξ Orione a γ Argo	nessuna incontrata
	4451		
	3876		
Idrogeno (nuovo s.)	4544.0		
	4200.4		
Sconosciuta	4649.2	da α della Croce a ξ Orione	α Eridano
Elio	4471.6	da Riegel a γ Argo	da α Eridano a γ Lira
	4026.3		
Asterio	4388	da Riegel a γ Argo	da α Eridano a γ Lira
	4009		
Idrogeno	serie completa	da Aldebaran a γ Argo	da α Eridano a Arturo

M. Mac Clean ha constatato che alcune delle righe dell'ossigeno (tra esse il forte tripletto a λ 4070.1, 4072.4, 4076.3) apparivano nello spettro di β della Croce e in altre stelle con temperature vicine.

Le mie osservazioni tendono a confermare quanto visto.

Ma altre fotografie e il lavoro di laboratorio sono ancora necessari per spiegare certi cambiamenti di intensità che sono stati osservati.

Le righe attribuite da M. Mac Clean all'ossigeno sono state notate tra α della Croce e ζ di Orione nella serie crescente, e verso il livello di temperatura di α Eridano nella serie decrescente.

Si ha la prova che le righe più forti dell'azoto a λ 3995.2 e λ 4630.9 fanno la loro comparsa nelle stelle verso la temperatura di α della Croce. Queste righe appaiono da Riegel a ζ Orione nella serie crescente e sono presenti nelle stelle al livello di α Eridano nella serie decrescente.

Ho segnalato parecchi anni fa⁶ che ad alta temperatura le scanalature del carbonio nel violetto sono sostituite da una riga a 4267.5. Vi è una riga di questa lunghezza d'onda negli spettri delle stelle di temperatura compresa tra quelle di Riegel e di ζ Orione (serie crescente) e quelle di α Eridano e di β Perseo (serie discendente).

Non c'è nei gas o nei metalli riga nota con la quale questa riga possa essere identificata. È quindi probabile che il carbonio esista nelle stelle che hanno la temperatura di quelle in cui è stato notato l'ossigeno e il carbonio.

⁵Proc. roy. Soc., LXII, p. 52.

⁶Proc. Roy. soc., vol. XXX, p. 461.

considerato nei miei primi articoli⁸, le origini di un numero considerevole di righe di stelle riconosciute da allora come righe intensificate di metalli o gas noti.

Si vedrà che questa ricerca più completa giustifica interamente la mia precedente affermazione⁹ che le righe metalliche sono più larghe nelle stelle di temperatura crescente e le righe dell'idrogeno più larghe nelle stelle di temperatura decrescente, ai due rami opposti della curva di temperatura. Ho già fornito una possibile spiegazione¹⁰.

Si osserverà d'altronde che non ho potuto trovare finora sul ramo discendente, spettri stellari corrispondenti a quelli di γ Argo e ζ Orione. Ma è più che probabile che nelle vicinanze della sommità della curva si osservino molto pochi cambiamenti. Di conseguenza, questa lacuna è meno importante di quanto si possa credere.

La stessa osservazione si applica a α Cigno e a Sirio, ma è certo che le differenze nelle intensità relative delle righe gassose e intensificate devono essere considerevoli a giudicare da ciò che si ha agli stati di temperatura immediatamente inferiore superiore.

Le stelle sulle quali si è discusso ci danno risultati ben definiti, mostrando che le diverse forme chimiche appaiono a sei diversi livelli di temperatura.

I limiti di temperatura

Voglio fare qualche osservazione sull'insieme e di fatti qui riuniti per la prima volta. Ci si dovrà, tuttavia, ricordare che tutti gli elementi chimici e tutte le parti dello spettro non sono ancora compresi in questa indagine.

I fatti indicano delle particolarità. Certe forme chimiche sembrano essere più durevoli di altre e, d'altra parte, i cambiamenti importanti dello spettro nel caso di sostanze diverse non si producono alla stessa temperatura.

1° L'idrogeno si mostra soprattutto nelle due serie di stelle dalla base alla cima. Il protomagnesio e il protocalcio li seguono molto da vicino, ma il primo raggiunge la sua più alta intensità allo stadio rappresentato da α del Cigno e il secondo alla temperatura solare rappresentata da α Toro e Arturo.

2° Tranne queste eccezioni, tutte le forme chimiche note finora sono poco durevoli.

È la prima differenza importante. Grazie alla prima constatazione, abbiamo il diritto di dire che le sostanze diverse dall'idrogeno, il protomagnesio e il protocalcio saranno visibili negli strati di inversione stellare se vi erano presenti.

3° Nelle stelle di più alta temperatura abbiamo in genere a che fare con i gas. Al di sotto degli stati rappresentati da β Orione e γ Lira abbiamo dei protometalli e dei metalli, essendo l'idrogeno la sola eccezione.

4° I protometalli fanno la loro comparsa verso il grado di calore in cui i gas e il carbonio (l'idrogeno sempre escluso) cominciano a scomparire.

Questa è la seconda differenza importante. È interessante notare la differenza netta tra l'aspetto del carbonio e del silicio nella serie decrescente. Il primo è agli stessi stati dell'ossigeno e dell'azoto, il secondo si comporta come i protometalli.

5° Ad eccezione del ferro, i metalli, contrariamente ai protometalli, fanno la loro comparsa solo nelle stelle allo stadio di Sirio e al di sotto.

Questa è la terza importante distinzione. Questa comparsa si accompagna ad una notevole *diminuzione* dell'idrogeno e del protomagnesio e ad un aumento del protocalcio. Infatti, questo sembra generalmente variare in ragione inversa dell'idrogeno.

Si deve sapere se l'ordine di visibilità, alla temperatura inferiore di cui parliamo, non spiega l'assenza del protoidrogeno, dell'ossigeno e dell'azoto, degli spettri del sole e delle nebulose; se non spiegasse pure la presenza dei metalli e l'assenza del quarzo nelle meteoriti, la somiglianza dei prodotti gassosi ottenuti dalle meteoriti e dei metalli, nativi e altri, nel vuoto ad alta temperatura.

Chimica delle stele più fredde

Ho già mostrato come la scoperta di nuove righe negli spettri degli elementi metallici, grazie all'impiego di bobine di induzione tra le più potenti che esistono, ci ha messo in possesso della chimica delle stelle di temperatura intermedia, e come la scoperta dei gas della cleveite ci ha aiutato a determinare l'origine di molte delle righe delle stelle più calde.

La nostra conoscenza della chimica delle stelle fredde è meno ricca di meraviglie. Abbiamo due gruppi distinti di stelle fredde, essendo la prova della loro temperatura inferiore la brevità del loro spettro.

In uno di questi gruppi, abbiamo a che fare solo con l'assorbimento come in quelli che abbiamo considerato finora. Abbiamo un grande vuoto nella serie dei fenomeni osservati: l'elio, l'idrogeno e le righe intensificate dei metalli sono praticamente scomparsi e abbiamo righe metalliche principalmente dell'arco e dell'assorbimento del carbonio.

⁸Ibid., XLIV, p. 1 (1888); ibid., XLV, p. 380 (1889); Phil. Trans. A, 84 (1893), p. 725.

⁹Proc. Roy. Soc., LXI, 182.

¹⁰Proc. Roy. soc., LXI, 183.

Ma l'altro gruppo di stelle più fredde ci presenta fenomeni del tutto nuovi. Non abbiamo più solo a che fare con l'assorbimento, ma l'accompagnano, abbiamo dell'irraggiamento, di modo che lo spettro contiene righe scure, righe brillanti e scanalature.

In numerosi spettri si riscontrano nel caso di nuove stelle, come le si chiama, le effemeridi del cielo, che, si può dire, esistono soltanto per un istante.

Nel caso di questi corpi, quando la perturbazione che dà luogo alla loro improvvisa comparsa è cessata, troviamo il loro posto occupato dalle nebulose. Non abbiamo qui a che fare con astri come il sole che ha già speso alcuni milioni di anni per raffreddarsi e disporrà ancora di milioni di anni per arrivare all'invisibilità completa.

Pertanto, in questa classe di "stelle" più fredde, abbiamo evidentemente a che fare con sciame di meteoriti, la cui condensazione è appena iniziata ed è questa classe che ci fornisce più "stelle variabili" di tutte le altre.

Capitolo 7

Una classificazione chimica delle stelle

Nei tentativi fatti per classificare le stelle per mezzo dei loro spettri, dopo Rutherford e fino ad oggi, i diversi criteri scelti erano necessariamente per la maggior parte di origine sconosciuta. Ad eccezione dell'idrogeno, del calcio, del ferro e del carbonio, le origini chimiche della maggior parte delle righe spettrali non potevano essere determinate con certezza.

Di conseguenza, si indicarono con cifre i diversi gruppi definiti dall'aspetto delle righe sconosciute; siccome le opinioni di quelli che effettuavano queste classificazioni differivano notevolmente sulle conseguenze da trarre dalle osservazioni, le serie numeriche differiscono talmente che tutta la coordinazione tra esse diviene difficile e confusa. I recenti lavori ai quali si riferisce il capitolo precedente hanno gettato un tale fiume di luce sulla chimica delle stelle che si possono ora stabilire gruppi chimici ben definiti; lo scopo del presente capitolo è di rendere conto del piano generale di classificazione che ho recentemente proposto.

Il fatto che nella regione fotografica degli spettri stellari si è ora scoperta la maggior parte delle righe importanti, rende desiderabile questo passo in avanti, sebbene molti elementi chimici restino ancora da studiare completamente dal punto di vista stellare.

Il piano è stabilito in base a una ricerca minuziosa basata sulla variazione nelle diverse stelle dell'intensità delle righe e delle scanalature delle sostanze sotto menzionate:

1° Certi elementi sconosciuti (probabilmente gassosi a meno che i loro elementi non rappresentino "serie principali") nelle stelle più calde e la nuova forma dell'idrogeno scoperta dal professor Pickering (che chiamo "protoidrogeno per chiarezza), l'idrogeno, l'elio, l'asterio, il calcio, il magnesio, l'ossigeno, l'azoto, il carbonio, il silicio, il ferro, il titanio, il rame, il manganese, il nichel, il cromo, il vanadio, lo stronzio; gli spettri sono stati osservati alle più alte temperature di scintilla alla nostra portata.

Le righe così osservate sono chiamate "righe intensificate", e ho distinto le specie di vapori che le producono con il prefisso "proto", es.: "protomagnesio"¹.

2° Il ferro, il calcio, il manganese alla temperatura dell'arco.

3° il carbonio (scanalature) a una temperatura ancora più bassa.

Nell'ultimo capitolo, ho indicato i risultati ai quali si è pervenuti recentemente per quanto riguarda gli aspetti delle righe delle sostanze sopraddette nelle stelle a diverse temperature; le definizioni di diversi gruppi o generi che saranno proposti in seguito sono basate sulla tabella nella figura 27, e anche sulle ricerche complementari la cui idea è stata suggerita con il procedere del lavoro.

Nei limiti attuali della ricerca, si sono rappresentate con l'aiuto delle stelle vanno a seguire le differenziano le più salienti di cui si è potuto trarre profitto per stabilire dei gruppi; gli insegnamenti sono ricavati dalle ricerche del professor Pickering², di M. Mac Clen³ e delle serie di fotografia di Kensington.

Stelle più calde

Due stelle nella costellazione Argo (ζ della Poppa, γ di Argo)⁴.

Alnilam (ϵ di Orione). È una stella della cintura di Orione indicata nelle carte con il nome di Alnilam. Il Dr. Budge è stato assai bravo nello svolgere per me delle ricerche, dalle quali risulta che la parola è stata modificata da un errore di trascrizione e che il senso della parola araba è "una cintura di sfere o di perle".

¹Roy. Soc. Proc., vol. LXIV, p. 398.

²Astrophysical Journal, vol. V, p. 92, 1897.

³Spettri delle stelle australi.

⁴Gli spettri di queste stelle contengono righe brillanti, ma quando si trovano righe brillanti e scure, bisogna, per la classificazione chimica, tener conto solo delle righe scure.

STELLE CON TEMPERATURE INTERMEDIE

SERIE CRESCENTE	SERIE DECRESCENTE
β Croce	Achernar
ζ Tor	Algol
Riegel	Markab
α Cigno	[]
[]	Sirio
Stella Polare	Procione
Aldebaran	Arturo

STELLE CON LA TEMPERATURA PIÙ BASSA

SERIE CRESCENTE	SERIE DECRESCENTE
Antares, una delle stelle più brillanti del catalogo di Duner della classe III a ⁵ . [Nebulose]	19 dei Pesci, una delle più brillanti dello stesso catalogo, classe III b. [Stelle oscure]

Per mostrare chiaramente che bisogna tener conto di una serie crescente e di una decrescente, presento qui due fotografie che mostrano i fenomeni osservati sui due rami della curva di temperatura negli strati di inversione di stelle di temperatura circa uguale come indicano le righe intensificate.

Le stelle in questione sono:

Sirio (S. decres.)	Figura 28
α Cigni (S. cresc.)	
Procione	Figura 29
γ Cigni	

Le principali differenze sulle quali desidero richiamare l'attenzione sono le diverse intensità delle righe dell'idrogeno in Sirio e α Cigni e la differenza in larghezza e le intensità delle righe metalliche e protometalliche in Procione e γ Cigni.

Queste differenze, così significative dal punto di vista della classificazione, furono indicate dapprima in una comunicazione alla Società Reale nel 1887⁶, e i progressi dei lavori fatti su queste righe hanno mostrato l'importanza di tali differenze.

Ho basato la suddivisione in gruppi - o generi sulle considerazioni seguenti:

Sappiamo in modo certo che una serie di strati geologici, dal più antico al più recente, ci pone in presenza di diverse forme organiche, dove le più recenti sono anche le più complesse; allo stesso modo è possibile che i numerosi cambiamenti molto netti degli spettri osservati in una serie di stelle dalla temperatura maggiore fino alla minore, ci mette in presenza di una serie di forme chimiche che diventano via via più complesse al diminuire della temperatura.

Se così è, studiamo nelle stelle i risultati attuali del lavoro dell'evoluzione inorganica su una linea parallela a quella che si è potuto tracciare per l'evoluzione organica. Discuterò questo in seguito.

Nell'attesa, se si guarda alle stelle tipiche come le equivalenti dei suoli tipici, come il Cambriano, il Siluriano, ecc., è comodo che la forma dei termini impiegati sia comune alle due classificazioni. Così propongo una forma aggettiva che termina in *niana*. Se la stella tipica è la più brillante della classificazione mi servo come radice del suo nome arabo, altrimenti, impiego il nome della costellazione.

Il desiderato indicato ha determinato, in una certa misura, la scelta di stelle là dove si poteva prenderne parecchie. Devo esprimere il grande obbligo che ho verso il Dr. Murray per l'aiuto che mi ha prestato nell'esame di alcune delle questioni che si sono così presentate.

Si veda la tabella successiva.

⁵Sulle stelle a spettro della 3^a classe.

⁶Proc. Roy. Soc., vol. XLIII, p. 145.

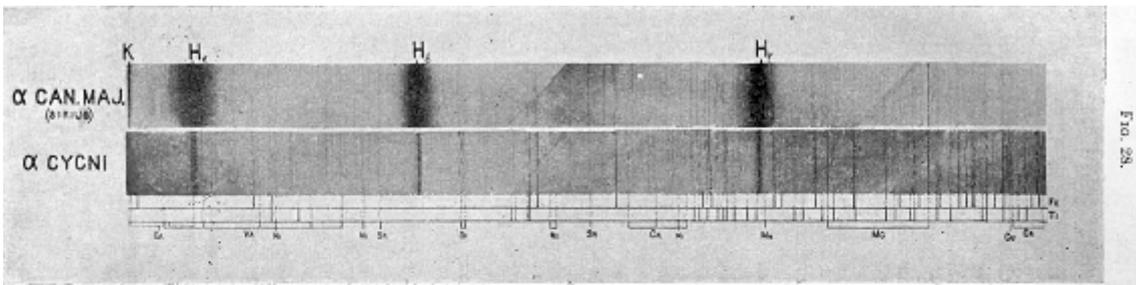


FIG. 20.

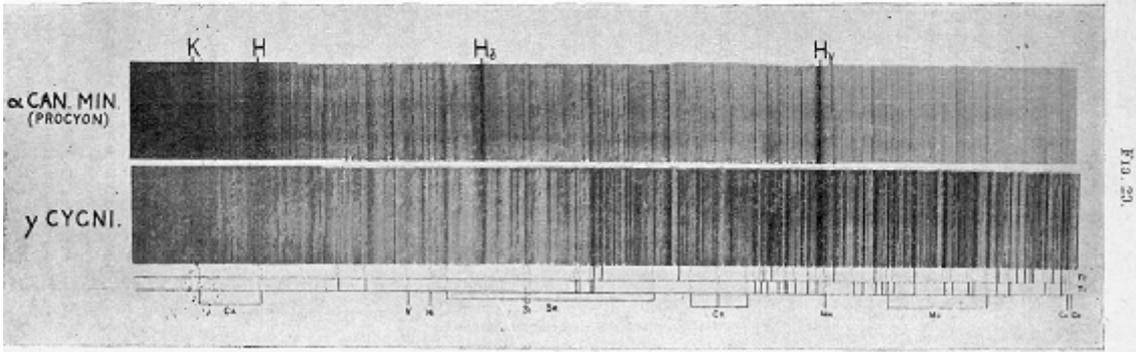


FIG. 21.

CLASSIFICAZIONE DELLE STELLE IN
 GENERI SECONDO LA LORO COMPOSIZIONE
 CHIMICA E LA LORO TEMPERATURA

Temperatura più alta - Chimica più semplice

Argoniana - Alnitamieniana

SERIE CRESCENTE	SERIE DECRESCENTE
Crociana	Achernarniana
Tauriana	Algoliana
Riegeliana	Markabiana
[]	Sirio
Stella Polare	Procione
Aldebaran	Arturo
	Siriana
Polariana	Procioniana
Aldebariana	Arturiana
Antaresiana	Pesciana

Le definizioni chimiche dei diversi gruppi o generi sono le seguenti.

DEFINIZIONI DEI GENERI DI STELLE

Argoniana

Predominanti: Idrogeno e protoidrogeno
 Meno marcate: Elio, sconosciuto (λ 4451, 4457). Protomagnesio, protocalcio, asterio.

Alnitamiana

Predominanti: Idrogeno, elio, protosilicio, sconosciuto (λ 4649.2)
 Meno marcate: Asterio, protoidrogeno, protomagnesio, protocalcio, ossigeno, azoto, carbonio

RIGHE PROTOMETALLICHE
 RELATIVAMENTE LARGHE -
 RIGHE D'IDROGENO
 RELATIVAMENTE SOTTILI

Crociana

Predominanti: Idrogeno, elio, asterio, ossigeno, azoto, carbonio
 Meno marcate: Protomagnesio, protocalcio, protosilicio, sconosciuto (λ 4649.2), silicio

Tauriana

Predominanti: Idrogeno, protocalcio, protomagnesio, asterio

Meno marcate: Protocalcio, silicio, azoto, carbonio, ossigeno, protoferro, prototitanio

Riegeliana

Predominanti: Idrogeno, protocalcio, protomagnesio, elio silicio
 Meno marcate: Asterio, Protoprotoferro, azoto, prototitanio

Cigniana

Predominanti: Idrogeno, protocalcio, protomagnesio, protoferro, silicio, prototitanio, protorame, protocromo
 Meno marcate: Protonickel, protovanadio, protomanganese, protostronzio, ferro (righe d'arco)

Polariana

Protocalcio, prototitanio, idrogeno, protomagnesio, protoferro, righe d'arco del calcio, ferro e manganese.
 Meno marcate: Gli altri protometalli e metalli del genere siriano

Aldebariana

Predominanti: Protocalcio, linee d'arco del ferro, calcio, manganese, protostronzio, idrogeno
 Meno marcate: Protoferro, prototitanio

Anatariana

Predominanti: Scanalature del manganese
 Meno marcate: righe d'arco degli elementi metallici

RIGHE PROTOMETALLICHE
 RELATIVAMENTE SOTTILI -
 RIGHE D'IDROGENO
 RELATIVAMENTE LARGHE

Acherniana

Come le crociana

Algoliana

Predominanti: Idrogeno, protomagnesio, protocalcio, elio, silicio
 Meno marcate: Protoferro, asterio, carbonio, prototitanio, protorame, protomanganese, protonichel

Markabiana

Predominanti: Idrogeno, protocalcio, protomagnesio, silicio
 Meno marcate: Protoferro, elio, asterio, prototitanio, protorame, protomanganese, protonickel, protocromo

Siriana

Predominanti: Idrogeno, protocalcio, protomagnesio, protosilicio
 Meno marcate: Le righe di altri protometalli e le righe d'arco del ferro, calcio e manganese.

Procioniana

Le stesse righe delle Polariane

Arturiana

Come le Aldebariane

Pesciana

Predominanti: Scanalature del carbonio
 Meno marcate: righe d'arco degli elementi metallici

Si può star sicuri che col tempo sarà necessario creare nuovi generi intermedi.

La classificazione stabilita si presta bene poiché non contiene relazioni numeriche che possono essere inesatte.

La classificazione chimica seguente è ancora più generale, a condizione di non considerare i suoi tratti predominanti, e di non cercare linee di demarcazione netta tra i suoi gruppi più vasti.

La particolare posizione del calcio e del magnesio rende questa riserva necessaria.

CLASSIFICAZIONE DELLE STELLE

Temperatura più alta			
Stelle gassose	Stelle a protoidrogeno	Argoniane - Almitaniane	
	- a gas della cleveite	Crociane - Tauriane	Acherniane - Algoliane
Stelle protometalliche		Rigeliane	Markabiane - Siriane
		Cigniane	Siriane
Stelle metalliche		Polariane	Procioniane
		Aldebariane	Arturiane
Stelle a spettro scanalato		Antariane	Pesciane
	Temperatura più basse		

I fatti chimici dettagliati che conseguono dalle definizioni di questi diversi generi mostrano numerose differenze importanti tra l'ordine di comparsa delle sostanze chimiche nell'atmosfera delle stelle e quello che indicherebbe l'ipotetica "legge periodica".

Rivedrò più avanti questo punto.

Libro III - L'ipotesi della dissociazione

Capitolo 8

Opinione recente

Ho richiamato nel capitolo II alcune delle difficoltà incontrate dai primi spettroscopisti, e ho mostrato l'impossibilità di conciliare con le opinioni chimiche allora note i fatti nuovi accumulati da questo nuovo metodo; ho ricordato a tale proposito che nel 1873 avevo detto che molte delle nostre difficoltà svanivano ammettendo che gli atomi dei chimici fossero divisi, o dissociati in forme più sottili dalle alte temperature impiegate necessariamente con questo metodo di ricerca.

Ventisette anni sono trascorsi dal 1873 al 1900. Mi propongo di riferire brevemente lo stato attuale delle opinioni su questo tema o piuttosto su alcuni dei sei punti principali.

Tra le ipotesi che ho esposto, solo alcune sono state generalmente adottate; tale è, tra le altre, quella che consiste nell'ammettere la rottura della molecola di un metallo, dando (per un motivo o per l'altro) uno spettro continuo allo stato solido, in gruppi molecolari più piccoli, che danno spettri di scanalature e di righe.

La mia opinione sulla nuova dissociazione delle molecole, dopo che è stato raggiunto lo stadio di spettro di righe, è stata rigettata da molti. Io non ne sono sorpreso.

In una questione così seria non possiamo essere troppo prudenti. È quasi riguardante la natura delle ricerche fatte lungo una strada dove i problemi di scienza pura sono i soli in gioco, e l'assenza di lavoro sperimentale ci riduce ad esprimere semplici opinioni personali. I chimici si interessano poco a questo appello per i fenomeni celesti e gli astronomi non si occupano generalmente di chimica. La regione esplorata dai chimici è quella delle basse temperature dove dominano le molecole monoatomiche e poliatomiche. Il dominio che ho esplorato è quello delle alte temperature dove il mercurio ci dà gli stessi fenomeni del manganese. In una parola i cambiamenti valutati con l'analisi spettrale avvengono a una temperatura ben più alta di quelle impiegate nei lavori della chimica e ciò probabilmente perché posso citare solo un fatto sperimentale chimico su questo tema.

È importante, tuttavia, constatare che nei casi in cui i due ambiti di ricerca si incontrano, le determinazioni di densità di vapori e altri lavori sono stato in accordo con i risultati spettroscopici; è così che il cambiamento di densità di vapore dello iodio con la temperatura corrisponde a un cambiamento dello spettro.

Il peso specifico del vapore di iodio fu trovato, da Deville e Troost, essere 8,72 (aria = 1) ciò che corrisponde alla densità 125,9 dimostrando che una molecole, o due volumi di gas di iodio, pesano $125,53 \times 2 = 253,06$. Quando il vapore di iodio è riscaldato fino a 700°C , il suo peso specifico comincia a diminuire; a temperature più alte diviene costante; è allora uguale alla metà di quello che era a 700°C , essendo il vapore composto di atomi liberi¹.

Un altro argomento meno diretto in favore della dissociazione, indipendentemente dal cambiamento nell'intensità delle righe, era basato su alcune osservazioni che avevo fatto nella ricerca di un metodo spettroscopico atto a ridurre le impurità.

Evidenziai la presenza di ciò che chiamai: "righe basilari"²; erano righe corte che restavano comuni a due spettri o più a lungo dopo che le righe lunghe erano state eliminate come dovute a impurità.

Considero ora in successione questi diversi punti.

Le scanalature rappresentano le vibrazioni di molecole complesse

Analizzo dapprima il cambiamento dello spettro continuo, successivamente in scanalature e in righe, e come prova che la mia opinione a questo riguardo è generalmente accettata espongo le citazioni seguenti di Schuster e di Eder e Valenta.

"Che gli spettri discontinui di diversi ordini (spettri di righe e di bande) siano dovuti a differenti combinazioni molecolari, lo considero come perfettamente stabilito e l'analogia mi porta (e M. Lockyer con me) a spiegare gli

¹Victor Meyer, Ber. Deutsch. Chem. Ges., vol. XIII, p. 394, 1010, 1103; Meier e Crafts, Comptes Rendus, vol. XC, p. 690; vol. XCII, p. 39.

²Si è tradotto letteralmente il testo inglese "basic lines" che corrisponde a una teoria personale dell'autore, Il termine "basico" non si deve, quindi, intendere nella sua accezione chimica abituale. (Nota del traduttore nel testo in francese.)

spettri continui con la stessa causa. Poiché il cambiamento dello spettro continuo in spettro di righe o di bande ha luogo esattamente allo stesso modo del cambiamento di spettri di diversi ordini l'uno nell'altro³”.

“Più tardi Lockyer espose che i gas, le cui molecole si compongono di numerosi atomi, devono dare spettri di righe. Questa opinione è stata successivamente assai generalmente ammessa⁴.”

Sulla questione delle scanalature vi è stata da subito un accordo generale, ma sono state proposte speciali eccezioni, ad esempio, per il carbonio.

MM. Lieving e Dewar, nel 1879⁵, rigettarono come gratuita la mia ipotesi che i gruppi di scanalature del carbonio nel verde rappresentino raggruppamenti molecolari di una sostanza altra da quella che ci dà lo spettro di righe. Mostrai che le scanalature che MM. Lieving e Dewar attribuite ad un idrocarburo erano presenti nello spettro del tetracloruro di carbonio dove non vi è traccia di idrogeno. Tuttavia questa esperienza non li persuase a modificare la loro conclusione. Ma più tardi, avendola ripetuta, finirono per ammettere che “lo spettro della fiamma degli idrocarburi non comporta necessariamente la presenza dell'idrogeno⁶”, e, per quanto comprenda il loro articolo, essi sembrano accettare l'idea di diversi raggruppamenti molecolari che avevano trattato dapprima come gratuiti.

La complessità dello spettro di righe

La teoria secondo la quale lo spettro di righe è per noi la somma delle vibrazioni di numerosi gruppi di molecole non è accettata, così come ho detto. Le obiezioni sono una moltitudine e non è possibile riferirle qui tutte quante. Ma nello stesso tempo le opinioni di coloro che, partendo dall'uno o dall'altro punto di vista, hanno lavorato sul tema, vanno avvicinandosi alla mia e riferirò uno o due esempi.

L'attenzione è stata recentemente attirata sulle variazioni di aspetto delle righe del magnesio nei corpi celesti dal Dr. Scheiner, dell'Osservatorio di Potsdam, che sembra non aver conosciuto i miei lavori del 1879. Egli accetta tuttavia l'idea che queste variazioni ci forniscano una precisa indicazione della temperatura stellare⁷, e la impiega ora nel lavoro del suo osservatorio⁸.

I professori Eder e Valenta formulano così le conclusioni del loro studio sui cambiamenti dello spettro del mercurio: “D'altronde la comparsa dello spettro ricco di righe e molto brillanti ottenuto con una scintilla di bottiglie di Leyda ad alta tensione, essendo il tubo capillare nello stesso tempo riscaldato, e specialmente il cambiamento di un gran numero di nuove righe che si vedevano male in precedenza, il raddoppiamento di certe righe semplici, si armonizzano bene con la teoria di Lockyer, della dissociazione degli elementi, per coloro che sono pronti ad ammettere come possibile la dissociazione degli elementi chimici⁹.”

Sono felice di citare qualche l'opinione seguente di William Crookes, alla quale attribuisco un grande valore¹⁰.

“Fino a quando non si sia dimostrato qualche fatto inconciliabile con la teoria di M. Lockyer, noi crediamo di avere il diritto di aderirvi provvisoriamente, come ad una ipotesi da controllare costantemente con l'aiuto dei fenomeni osservati.”

Tengo a riferire qui l'opinione espressa dal mio collega, il professor sir William Robert-Austen, le cui ricerche sono state, per la maggior parte, fatte ad alte temperature:

“M. Lockyer ha fatto molto di più da allora: egli ha mostrato che l'intenso calore solare spinge molto più in là la semplificazione molecolare, e se noi confrontiamo gli spettri complessi dei vapori metallici prodotti alle più alte temperature ottenute quaggiù, con gli spettri molto semplici degli stessi metalli come esistono nella

³Schuster, Phil. Trans., 1879. parte I, vol. CLXIX, p. 39.

⁴Eder e Valenta, Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Vienna, vol. LXI, p. 426, 1894.

⁵Proc. Roy. Soc., XXX, p. 508.

⁶Proc. Roy. Soc., XXXIV, p. 123.

⁷Astronomical Spectroscope, traduzione Frost, p. 3.

⁸Il Dr. Scheiner espone che negli spettri di quasi tutte le stelle della classe I a (gruppo IV), la riga 4481 “appare generalmente larga, - così larga, in qualche spettro, come la riga dell'idrogeno; - ma la sua intensità decresce in proporzione esatta dell'accrescimento del numero di righe negli spettri stellari, in modo tale che è appena di una intensità media nello spettro del sole e negli spettri del tipo di α Orione”. Il mio primo lavoro del 1879, probabilmente sconosciuto al Dr. Scheiner, e MM. Lieving e Dewar beneficiano della scoperta dell'aspetto particolare di questa riga nelle esperienze di laboratorio. Il Dr. Scheiner aggiunge: “Il modo in cui l'aspetto di questa riga dipende dalla temperatura fa pensare che la temperatura dei vapori assorbenti nelle stelle della classe III a (gruppo II) sia qualcosa di analogo a quella dell'arco elettrico, mentre quella delle stelle della classe II a sia maggiore e quella delle stelle della classe I a sia almeno uguale a quella della scintilla elettrica ad alta tensione ottenuta con delle bottiglie di Leyda. Questa ipotesi riceve una conferma evidente dal modo del tutto diverso in cui si comporta la riga del magnesio a λ 4352, 18. Essa comincia a divenire visibile negli spettri del tipo I a (gruppo IV) che ha numerose righe; è forte negli spettri di tipo II a (gruppo III e IV) e aumenta divenendo la riga più intensa quando passiamo al tipo III a (gruppo II). Come hanno trovato Lieving e Dewar, questa riga mostra, in laboratorio, esattamente le stesse particolarità. Nello spettro di scintilla è difficilmente riconoscibile; nello spettro d'arco è molto intensa.”

I miei lavori recenti fanno pensare che il Dr. Scheiner ha torto nell'identificare la riga 4352, 18 del magnesio nelle stelle fredde con la riga che è quasi allo stesso posto nelle stelle calde. Nelle stelle calde questa riga si comporta quasi esattamente come la riga rafforzata del magnesio 4481 - 3 e ho in precedenza constatato che la riga della stella non poteva essere dovuta al magnesio a bassa temperatura.

Ciò è provato oggi dalla scoperta di una importante riga intensificata del ferro a 4251, 93 che gioca il ruolo della riga delle stelle calde, ciò che fortifica l'argomento del Dr. Scheiner.

⁹Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Vienna, vol. LXI, p. 429, 1894.

¹⁰Chem. News, 1879, vol. XXXIX, p. 65.

parte più calda dell'atmosfera solare, è difficile rigettare la conclusione che gli atomi chimici stessi siano stati modificati. La mia convinzione è che questi atomi "sono modificati e che il ferro, come esiste nel sole", non è il vapore di ferro come lo conosciamo quaggiù¹¹.

Le righe fondamentali

Per quanto riguarda la parte di questa ricerca consacrata alle righe fondamentali, penso di non andare troppo lontano dicendo che essa è stata universalmente respinta a causa di questo argomento principale che certe righe che appaiono semplici con il potere dispersivo di cui dispongo, apparirebbero doppie con un maggior potere dispersivo.

Ho detto, nella *Chimica del Sole* (p. 377) che questa non è un'obiezione decisiva, ma ho tralasciato questa parte della ricerca per qualche anno, nella speranza che qualche chimico volesse mettere in chiaro la questione delle impurità che ha provocato questa ricerca. Ma è evidente che questo punto di vista delle righe fondamentali – anche se le considero come un attacco meno diretto degli altri alla soluzione del problema, dopo che esso è stato posto - assume alla luce dei lavori recenti un interesse maggiore e più definito rispetto a prima. Non entrerà in questo momento nell'esame dettagliato della questione: mi accontenterò di domandare se una dimostrazione della dissociazione non prenderà una forma molto simile a quella che i chimici hanno intrapreso per una prova dell'esistenza delle impurità.

Ci ritornerò in seguito.

Altre ricerche attualmente in corso

Posso dire anche il parere che esisteva su questi punti uno o due anni fa. Nei capitoli seguenti, riferirò altri tentativi a proposito del problema della dissociazione; accumulando fatti, questi tentativi hanno fornito a me e a parecchi dei miei contraddittori una base più solida per l'argomentazione, non solo sul tema delle stelle, ma negli altri livelli di ricerca nei quali si fa appello all'idea della dissociazione per spiegare i fenomeni.

¹¹Proc. Roy. Soc., vol. XIII, p. 509, 1892.

Capitolo 9

La prova stellare

Vediamo ora se le teorie che credevano il sole in grado, - vi sono anni in cui non si sapeva nulla della chimica delle stelle - di permetterci di raggruppare i fenomeni solari in un insieme armonico e continuo, sono indebolite o intensificate dallo studio dell'enorme campo nuovo di indagine aperto dai lavori stellari recenti; questi lavori hanno finalmente assegnato al sole il suo posto in una lunga serie il cui studio ci permette di cogliere i fattori dell'evoluzione celeste che ha portato i cieli alla condizione nella quale li conosciamo.

Lo studio delle stelle ha considerevolmente accresciuto le nostre conoscenze, poiché ci ha rivelato una serie continua di cambiamenti spettrali che si producono a temperature più alte di quelle che il sole attualmente ci presenta.

Ciò ci permette, tra le altre cose, di assumere il sole come base e di chiederci ciò che avverrebbe se divenisse molto più caldo.

Vediamo dapprima questa ipotesi.

Affrontando questa parte dell'argomento è necessario procedere con grande prudenza poiché le cose osservate sono diverse. Per il sole, infatti, si osservano separatamente le sue diverse parti, mentre le osservazioni stellari ci presentano in blocco l'insieme di tutti gli effetti della radiazione e dell'assorbimento nel caso di ogni corpo considerato.

In ciò che riguarda le parti inferiori dell'atmosfera solare i fatti sono stati già dettagliati. Essi sono stati fissati sulle fotografie dell'eclissi del 1898.

Basandoci su questa serie di fatti inattaccabili, abbiamo trovato che l'assorbimento indicato dalle righe di Fraunhofer non è causato dalla cromosfera e che lo strato con l'assorbimento più forte si estende al di sopra della cromosfera.

Abbiamo pure visto che nella cromosfera ci troviamo, tra le righe di Fraunhofer, righe intensificate che sono principalmente righe d'arco. Cosa succederà allora se supponiamo il sole più caldo?

Non è possibile considerare i risultati di una temperatura più elevata se non con l'aiuto delle ipotesi. La prima, l'ipotesi ordinaria, è che gli elementi chimici sono indistruttibili, la seconda che non lo sono affatto. Nella prima sarà difficile dire quale cambiamento potrebbe verificarsi, in grado di alterare considerevolmente i caratteri dello spettro di Fraunhofer.

Abbiamo una miscela complessa di vapori di sostanze metalliche e di gas, con predominanza di calcio, idrogeno e di gas della cleveite. La temperatura non può far variare l'intensità relativa delle righe. *H* e *K*, le righe principali del calcio, devono sempre restare predominanti. Il ferro deve restare poiché non può essere distrutto. Non potendo essere aumentata la quantità di idrogeno e di gas della cleveite, le loro righe non possono divenire più importanti nello spettro.

È ugualmente chiaro, nell'ipotesi usuale, che un cambiamento di densità relativa non può essere prodotto da un aumento di temperatura. Le proporzioni relative delle sostanze chimiche presenti in ogni strato e, di conseguenza, le intensità relative delle righe che indicano l'esistenza di diverse sostanze nei differenti strati, non possono essere modificate.

Se assumiamo ora l'altra ipotesi, quella della dissociazione, vediamo, dalle esperienze di laboratorio, che ogni innalzamento considerevole di temperatura in tutte le masse di gas e di vapori del genere di quelli che formano la cromosfera solare e gli strati di inversione, corrisponde un cambiamento fondamentale nell'aspetto dello spettro. Le molecole complesse devono essere frazionate in molecole più semplici e ne risulta la comparsa, nello spettro, di nuove righe indicanti la vibrazione delle molecole così prodotte. Veniamo ora ai fatti. La temperatura dello strato assorbente viene ad essere aumentata: se la dissociazione avviene a questa temperatura, i prodotti di dissociazione devono divenire visibili, e dobbiamo cercarne le tracce nelle righe che si allargano alle spese di quelle che si contraggono e svaniscono. È ciò che incontriamo sperimentalmente? La risposta è evidente.

La cromosfera più calda e più bassa dello strato di inversione ne differisce per il fatto che è avvenuto questo cambiamento. Come abbiamo detto, discendendo nell'interno dell'atmosfera solare passiamo da righe d'arco

dello strato di inversione alle righe intensificate della cromosfera, dallo spettro d'arco allo "spettro campione", dai metalli ai protometalli.

Ciò che non si poteva avanzare vent'anni fa, a proposito di una o due righe, è provato ora per tutta una serie di righe; l'argomento a favore della dissociazione si rafforza ad ogni verifica che si cerca.

Vediamo in seguito se le prove stellari appoggiano la nostra ipotesi; posso qui tracciare solo un semplice abbozzo dei fatti principali. Se, nel sole, la cromosfera è più calda dello strato di inversione, in una stella un poco più calda del sole, lo strato di inversione che determina l'assorbimento della stella deve assomigliare alla cromosfera. Ho già constatato questi fatti a proposito di α Cigno, Esaminiamoli con l'aiuto dell'ipotesi della dissociazione.

Abbiamo la prova assoluta che la temperatura nello strato di inversione di α Cigni è superiore a quello dello strato di inversione del sole. Cosa ci troviamo infatti?

Tra le righe che scompaiono abbiamo quelle d'arco del ferro nel numero di alcune migliaia, quelle del calcio, del magnesio, ecc.

Tra le righe la cui importanza cresce ne abbiamo un piccolo numero corrispondente alle righe intensificate del ferro, alle righe dell'idrogeno, e a qualche altra che non si può attribuire ad alcuna sostanza nota. Abbiamo, pertanto, una serie di fenomeni che, ammettendo il nostro sistema, si spiegano semplicemente e sufficientemente con la sostituzione - nel momento del passaggio da una temperatura come quella del sole a quella di α Cigni - di uno spettro semplice di righe intensificate allo spettro complesso delle righe del ferro. Altre ricerche mostrano che gli altri spettri metallici si comportano allo stesso modo. Tra le righe la cui importanza cresce mentre quella delle altre si riduce, abbiamo quelle dell'idrogeno.

Pertanto, a livelli molto diversi della scala delle temperature, il sole e le stelle sono nello stesso caso. La stella alla stadio di temperatura immediatamente superiore a quella del sole ha il suo strato di inversione caldo come la cromosfera solare. Lo stesso spettro campione serve per entrambe. E io stimo che la dissociazione spieghi semplicemente e sufficientemente questo fatto che è della massima importanza.

Ma il sole non ci può portare più lontano. Le stelle ci consentono però di procedere oltre.

Se consideriamo i cambiamenti che intervengono ai livelli superiori della scala di temperatura, essendo quello di α Cigni il livello più basso al quale saremmo arrivati, abbiamo prove indipendenti che le stelle dette Orione sono più calde delle stelle analoghe a α Cigni.

Studiando la temperatura di dissociazione più elevata che si ha nelle stelle di Orione, possiamo applicare rigorosamente tutto quanto abbiamo stabilito sugli argomenti dei cambiamenti dello spettro che potrebbero verosimilmente verificarsi nell'ipotesi della non dissociazione. Alcuni cambiamenti non dovrebbero avvenire nell'intensità relativa delle righe e l'aspetto dello spettro non sarebbe fundamentalmente modificato.

Nell'ipotesi della dissociazione, al contrario, se vediamo scomparire certe righe indicatrici di certe sostanze mentre altre righe indicanti altre sostanze fanno la loro prima apparizione (o, se esse erano visibili in precedenza e aumentano poi di intensità), diremo che abbiamo l'occasione di studiare gli effetti dell'intervento di nuove forze dissocianti.

Vi è ora un qualsiasi cambiamento? Infatti l'aumento di temperatura considerato è accompagnato da una estinzione progressiva delle righe intensificate, da un aumento dell'idrogeno, con comparsa per la prima volta delle righe del gas della cleveite, dell'ossigeno, dell'azoto e del carbonio.

Associando queste due constatazioni, abbiamo una prova netta che un aumento delle righe dei gas nello spettro accompagna la scomparsa delle righe intensificate, così come lo sviluppo di queste aveva accompagnato la riduzione delle righe d'arco. Prendendo, per maggiore semplicità, il ferro come esempio, si vedrà che questi fenomeni stellari avrebbero potuto essere previsti fino ad un certo punto con la considerazione dei fenomeni del sole e di laboratorio. Ma le stelle ci portano oltre le nostre previsioni; vediamo l'aumento progressivo dell'idrogeno e dei gas della cleveite. I fatti mostrano che l'idrogeno aumenta con la temperatura nello stesso tempo che appaiono i gas della cleveite prima invisibili, e che sostituisce infine con esse il ferro che scompare.

È una delle grandi rivelazioni stellari e ci si deve ricordare che abbiamo attualmente centinaia di fotografie che possiamo confrontare per studiare questi cambiamenti gradualmente. Non vi sono "faglie nel terreno". Per me una delle più grandi meraviglie in queste ricerche è la semplicità unita alla continuità dei fenomeni. Il convincimento ne deriva.

Per i metalli che esistono alla temperatura dell'arco, questa ipotesi ammette che essi sono frazionati in forme più sottili che abbiamo chiamato "protometalli", quando essi raggiungono il quarto livello di temperatura (quello della scintilla ad alta tensione), livello che fornisce lo spettro intensificato.

Allo stesso modo i protometalli sono a loro volti frammentati a temperature che non possiamo raggiungere nei nostri laboratori per assumere forme gassose più semplici tra le quali si trovano i gas delle cleveite, l'ossigeno, l'azoto, il carbonio e altri.

La storia finisce lì? No, vi è ancora un livello più elevato. Dopo che i gas della cleveite sono scomparsi come avevano fatto in precedenza a livelli inferiori le righe d'arco e le righe intensificate, la nuova forma di idrogeno che ho già segnalato e possiamo considerare come del "protoidrogeno" fa la sua comparsa.

Ma vi sono già delle prove che le semplificazioni create dalle temperature stellari trascendono quanto discutiamo e non si fermano.

Bisogna sempre ricordare che la bobina Spottiswoode (che dà una scintilla di 40 pollici) con una formidabile batteria di condensatori ci porta fino alla γ del Cigno. Voglio dire che con questa bobina otteniamo le righe intensificate dei protometalli aventi una intensità molto vicina a quella con la quale queste righe appaiono in questa stella.

Così, nelle stelle, noi abbiamo un piccolo numero di cambiamenti spettrali distinti. Questi cambiamenti, noi lo sappiamo, d'altronde, dall'allungamento dello spettro verso l'ultravioletto, accompagnano aumenti di temperatura. È del tutto naturale supporre che questi incrementi di temperatura producano delle semplificazioni crescenti. Di conseguenza, i cambiamenti che possiamo studiare ora nei corpi stellari, risalendo a partire dal sole la scala delle temperature, ci danno la successione dei cambiamenti spettrali sui quali è stata basata la nuova classificazione chimica (Cap. VII).

Se la dissociazione non è la causa di questi cambiamenti, dove troveremo un'altra ragione così semplice e soddisfacente?

È ben chiaro che i fenomeni osservati con ogni innalzamento di temperatura, cioè in una serie di stelle i cui spettri si estendono progressivamente sempre più verso l'ultravioletto, saranno estremamente diversi a seconda che gli elementi saranno dissociati oppure che rimarranno inalterati.

Il solo cambiamento che possiamo immaginare nell'ipotesi usuali, come risultante da un accrescimento di temperatura, è che con l'aumento del volume, vi sia una riduzione della densità, e che tutte le righe siano ugualmente indebolite. È esattamente il contrario di quanto avviene.

Si potrebbe dire che, in conseguenza dell'esistenza di una temperatura molto elevata nelle stelle più calde, l'idrogeno e i gas della cleveite sfuggano dalla massa dei vapori metallici e vadano a costituire essi soli un'atmosfera superiore; in conseguenza della semplicità chimica maggiore dello strato così formato, le righe delle sostanze che lo compongono diverranno più importanti. Ma questo argomento non è razionale perché non abbiamo alcun diritto di affermare un simile cambiamento. Questi gas esistono già nel sole e non ci danno alcuna segno della loro esistenza ad una grande altezza al di sopra della cromosfera. Il gas che esiste in queste regioni elevate è un gas sul quale non sappiamo nulla, finora, sulla terra, e del quale non è stata trovata alcuna traccia nello spettro delle stelle più calde.

Penso, pertanto, che le stelle giustificano pienamente il mio appello alla legge di continuità. Il loro verdetto è che, secondo tutte le attuali esperienze umane, una temperatura più elevata produce semplificazioni più grandi e che non è sorprendente che le nuove ricerche, allargando il nostro orizzonte, ci mettono in presenza degli effetti della legge stessa.

Abbiamo, infatti, in questi fenomeni, che la dissociazione si manifesta ai nostri occhi nelle stelle più calde, fino ad un grado raggiungibile da nessun'altra parte; le stelle ci insegnano così ciò che è possibile al di là dei mezzi dei nostri laboratori, poiché la temperatura più alta impiegabile ci porta ad uno stadio pari solo a quella della temperatura di α Cigni, stelle dove i gas della cleveite mostrano solo deboli tracce, qualora siano visibili.

Siamo, quindi, infine portati a considerare il fatto che il ferro è un composto nella formazione ultima nella quale possono entrare l'idrogeno o i gas della cleveite o, forse, entrambi.

Capitolo 10

Le prove tratte dalle “Serie”

Introduzione

Ho già definito il significato del termine “serie” e segnalato come una delle più importanti scoperte di questi ultimi anni ci permette di studiare gli spettri da un nuovo punto di vista. Mi propongo, in questo capitolo, di trattare questo argomento nel suo aspetto più generale e di ricercare se questo nuovo metodo di indagine ci offre indicazioni o fatti utili per la discussione dell’ipotesi della dissociazione.

In altre parole, la nuova prova fornita dalle serie rafforza l’idea, come quella che scaturisce dallo studio degli spettri stellari, che gli spettri di righe dei cosiddetti elementi chimici sono prodotti non da una sola, ma da parecchie particelle vibranti?

Per spiegare quello che significa questo termine “serie”, inizio con lo studiare ciò che si indica con spettri scanalati. Ne ho parlato e prodotto fotografie. Queste scanalature sono disposte in un modo perfettamente regolare da un estremo all’altro. L’insieme di una scanalatura può essere visto come una unità. Essa è generalmente più forte verso l’estremità destra dello spettro (il rosso), divenendo i suoi elementi gradualmente più confusi avanzando verso il violetto. Lo si vedrà nella fotografia, non ritoccata, di alcune scanalature dello spettro dell’azoto (fig. 30).

Ma una scanalatura è generalmente più complessa: essa è costituita da scanalature accessorie. Ognuna delle sue suddivisioni è essa stessa, in piccolo, una rappresentazione quasi esatta dell’insieme. Le scanalature composte sono ben rappresentate nel caso del carbonio e del magnesio (si vedano le figg. 9 e 10). In tutti i casi abbiamo una regolarità perfetta, sebbene in certi casi vi sia, in apparenza, sovrapposizione di altre righe e il sistema in genere divenga più intenso verso l’estremità rossa dello spettro.

Ora, quando lasciamo queste scanalature per studiare uno spettro di righe comune la regolarità sembra in molti casi essere scomparsa. Non vi è, in apparenza, né legge né ordine. È quanto si vede nelle serie osservate nello spettro dei gas della cleveite che ho già presentato nella figura 11.

Ma andiamo oltre e confrontiamo le serie con lo spettro così come si osserva comunemente. Prendiamo le righe che si vedono esponendo i gas estratti dal minerale cleveite sotto l’azione di una forte corrente elettrica. Non osserviamo alcuna regolarità e sembra che la distribuzione sia molto irregolare (figura 31).

Devo dire che ho sempre avuto l’abitudine, nelle illustrazioni che riproducono gli spettri, di mettere il rosso a destra e il violetto a sinistra. Siccome la maggior parte di quelli che si occupano di serie fanno il contrario, poiché essi considerano il numero di onde e non la loro lunghezza, mi discosterò in questo capitolo dalla mia abitudine e porrò il rosso a sinistra negli spettri, di modo che tutte le figure delle serie possano essere confrontabili tra loro.

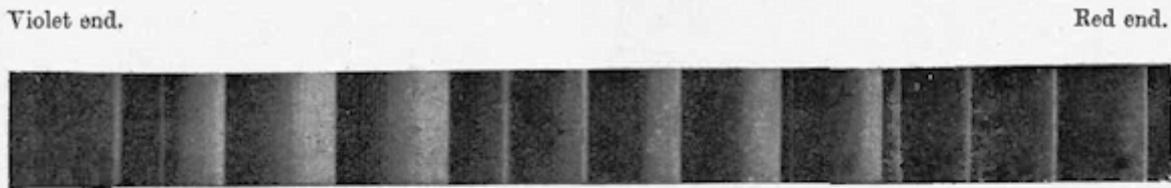


FIG. 30.—Simple flutings of nitrogen.

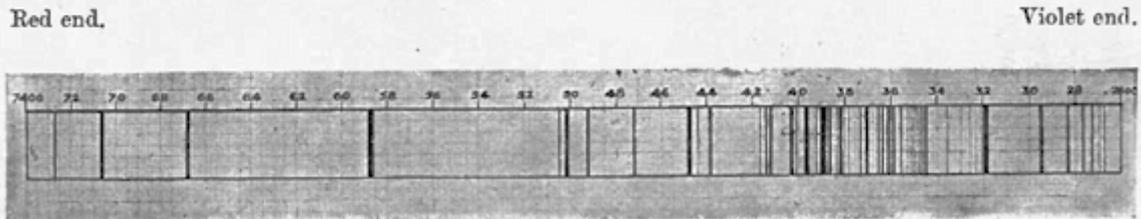


FIG. 31.—Spectrum of the cleveite gases.

MM. Runge e Paschen hanno mostrato in un modo decisivo che, quando giungiamo a risolvere queste righe in serie, abbiamo la stessa regolarità del caso delle scanalature.

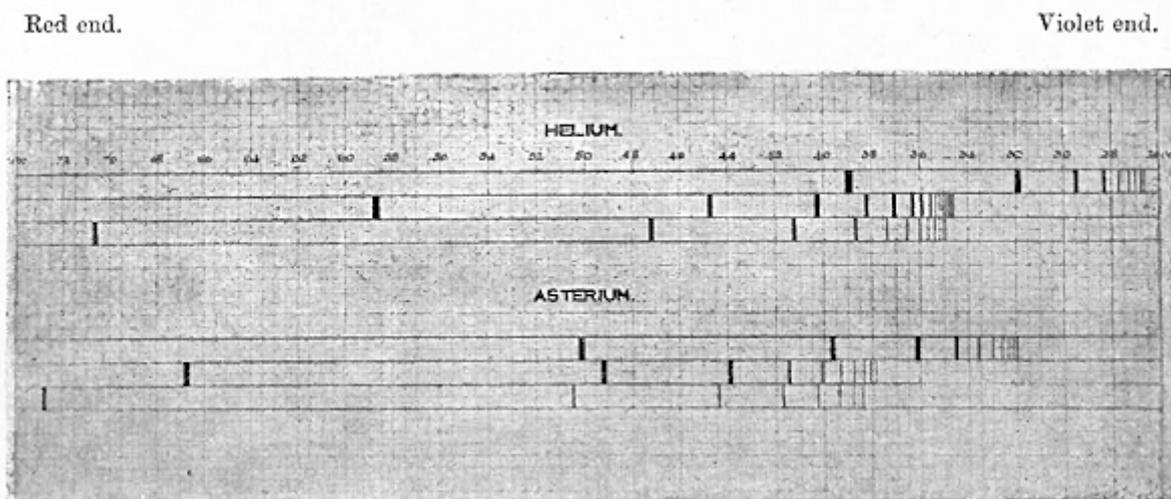


Fig. 32 - Spettro dei gas della cleveite distribuito in sei serie regolari

La figura 32 ci mostra come le righe della figura 31 sono state tutte risolte in due gruppi di tre serie che gradualmente si fanno più serrate verso il violetto e più evidenti verso il rosso. Analizzate in tal modo, le irregolarità dello spettro di righe si trasforma in un ordine meraviglioso. Ho esposto l'idea, parecchi anni fa, che i triplette che si vedono nello spettro comune di righe di una sostanza, possono essere in realtà il residuo di scanalature composte e ricerche come queste sembrano ben giustificare questa conclusione.

Arriviamo alla conclusione che il termine "serie" si applica a righe che hanno la stessa origine. È impossibile supporre che queste serie di righe meravigliosamente ordinate non abbiano una relazione tra loro; e dato questo, dobbiamo studiare le loro lunghezze d'onda, cioè le loro posizioni nel caso di ogni elemento per trovare e definire la legge delle loro relazioni e inoltre per vedere se esiste qualche relazione tra le righe di diversi elementi.

Breve storia

La storia di queste ricerche è del tutto moderna, ma, per quanto breve sia, mi propongo di riferirla il più brevemente possibile.

Il primo tentativo di scoprire relazioni tra le righe degli spettri fu compiuto da M. Lecoq de Boisbaudran¹, che studiò lo spettro dell'azoto. Le conclusioni alle quali giunse lo condussero a pensare che le leggi delle vibrazioni

¹Comptes Rendus (1869), vol. LXIX, p. 694.

luminose delle molecole potevano essere avvicinate alle leggi dell’acustica; ma poiché esse non erano basate su determinazioni di lunghezze d’onda molto precise, né confermate da Thalen, non si attribuì grande peso a tale conclusioni.

Stoney², che proseguì queste indagini, ebbe maggior successo. Egli mostrò che le righe dell’idrogeno C , F , e h erano legate dalla relazione $20 : 27 : 32$.

Parecchi altri ricercatori – Reynolds, Soret, ecc - ripresero l’argomento, ma fu abbandonato dalla maggior parte a seguito del lavoro fatto da Schuster³ per mostrare che questa teoria non poteva più esprimere le leggi delle relazioni reciproche delle lunghezze d’onda delle righe spettrali.

Liveing e Dewar⁴ richiamarono l’attenzione sul fatto che la distanza tra due righe consecutive di questi raggruppamenti decresceva con la diminuzione delle lunghezze d’onda, di modo che, talvolta, le righe si avvicinavano asintoticamente a un limite. “Armonica” era il termine di cui si servivano per definire una tale serie di gruppi simili di righe.

È il lavoro di Balmer che dette a queste ricerche lo slancio che consentì i grandi progressi di questi ultimi anni.

Balmer⁵ pubblicò una formula grazie alla quale le posizioni delle righe dell’idrogeno potevano essere calcolate con una meravigliosa precisione.

La formula è la seguente:

$$\lambda = A \frac{n^2}{n^2 - 4}$$

dove λ è la lunghezza d’onda nel vuoto della riga da calcolare, A una costante comune a tutte le righe e n uno dei numeri da 3 a 15.

La costante A secondo le misure di Cornu è 3645,42 unità Angstrom, o, servendosi del valore più corretto di Ames, 3647,20 unità Angstrom.

Nel tempo in cui Balmer faceva questa scoperta, Cornu⁶ propose che le righe dell’alluminio e del tallio, che sono facilmente invertibili, avessero una relazione definita con quelle dell’idrogeno, mentre, Delandres⁷ pubblicò una formula che permetteva di calcolare le lunghezze d’onda delle righe che componevano le bande di numerosi elementi. Questa breve storia ci porta fino al 1887, dove Kayser e Runge⁸ iniziarono la serie delle loro minuziose ricerche su un grande numero di elementi. Fu anche all’incirca in questo periodo che Rydberg⁹ iniziò ad affrontare questo argomento.

Il lavoro di Kayser, di Runge e di Rydberg

Stabilirò in modo generale le basi dei loro lavori. Essi affrontarono la questione matematicamente partendo da posizioni differenti. Nella tabella seguente presento le formule impiegate da Kayser e Runge e quella impiegata da Rydberg.

Le formule non sono identiche da tutti i punti di vista, ma entrambe si riferiscono alla frequenza delle onde, cioè al numero di onde contenute nell’unità di lunghezza. Kayser, runge e Rydberg impiegano certi simboli per rappresentare i numeri interi successivi di cui ci si deve servire per determinare alcuni dei loro termini, e impiegano, inoltre, certe costanti che sono calcolate per ogni serie. La parte più interessante è che Rydberg trovò una costante che può servire per la ricerca delle serie di righe negli spettri di *tutti* gli elementi chimici sui quali egli ha lavorato. Kayser e Runge non si servono di una costante comune analoga a quella di Rydberg, ma trovarono che alcune delle loro costante variavano poco da un elemento all’altro.

²Phil. Mag. (1871), [4], vol. XLI, p. 291.

³Brit. Assoc. Report, 1880. Proc. Royl. Soc., 1881, vol. XXXI, p. 337.

⁴Phil. Trans. (1883), p. 213 e precedenti.

⁵Wied. Ann. 1885, vol. XXV, p. 8.

⁶Comptes rendus, 1885, vol. C, p. 1181.

⁷Ibid., 1886, vol. CIII, p. 375 (1887), vol. CIV, p. 972.

⁸Ueber di Spectre der Elemente, Abhandlungen d. k. Akad. Berlino, 1888, 1889, 1890, 1891, 1892, 1893.

⁹Svneka, Vetenska. Akad. Hanringar. Stoccolma, 1890, vol. XXIII, n° 11, Wied. Annalen, 1893, vol. L, p. 629, 1884, vol. LII, p. 119.

Kayser e Runge

$$\frac{1}{\lambda} = A + Bn^{-2} + Cn^{-4}$$

dove λ = lunghezza d'onda o $\frac{1}{\lambda}$ è la frequenza delle onde con $n = 3, 4, 5, \dots$

A, B, C costanti calcolate per ogni serie.

Le costanti per la serie principale sono diverse da quelle impiegate nelle serie secondarie.

Per le serie secondarie di ogni elemento la costante A è quasi identica.

Per tutte le serie di tutti gli elementi la costante B non varia più del 22%.

La costante B corrisponde a N_0 di Rydberg

Rydberg

$$n = n_0 - \frac{N_0}{(m+\mu)^2}$$

dove n = frequenza delle onde $m = 1, 2, 3, \dots$

$N_0 = 109721,6$ (costante applicabile a tutte le serie di ogni elemento)

n_0 = costanti caratteristiche varianti con μ ogni serie

Nella formula sopra quando $m = \infty$, $n = n_0$; n_0 è il limite verso il quale tende la frequenza n quando m è infinito.

Rydberg suppose N_0 costante, poiché esso varia solo di poco, ma queste variazioni possono essere dovute all'incertezza dei dati

Con questo metodo essi hanno ottenuto non solo il primo termine di una serie, ma la serie intera per tutta la lunghezza dello spettro; quando le osservazioni erano state fatte nel caso di diversi elementi, potevano naturalmente controllare i loro calcoli con l'aiuto delle osservazioni e vedere come la teoria era giustificata dall'estensione delle osservazioni. La prima riga di una serie deve essere considerata come confrontabile al suono fondamentale in musica. Essa rappresenta realmente la più grande lunghezza d'onda luminosa, così come il suono fondamentale rappresenta la più grande lunghezza d'onda sonora.

Le due serie di risultati ottenuti da Kayser e Runge e da Rydberg ci mostrano che in molti casi possiamo essere quasi certi di trarre dal caos delle righe di una sostanza qualunque due o tre belle serie regolari come quelle trovate nei gas della cleveite. La tabella allegata mostra una piccola differenza esistente nella nomenclatura impiegata da questi ricercatori.

Intensità	Kayser e Runge	Rydberg
La più forte	Serie principale	Serie principale
Più debole	1 ^a serie secondaria	Serie nebulosa
La più debole	2 ^a serie secondaria	Serie stretta

Essi hanno posto le righe più forti osservate alle temperature alle quali operavano, in quella che chiamano “una serie principale” e distribuendo poi le righe più deboli nelle due altre serie.

Kayser e Runge le hanno chiamate *prima* e *seconda* serie secondarie. Rydberg le chiama *serie nebulosa* e *serie stretta*.

Le righe della serie principale si invertono quasi sempre molto facilmente, cioè che l'assorbimento è indicato da esse molto meglio che per le altre righe.

Quando arriviamo alla seconda serie subordinata o serie fine, si trova che queste righe si allargano talvolta verso l'estremità rossa dello spettro.

Questo lavoro naturalmente ha richiesto notevoli ricerche. I primi tentativi non erano molto soddisfacenti, poiché le osservazioni sulle quali erano basati non erano sufficientemente precise.

Con una maggiore dispersione si è trovato che alcune delle righe dapprima supposte semplici erano in realtà doppie.

Così è d'uso ancora adesso, quando si considera questa questione delle serie, di supporre che, in certi casi, le serie sono composte di righe semplici, in altri casi, di doppietti e triplette. Si era dapprima immaginato che queste variazioni ci mettevano in presenza di differenze fisiche molto importanti tra i diversi elementi, ma Rydberg ha pensato che era forse solo una differenza puramente ottica.

Egli disse¹⁰: “La differenza tra i doppietti e i triplette è solo relativa. Questa opinione è confermata dal fatto che i triplette apparivano spesso sotto forma di doppietti, non essendo la componente più rifrangibile così intensa da poter essere visibile. Inoltre, l'intensità relativa delle componenti dei doppietti sembra uguale a quella delle due componenti meno rifrangibili dei triplette.

Per questo motivo, credo di poter supporre che le due specie di raggi componenti sono dello stesso ordine, o che i doppietti sono triplette la cui componente più rifrangibile è troppo debole per essere vista o ha un valore assoluto zero”.

Se le righe sono più difficili da vedere e se le sottoserie sono più forti sia verso il rosso, sia verso il violetto, vedremo allora piuttosto una riga che due e piuttosto due che tre.

A proposito di questa supposizione fatta da Rydberg, è interessante notare che il professor Kayser non è disposto a sostenere la stessa opinione e che non considera i triplette, doppietti, o righe semplici di una serie

¹⁰Kon. Sv. Vet. Ak. Hand., vol. XXIII, II, p. 135.

come residue di scanalature di cui le altre componenti sarebbero troppo deboli per essere viste. Sottolinea che abbiamo doppietti per gli elementi della prima colonna verticale della classificazione di Mendeleiev; per la seconda colonna dei tripletti, per terza dei doppietti. Siccome la prima colonna contiene elementi monovalenti, la seconda bivalenti, la terza trivalenti, sembra che gli elementi a valenza dispari abbiano doppietti, quelli a valenza pari tripletti. Ciò è confermato dai tripletti dell'ossigeno, dello zolfo e del selenio, che appartengono alla sesta colonna con valenze pari.

Come in tutti i gruppi naturali di elementi, i primi tra loro mostrano più fortemente le serie e queste diventano più deboli al crescere del peso atomico. (Così, nel gruppo alcalino, non vedremo la seconda serie secondaria, troppo debole di rubidio e cesio; nel gruppo rame, argento, oro, non vedremo serie per l'oro; nel gruppo magnesio, calcio, stronzio, bario, la seconda serie è già debole per il bario e non le vedremo per lo stronzio). Nell'ipotesi di Rydberg, ci dovremo aspettare di trovare, negli spettri di ogni gruppo, dapprima tripletti, poi doppietti, infine righe semplici. Ma non è così. Lontano fin quando possiamo seguire la serie, vediamo che le sue componenti sono e restano tripletti o doppietti.

Vi è solo un piccolo numero di elementi chimiche che ci danno righe semplici. Nelle serie principali, fin qui conosciamo solo l'elio e l'asterio. Nelle serie secondarie, conosciamo solo l'asterio. Il numero dei doppietti è molto maggiore, ma non è così grande per le serie principali come per le serie subordinate. Ma sebbene abbiamo nove elementi che danno tripletti nelle serie subordinate, ne abbiamo solo tre nelle serie principali. Questi risultati sono messi in evidenza nella tabella seguente, tura impiegata da questi ricercatori.

Righe semplici		Doppietti		Tripletti	
Serie principale	Serie secondaria	Serie principale	Serie secondaria	Serie principale	Serie secondaria
Elio Asterio	Asterio	Idrogeno? Litio? Sodio Potassio Rubidio Cesio	Elio Idrogeno Litio? Sodio Potassio Rame Argento Alluminio Indio Tallio	Ossigeno Zolfo Selenio	Ossigeno Zolfo Selenio magnesio Calcio Stronzio Zinco Cadmio Mercurio

Vi è modo di indicare la base di queste constatazioni; a questo scopo la figura 33 mostra una parte molto piccola degli spettri di tre diversi elementi affinché si possa seguire il modo in cui è stato compiuto questo lavoro. Nella banda orizzontale in basso, abbiamo dello zinco e il modo in cui i tripletti sono stati tracciati è facile da cogliere. La linea media del tripletto è più vicino a uno dei bordi che all'altro. Tutti i tripletti nello zinco sono perfettamente simili a questo riguardo. Se prendiamo lo spettro del calcio, vediamo anche che i tripletti sono formati allo stesso modo. Possiamo così apprezzare l'enorme lavoro che hanno intrapreso i ricercatori che ho nominato, risolvendo, negli spettri di un gran numero di sostanze e in tutte le regioni dello spettro visibile e fotografabile, questi tripletti poco visibili. In molti casi non sono righe molto forti e visibili facilmente, e per alcuni vi è una grande difficoltà nel distinguerli.

Queste indagini mostrano che, in qualche caso, le serie hanno riprodotto i raggruppamenti chimici, ma in altri casi i raggruppamenti dovuti alle serie sono molto diversi da quelli chimici.

Ecco i fatti verificati finora:

- Gruppo I - Litio, sodio, potassio, rubidio, cesio
- Gruppo II - Rame, argento, (oro?)
- Gruppo III - Magnesio, calcio, stronzio
- Gruppo IV - Zinco, cadmio, mercurio
- Gruppo V - Alluminio, indio, tallio

Nel gruppo del litio, sodio, potassio, le serie danno una sequenza che coincide assolutamente con la sequenza chimica, ma quando arriviamo al gruppo chimico - calcio, stronzio, bario - le troviamo sostituite da un gruppo magnesio, calcio, stronzio, mentre il bario manca. Questo è uno scarto significativo e mostra che dobbiamo prendere in considerazione le condizioni variate che osserviamo passando da un gruppo all'altro.

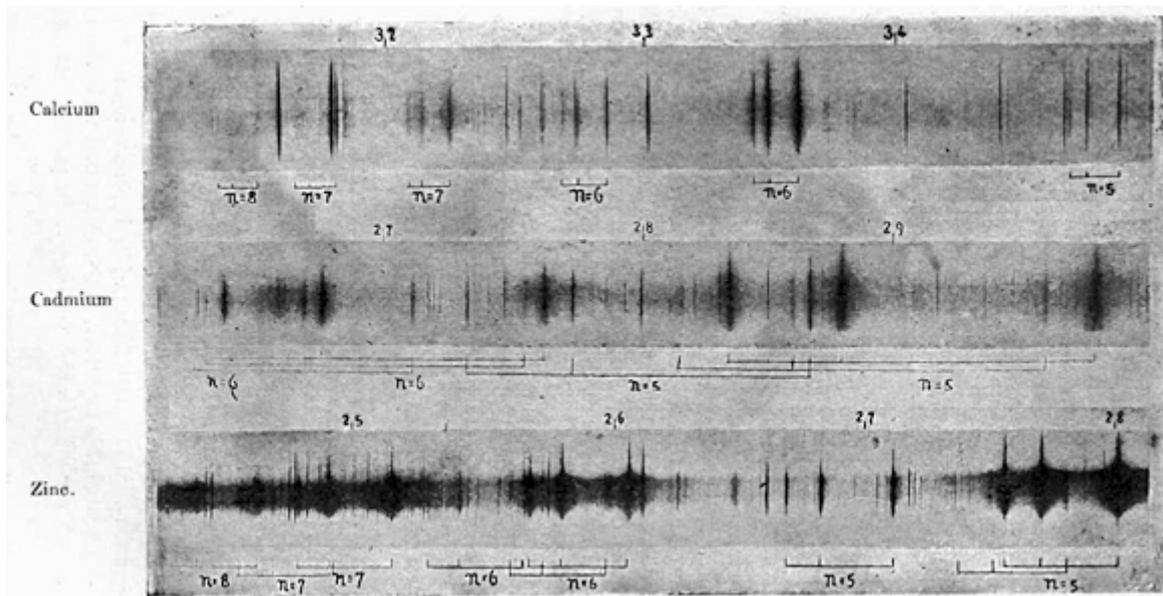


Fig. 33 - Parti degli spettri del calcio, cadmio e zinco mostrandoti i tripletti

Da *gruppo a gruppo*, le serie avanzano verso il violetto al crescere del peso atomico. È così che, poiché il limite di una serie è rappresentato dalla prima costante della prima serie secondaria dei quattro gruppi, la lunghezza d'onda limite teorica sarà compresa:

Tra 3498,2 e 5065,1 per il litio, sodio, potassio, rubidio, cesio.

Tra 3168,6 e 3256,0 per il rame, argento, oro

Tra 2512,8 e 3222,6 per il magnesio, calcio, stronzio

Tra 2328,5 e 2490,1 per zinco, cadmio, mercurio.

In *ogni gruppo* lo spettro avanza continuamente verso il rosso con l'aumento del peso atomico. La distanza tra le componenti dei doppietti e dei tripletti aumenta pure con il peso atomico di modo che per ogni gruppo questa distanza è approssimativamente uguale al quadrato del peso atomico.

Le irregolarità osservate

Ciò che precede renderà conto di nuove ricerche sotto il loro aspetto più generale.

Evidenziamo che arriviamo ora alle più meravigliose irregolarità. Incontriamo alcuni elementi aventi parecchie serie, altri dove non è stata scoperta alcuna, variando il numero di serie pure nei gas.

Per i metalli, Kayser ha esposto l'idea che il punto di fusione potrebbe avere qualche rapporto con il fenomeno osservato, cioè che più il punto di fusione è alto, più debole è, in generale, la proporzione di righe che è possibile distribuire in serie.

La tabella seguente lo mostra:

Elemento	Punto di fusione (centigradi)	Proporzione delle righe in serie
Bario	1600	0
Oro	1200	4
Rame	1050	6
Argento	960	26
Stronzio	700	20
Calcio	700	34
Magnesio	600	64
Zinco	410	80
Cadmio	320	50
Litio	180	100
Sodio	90	100
Cesio	62	100
Potassio	58	100
Rubidio	38	100
Mercurio	-40	27

La tabella generale che segue mostrerà ciò che riguarda i diversi aspetti finora noti. Gli elementi metallici sono distribuiti nell'ordine dei gruppi di Mendeleiev e le irregolarità per quanto riguarda il numero totale delle serie, delle serie principali, la natura semplice o composta delle righe di ogni serie, e la proporzione delle righe distribuite nelle serie si vedranno con la semplice osservazione della tabella.

A proposito dell'assenza delle serie principali constatata nel caso dello zinco, del cadmio, del mercurio, si può notare che, in ognuno di questi casi, una riga invertita molto forte e grande nell'ultravioletto può rappresentare la serie principale. Nel caso del rame, dell'argento e dell'oro, ognuno di questi elementi contiene nell'ultravioletto una copia di righe molto forte che può rappresentare la serie principale.

	GROUPES DE MENDELEEFF	POIDS ATOMIQUES	NOMBRE DE SÉRIES	NOMBRE DES SÉR. PRINCIP.			SÉRIE PRINCIPALE			1 ^{er} ET 2 ^e SECONDAIRES			POURCENTAGE TOTAL DES RAIES RELEVÉES PAR K ET R	POURCENTAGE DES RAIES D'INTENSITÉ 10 RELEVÉES EN SÉRIES	POINT DE FUSION DEGRÉS CENTIGRADES
				1	2	3	Simplets.	Doublets.	Triplets.	Simplets.	Doublets.	Triplets.			
Hydrogène..	...	1	3	1	..	..	..	..	..	..	100	100	..
Hélium.....	...	.....	2	1	..	..	..	..	..	..	100	100	..
Astérium....	...	.....	3	1	..	..	..	..	..	..	100	100	..
Lithium.....	I	7	3	1	..	..	..	..	..	..	100	100	180
Sodium.....	I	23	3	1	..	..	..	..	..	..	100	100	90
Potassium...	I	39	3	1	..	..	..	..	..	..	100	100	58
Rubidium...	I	85,2	1	1	..	..	..	..	..	..	100	100	38
Cæsium.....	I	13,3	1	1	..	..	..	..	..	..	100	100	62
Cuivre.....	I	63,4	2	0	..	..	..	..	..	..	6	..	1080,5
Argent.....	I	107,6	2	0	..	..	..	..	..	..	26	..	960
Or.....	I	196,7	0	0	..	..	..	..	..	..	?	..	1061,7
Magnésium..	II	24,3	2	0	..	..	..	..	..	..	64	55	600
Calcium.....	II	39,9	2	0	..	..	..	..	..	..	34	17	700
Strontium...	II	87,4	2	0	..	..	..	..	..	..	20	7	700
Baryum.....	II	136,8	0	0	..	..	..	..	..	..	..	..	475
Zinc.....	II	65,1	2	0	..	..	..	..	..	..	80	43	410
Cadmium...	II	111,7	2	0	..	..	..	..	..	..	50	14	320
Mercuré.....	II	199,8	2	0	..	..	..	..	..	..	27	12,5	-40
Aluminium..	III	27	2	0	..	..	..	..	..	..	..	25	654,5
Indium.....	III	113,7	2	0	..	..	..	..	..	..	..	23	176
Thallium....	III	203,7	2	0	..	..	..	..	..	..	..	17	282
Étain.....	IV	117,6	0	0	..	..	..	..	..	..	..	..	232
Plomb.....	IV	206,4	0	0	..	..	..	..	..	..	..	..	326
Arsenic.....	V	74,9	0	0	..	..	..	..	..	..	..	..	450
Antimoine..	V	119,6	0	0	..	..	..	..	..	..	..	..	629,5
Bismuth....	V	207,5	0	0	..	..	..	..	..	..	..	..	270
Oxygène....	VI	15,88	6	(2)	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Soufre.....	VI	31,8	3	1	..	..	..	..	..	..	..	..	114
Sélénium...	VI	78,5	3	1	..	..	..	..	..	..	..	..	217

Giunto a questo punto del nostro studio, penso che sia buona cosa rimarcare che se tutti gli atomi vibranti, che producono gli spettri degli elementi chimici, fossero ricondotti alla stessa condizione di massima semplicità; se, in altre parole, avessimo veramente a che fare con l'atomo chimico propriamente detto, in ogni caso, ci si potrebbe difficilmente attendere le irregolarità che abbiamo trovato.

Qualche dettaglio

Entro ora maggiormente nel dettaglio di qualche elemento per costruire dei confronti e vedere dove ci portano i loro risultati.

Il caso più notevole è quello dell'idrogeno. Non ne conosciamo ancora il significato, ma dobbiamo tenerne conto quando studiamo queste questioni. Perfino in questi ultimi tempi si conosceva di questo gas solo una serie

e ragionando su questa base, si pensava che l'atomo d'idrogeno fosse molto più semplice di quello di qualsiasi altro elemento e anche che un atomo chimico potesse produrre una sola serie. Ma poco tempo fa, il professor Pickering, in un suo magnifico lavoro sulle stelle, al quale ho già avuto occasione di riferirmi, scoprì una seconda serie di righe.

Poco dopo, il professor Rydberg propose che una delle righe più importanti trovate in una grande quantità di stelle rappresentasse in realtà una riga della serie principale dell'idrogeno. Questa conclusione è stata generalmente accettata, sebbene la prova sia stata considerata da certi come dubbia. Così ammettiamo ora che l'idrogeno ha tre serie come l'elio e l'asterio e sembriamo essere su un terreno solido in tutti i casi per certi gas. Possiamo quindi ammettere, sia che un atomo semplice possa con la sua vibrazione produrre tre serie, sia che l'idrogeno stesso abbia *almeno* una complessità di ordine triplo. Abbiamo un'altra serie di metalli il cui basso peso atomico fa supporre che essi presentino una notevole semplicità. Troviamo anche nel caso del litio e del sodio vi sono tre serie, una principale e due secondarie. La stessa osservazione si applica al potassio. Si è trovato recentemente che pure lo zolfo e il selenio danno tre serie. Abbiamo una serie principale e la prima e la seconda secondarie; in ogni caso una o due righe fanno solo supporre l'esistenza di qualcosa di più di queste serie.

Ma se passiamo dal gas idrogeno al gas ossigeno, cosa ci troviamo?

Nell'ossigeno abbiamo sei serie, cioè due volte di più di quante ne conosciamo nell'idrogeno, nell'elio, nell'asterio, nel litio, nel sodio, nello zolfo, ecc. Siamo nella stessa situazione in cui ci trovavamo, tempo fa, quando pensavamo che il gas ottenuto dal minerale cleveite esposto all'azione della scintilla ad alta tensione, fosse un solo gas a sei serie.

Molti argomenti sono stati impiegati per mostrare che questa opinione è probabilmente inesatta; così alcuni erano pronti a separare i gas della cleveite, *alla temperatura della scintilla*, in elio e asterio. I due costituenti dei gas della cleveite estratti ad alta temperatura sarebbero così sullo stesso livello dell'idrogeno in seguito a lavori recenti, come il litio, il sodio, lo zolfo, ecc.

Se esaminiamo più da vicino il caso straordinario dell'ossigeno, vediamo che *le sei serie contengono, dopo tutto, solo quelle righe dell'ossigeno che si vedono a bassa temperatura*, e che se usiamo un'alta temperatura per osservare lo spettro dell'ossigeno, cioè se impieghiamo una bobina di induzione, una bottiglia di Leyda e un interruttore del circuito, troviamo un numero molto considerevole di righe che non hanno alcun rapporto con qualcuna delle serie messe in evidenza finora. E siamo di fronte a questo fatto molto sorprendente che nel caso dell'ossigeno vi sono più righe impossibili da classificare in serie di quante se ne trovano nelle sei serie attribuibili a questa sostanza. Anche nell'ipotesi in cui avremmo a che fare con l'atomo di ossigeno, cominciamo a imbatterci in grosse difficoltà.

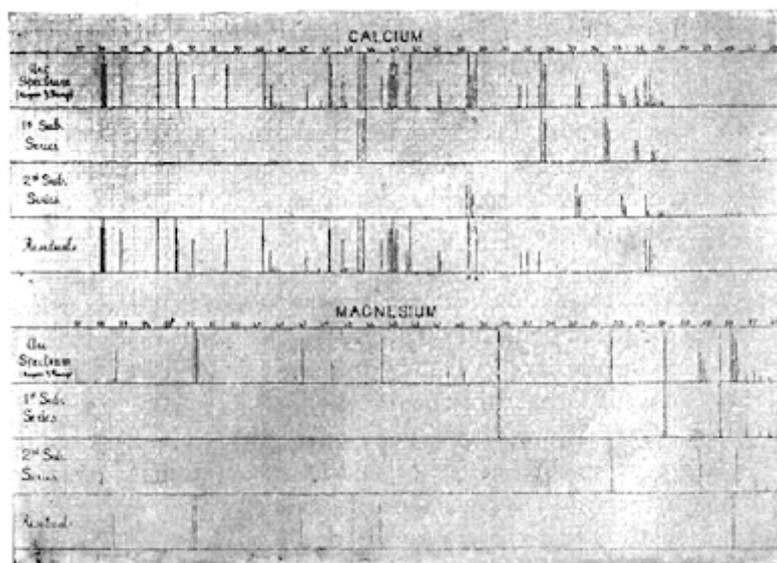


Fig. 34 - Tabella che presenta le serie e le righe residue negli spettri del calcio e del magnesio.

Osserviamo poi che per altre sostanze *non abbiamo alcuna serie principale*, ma solo due serie secondarie. Questo è il caso del magnesio, del calcio e dello stronzio e anche dell'alluminio, dello zinco e del tellurio. Abbiamo una prima e una seconda serie secondaria, ma non una serie principale. Ho studiato le righe del calcio e del magnesio, come si era fatto per quelle dell'ossigeno, per vedere quante righe erano state classificate nelle serie e presento qualche dettaglio.

Nella parte superiore di questo diagramma mostro le righe viste nello spettro d'arco del calcio; nelle due bande orizzontali successive abbiamo le righe classificate nella prima e seconda serie secondaria; l'ultima banda dà le righe residue, cioè non distribuibili in serie.

Vediamo che ve ne è un gran numero che rimangono a lato, esattamente come nel caso dell'ossigeno ed è molto importante notare che le due righe H e K, che sono le più apparenti nello spettro del sole di alcune altre righe dello spettro, non hanno potuto essere classificate dai ricercatori nelle serie del calcio.

Anche con un numero ridotto di serie, sembriamo essere più lontani dalla semplicità che avremmo in ogni momento con i gas permanenti come l'idrogeno e l'elio. La stessa cosa avviene con il magnesio il cui spettro alla temperatura dell'arco non ha tante righe quante lo spettro del calcio. Un certo numero di queste righe sono state raccolte per formare delle serie, ma abbiamo numerose righe che sono state lasciate da parte dopo numerosi tentativi di farle rientrare nelle serie.

È necessario introdurre ora una nuova considerazione. Abbiamo considerato qui finora, nel caso del calcio e del magnesio, le temperature dell'arco, ma ho mostrato che prima che nel caso di questi metalli alla temperatura della scintilla, gli spettri sono fortemente trasformati, le righe rafforzate facendo la loro comparsa; ho constatato anche che le righe, molto importanti nelle stelle più calde, si vedono alla temperatura della scintilla. Ho aggiunto queste righe al diagramma e vediamo che non vi è la più piccola traccia nelle serie. Più andiamo, più ci allontaniamo dalla bella semplicità iniziale.

Mi occuperò ora di un altro gruppo di sostanze, cioè: stagno, piombo, arsenico, antimonio, bismuto e oro (e potrei menzionarne di più. Nessuna serie qualsiasi ha ricompensato i numero tentativi dei ricercatori che hanno inteso mettere questi metalli o metalloidi in rapporto con quelli precedentemente studiati.

Come abbiamo detto, si deve a Kayser e Runge l'osservazione che le cose avvengono come se questa completa assenza di serie avesse una relazione con i punti di fusione di queste sostanze. Finché il punto di fusione sarà basso, come nel caso del sodio e del litio, le tre serie normali si mostreranno a bassa temperatura e non vi saranno righe residue. Ma quando avremo a che fare con sostanze il cui punto di fusione è elevato, non vi saranno serie. Nel caso del litio, del sodio, del potassio, ecc., tutte le righe sono classificate; nel caso del rame, dell'argento, dell'oro, le serie le inglobano solo in piccola parte. Sembra quindi che si abbia un aumento di complessità contemporaneamente ad un innalzamento del punto di fusione, per tutte le sostanze metalliche esaminate finora.

Nel caso del bario, il cui punto di fusione è elevato, abbiamo righe che formano serie, e ciò è in contrasto con la proporzione del 100% incontrato nel caso del litio. Ma quando arriviamo al mercurio, il cui punto di fusione è molto basso, invece del 100% otteniamo circa il 25% delle righe rappresentate nelle serie. I metalli variano quindi come i gas.

Conclusioni generali

L'esperienza sembra, quindi, indicare che le unità chimiche, nei casi degli elementi studiati, grazie ai moti registrati da queste serie, devono possedere diversi livelli di complessità. Fino a poco fa si immaginava che l'idrogeno si rendesse visibile a noi mediante vibrazioni così semplici da produrre una sola serie di righe.

Se così è, sembra bene che soprattutto dove incontriamo tre serie di righe, si debba avere, con tutta probabilità, *almeno* tre molecole o atomi, tre cose diverse, per produrle.

Quando otteniamo sei serie, ciò ci indica una complessità ancora maggiore e quando, come nel caso dell'ossigeno, con sei serie, noi non classifichiamo la metà delle righe, possiamo, penso, supporre che l'ossigeno è una delle cose più complesse che incontriamo quando sono osservabili delle serie.

Quando veniamo a questi metalli dove non vi sono del tutto delle serie, cosa ci dobbiamo trovare? Abbiamo a che fare con sostanze dal punto di fusione elevato, cioè difficili da ridurre a questo stato di mobilità corrispondente ai cammini liberi e "alle collisioni" dei gas permanenti ed è molto naturale supporre, in base a questa sola condizione, che vediamo le vibrazioni di alcune delle forme più semplici.

Ritengo che la prova dell'origine complessa degli spettri di righe dedotta dallo studio delle serie è chiara quanto quella che si ricava dai lavori di laboratorio effettuati ad alta temperatura e dal confronto degli spettri stellari con i risultati di questi lavori.

Ho riferito poco fa il caso dell'idrogeno. I professori Pickering e Kayser concedono l'uno all'altro che la nuova serie è dovuta probabilmente ad un'alta temperatura e Kayser dice espressamente che "se questa nuova serie non è mai stata finora osservata, ciò è spiegabile con la insufficiente temperatura dei nostri tubi di Geissler e della maggior parte delle stelle".

Sembra che le due serie siano di tipo secondario, e la principale manchi se non si ammettono le conclusioni di Rydberg; poiché, mentre nelle serie secondarie, le righe per i grandi valori di n sono molto vicine tra loro, le righe simili delle serie principali sono al contrario sempre più rifrangibili. Sembra probabile che una o due delle numerose righe sconosciute, trovate negli spettri stellari e che non sono state ancora identificate, appartengano alla serie principale dell'idrogeno.

Se abbiamo in questo caso una semplice molecola di idrogeno, che vibra a causa di una temperatura più alta in un modo finora sconosciuto, perché le molecole di altri corpi non produrranno queste vibrazioni trascendenti e non appariranno nelle stesse stelle in modo da fornirci nuove forme di altri elementi chimici? Il fatto che non così non avvenga fornisce un argomento a favore dell'ipotesi che le serie principali e secondarie sono prodotte

da molecole di diversa complessità e che le molecole più sottili possono solo supportare l'azione delle più alte temperature che richiedono la loro comparsa.

Possiamo così spiegare facilmente la visibilità della nuova forma dell'idrogeno legata solo o principalmente a quella dei gas della cleveite e degli altri gas simili (poiché si ha quasi la prova dell'esistenza di altri gas simili) nelle stelle più calde.

Come conseguenza degli ammirevoli lavori fatti su sostanze come il litio, il sodio e il potassio, che apparivano ridotti ai loro atomi più sottili a temperature relativamente basse, e più recentemente sulle serie dell'ossigeno che si vedono a bassa temperatura, possiamo considerare che quando i ricercatori si saranno estesi allo spettro complesso del ferro, così sarà anche per lui. Ma è già abbastanza evidente che una serie principale e due serie secondarie non basteranno; ne servirà un numero ben superiore.

Queste serie devono comprendere a loro volta le righe d'arco e quelle intensificate e siccome queste sono visibili le une senza le altre nelle stelle con temperature diverse, associate in un caso con i gas della cleveite, appariranno in un altro in loro assenza, abbiamo un altro argomento a favore della complessità molecolare.

Farò qui osservare che è sempre la riga di alta temperatura che rimane al di fuori delle serie. L'argomento che le righe in serie rappresentano la vibrazione di una molecola prova che le righe non in serie sono prodotte dalla vibrazione di un'altra molecola.

Infine, ho detto nel 1878 che lo spettro di una sostanza era la somma degli spettri di diversi raggruppamenti molecolari.

È stato ora definitivamente stabilito che lo spettro di qualche sostanza è una somma di serie.

Finora, non si è potuto dichiarare definitivamente se è possibile che ogni serie rappresenti le vibrazioni di molecole simili, ma i fatti attualmente noti sono a favore di tale opinione, dal momento in cui consideriamo una serie come il risultato più semplice delle vibrazioni atomiche. Vi sono fatti che suggeriscono anche una serie non è un risultato semplice.

Sono felice di poter completare questo capitolo, che il professore Kayser ha amabilmente riletto, con l'espressione della sua opinione che mi autorizza a pubblicare.

"Io sostengo la vostra opinione che le molecole degli elementi sono in generale sistemi di atomi molto complessi e che la loro complicazione varia molto con la temperatura e forse con altre condizioni. Penso che, più alta è la temperatura, più semplice è la struttura della molecola, che può essere anche un semplice atomo e, in questa condizione, essa emette uno spettro molto semplice consistente in una o forse tre serie di doppietti e tripletti. se la temperatura non si innalza molto al di sopra del punto di fusione per dissociare tutte le molecole, alcune saranno tuttavia dissociate e avremo sempre una mescolanza di molecole dalle più complesse che possono esistere a questa temperatura, fino alle più semplici. Quando la temperatura diviene sempre più bassa, si aggiungono sempre più molecole complesse, mentre le più semplici scompaiono gradualmente. La semplicità dello spettro si perde nello stesso modo e restano solo le righe più forti delle serie, o non ne rimane nessuna e lo spettro è la somma di un numero più o meno grande di righe di un gran numero di spettri differenti. Ho espresso la mia opinione nella prima pubblicazione di Kayser e Runge (*Abhandl. d. k. Akad.*, Berlino, 1883) e ritengo che i nostri ricercatori non hanno mostrato nulla che sia in contraddizione con essa."

Capitolo 11

Prova apportata dallo spostamento delle righe

Un recente lavoro americano, effettuato grazie alla grande dispersione prodotta dai reticoli concavi di Rowland, ci ha fornito risultati¹ del massimo interesse, relativi alle piccole variazioni della lunghezza d'onda delle righe dello spettro e delle cause che le producono. Esse sono state stabilite per la prima volta da M. Jewell per mezzo di un esame delle serie di fotografie degli spettri solari e metallici ottenuti con un reticolo concavo di 21 piedi e mezzo di raggio e di 20000 tratti per pollice; strumento difficile da ottenere per i ricercatori di questo paese, almeno a mia conoscenza. Le indagini di M. Jewell iniziarono nel 1890. MM. Humphrey e Mohler studiarono nel 1895 gli effetti della pressione sugli spettri d'arco degli elementi, lavori suggeriti dalle ricerche precedenti di M. Jewell.

La base delle nuove conclusioni di M. Jewell fu lo studio, in condizioni moderne, di classi di fenomeni che ero stato il primo ad osservare e a descrivere più di un quarto di secolo fa.

Per mostrare la relazione tra questi nuovi lavori e i precedenti, è bene cominciare da una breve storia che avrà il vantaggio di offrire il senso di alcuni dei termini impiegati.

Ho dapprima, nel 1869, impiegato il metodo che consiste nel proiettare l'immagine di una sorgente luminosa sulla fenditura di uno spettroscopio per mezzo di una lente ed ecco alcuni dei risultati che ottenni:

1° Le righe spettrali prodotte da una sorgente luminosa come l'arco elettrico erano di lunghezze diverse. Alcune apparivano solo nel centro dell'arco, altre si estendevano più lontano nella fiamma e negli involucri esterni. Questo effetto si studiava nelle migliori condizioni proiettando l'immagine di un arco orizzontale su una fenditura verticale. Le lunghezze delle righe fotografate nell'arco elettrico di molti elementi metallici furono pubblicate sotto forma di tabelle nelle *Phil. Trans.*, 1873 e 1874.

2° Le righe più lunghe di ogni metallo erano generalmente più larghe delle altre, i bordi si attenuavano, ed esse si invertivano. Voglio dire che una riga di assorbimento solcava il centro delle righe brillanti.

Questi risultati furono confermati e completati da Cornu².

3° Esperienze fatte con miscele di vapori dei più deboli costituenti restavano visibili dopo che le righe più corte erano scomparse e lo spettro di ogni sostanza diveniva progressivamente più semplice quando la sua proporzione diminuiva³, estendendosi gradualmente le sue righe più corte.

Poco dopo aver compiuto queste osservazioni, formulai, tra molte altre, la seguente regola generale⁴:

“Negli urti tra molecole diverse, le vibrazioni delle une e delle altre si ammortizzano”

4° Le diverse lunghezze delle righe, specialmente delle più lunghe, dipendono dalla pressione e dalla densità, non dalla temperatura⁵.

5° “Le righe più lunghe” di ogni metallo si comportano in un modo estremamente variabile nei fenomeni solari e si trovano inoltre differenze con le più corte. Su questa prova e sulle altre, ho fondato la mia ipotesi della dissociazione degli elementi alla temperatura del sole. Nel 1876 ho esposto i fatti per il calcio.

6° Nel 1883, il prof. W. Vogel, in una critica amichevole, segnalò le prove, che iniziavano allora ad accumularsi, del cambiamento di lunghezza d'onda delle righe sotto certi influssi⁶. Nel 1887 estesi queste prove⁷ e credo che impiegai per primo il termine “shift” (spostamento) per indicare tali cambiamenti.

Passo ora dapprima ai risultati che M. Jewell dice di aver stabilito.

¹Astrophysical Journal, febbraio 1896; vol. III, p. 114.

²Chemistry of the Sun, p. 379.

³Phil. Trans., 1873, p. 482.

⁴Études d'analyse spectrale, 1878, p. 140.

⁵Phil. Trans., 1872, p. 253.

⁶Nature, vol. XXXVII, 1883, p. 233.

⁷Chimie du soleil, p. 369.

Con l'enorme dispersione prodotta dallo strumento di cui ho parlato, si trova che alcune righe metalliche, ma non tutte, sono spostate, o allungate verso il violetto, se le si confronta alle corrispondenti righe solari. "Vi era una netta differenza nello spostamento, non solo per le righe di elementi diversi, ma per le righe di diverso carattere appartenente allo stesso elemento."

Questo "diverso carattere" indica piuttosto le differenze nella lunghezza della riga, nella reversibilità associata alla sua lunghezza piuttosto che alla sua intensità. Le righe più lunghe sono le più spostate, le più corte lo sono meno.

D'altra parte, nello stesso spettro dell'arco, quando esso contiene poca materia, la posizione di una riga "era approssimativamente la stessa della posizione della riga quando è invertita." Ma poiché le righe più lunghe sono le più spostate verso il violetto, ciò significa che più la quantità di materia è piccola, più grande è lo spostamento verso il violetto e, di conseguenza, più la quantità presente è grande, più grande è lo spostamento verso il rosso.

M. Jewell ha trovato che "con un aumento nella quantità di materia contenuta nell'arco vi è uno spostamento crescente della riga verso il rosso" e poi che "a meno che la riga non si inverta, ogni progresso ulteriore della riga in questa direzione cessa".

Qui un'osservazione sulla riga del cadmio. "Si è trovato che se i fili del micrometro erano puntati su questa riga quando vi era molto poco cadmio nell'arco e quando si aumentava poi la quantità di cadmio, la riga lasciava quasi in blocco l'incrocio dei fili, si dirigevano sempre verso il rosso.

M. Jewell stima di aver stabilito che il periodo vibratorio di un atomo dipenda in una certa misura da ciò che lo circonda. "Un aumento della densità della materia e probabilmente anche della pressione, sembra indebolire il periodo vibratorio". I miei risultati del 1872, per quanto riguarda la pressione, sono adottati. "Si trova che questi nuovi risultati dipendono dalla pressione e non dalla temperatura".

Sembriamo quindi essere ora in presenza di due effetti ammortizzatori, anche nel caso di righe metalliche, uno che estingue le righe quando abbiamo molecole dissimili, l'altro che sposta la loro lunghezza d'onda verso il rosso quando abbiamo molecole simili.

Una tabella accuratamente preparata mostra l'origine, l'intensità e le caratteristiche delle righe solari considerate, l'intensità e il carattere delle righe metalliche corrispondenti, le lunghezze d'onda di entrambe e lo spostamento osservato.

M. Jewell fa parecchi accostamenti tra i fenomeni solari e i risultati dei suoi lavori, ma non mi propongo di discuterli qui. Vi è un punto, tuttavia, che devo riferire. M. Jewell stima che le conclusioni da trarre da uno studio dei nuovi spostamenti "dispensi dalla necessità di rendere conto della della maggior parte dei fenomeni solari con l'ipotesi della dissociazione". Ho già segnalato che era del 1883 la conclusione del professor W. Wogel a proposito dei possibili spostamenti.

Ciò è molto semplice. "Due righe adiacenti del ferro, per esempio, possono mostrare gli effetti di un movimento violento del vapore del ferro in direzioni opposte, nelle vicinanze delle macchie; oppure un riga (la più piccola corrispondente a uno delle "righe corte" di Lockyer) può mostrare un allargamento e un aumento d'intensità nello spettro di una macchia solare, mentre l'altra riga (la più grande corrispondente a una delle "righe lunghe" di Lockyer) non è coinvolta. Ma ciò non prova che il vapore del ferro è dissociato nel sole. Ciò mostra semplicemente che le parti delle due righe in apparenza simili nello spettro solare sono prodotte a diverse altezze nell'atmosfera del sole. La riga più forte del ferro sarà affetta tanto quanto l'altra in una macchia solare, ma è la parte della riga prodotta allo stesso livello dell'altra riga ed essa può essere completamente mascherata o molto largamente dalla riga di emissione prodotta ad un'altezza maggiore, mentre la seconda riga di assorbimento dello spettro solare può essere interamente inalterata, poiché è prodotta ad un'altezza ancora maggiore.

"Ciò spiega anche perché qualche riga (le corte in genere) di un elemento può predominare negli spettri delle macchie, mentre altre (in genere le lunghe) sono quelle che si vedono più frequentemente nelle protuberanze o nella cromosfera."

Il mio lavoro di trent'anni sulla fisica solare mi ha lasciato un sentimento così profondo della mia ignoranza che concedo volentieri a M. Jewell una scienza assai superiore alla mia affinché possa demolire tutto il mio lavoro in due righe, ma sono obbligato a constatare che egli non ha letto attentamente ciò che ho pubblicato.

Per esempio, un confronto degli spettri presentati in figura 20, ridotto a nulla nel suo ultimo paragrafo. Questi fatti mostrano nettamente che abbiamo a che fare con righe corte nella cromosfera e con quelle lunghe nelle macchie, proprio il contrario di ciò che dice M. Jewell. Non vado contro le mie idee supponendo che fenomeni diversi si producano a differenti livelli. Penso di aver abbondantemente provato nelle osservazioni dell'eclissi del 1882 (*Chimica del Sole*, p. 363) che le righe del ferro, per prendere un esempio concreto, sono prodotte ad altezze diverse nell'atmosfera solare. Ed era una delle numerose ragioni che mi hanno spinto ad abbandonare la teoria dello strato di inversione ristretto suggerita dal Dr. Falkland e da me nel 1869, contrariamente alle idee di Kirchoff.

Ma sicuramente, più noi consideriamo l'atmosfera solare come disposta per strati con certe famiglie di righe del ferro libere di restare in certi strati o di andarsene a discrezione, più l'ipotesi di una dissociazione si impone. E inoltre, dobbiamo tener conto del fatto che al massimo delle macchie solari, non si vede assolutamente, tra le righe più allargate, alcuna riga del ferro, mentre al minimo, ne abbiamo qualcuna.

I reali sostegni che i nuovi lavori hanno apportato all'ipotesi della dissociazione sono stati accuratamente rilevati dal professor Hale.

Un'altra parte molto interessante del lavoro di M. Jewell si riferisce al fenomeno dell'assorbimento. È un argomento sul quale vi è molto lavoro da fare. Come ha già osservato nel 1879, abbiamo degli allargamenti ineguali, e una massa di fenomeni inspiegati⁸. È chiaro che l'enorme dispersione di cui dispone M. Jewell servirà molto all'avanzamento di questi studi.

Passo ora alle ricerche di MM. Humphreys e Mohers. Questi ricercatori si sono serviti di un arco elettrico racchiuso in un recipiente cilindrico di ghisa che ha permesso loro di far variare la pressione fino a 14 atmosfere. Furono prese un centinaio di fotografie di spettri metallici e misurati gli spostamenti di alcune righe di 23 elementi. Il diagramma della figura 35 riunisce campioni delle loro osservazioni e indica la natura dei risultati da loro ottenuti.

Le pressioni in atmosfere sono riportate in ordinate e gli spostamenti verso il rosso, in millesimi di unità Angström, in ascisse. Gli spostamenti sono stati ricondotti a ciò che sarebbero per la lunghezza d'onda $\lambda 4000$ nelle cui vicinanze è stata fatta la maggior parte del lavoro.

Lo spostamento varia molto con le sostanze. È sempre diretto verso il rosso, direttamente proporzionale alla lunghezza d'onda e all'eccesso su un'atmosfera della pressione impiegata.

Una sola eccezione a questa regola è stata constatata all'inizio della ricerca a proposito del calcio.

“Le righe H e K, tra le altre, si spostano solo metà meno di g (la riga blu situata a $\lambda 4226,91$) e del gruppo situato a $\lambda 5600$. Che g differisca da H e K, non è molto sorprendente perché sappiamo che ne differisce grandemente anche in altri aspetti.”

Sul modo di essere eccezionale di queste righe del calcio, cito l'estratto seguente di una nota del professor Hale⁹:

“La differenza di spostamento di H e K e della riga blu del calcio, scoperta da M. Jewell, Humphreys e Mohler sembra confermare le idee di Lockyer sulla dissociazione del calcio nell'arco e nel sole. Le variazioni significative dello spettro del calcio con la temperatura sono note da tempo, grazie soprattutto alle ricerche di Lockyer.

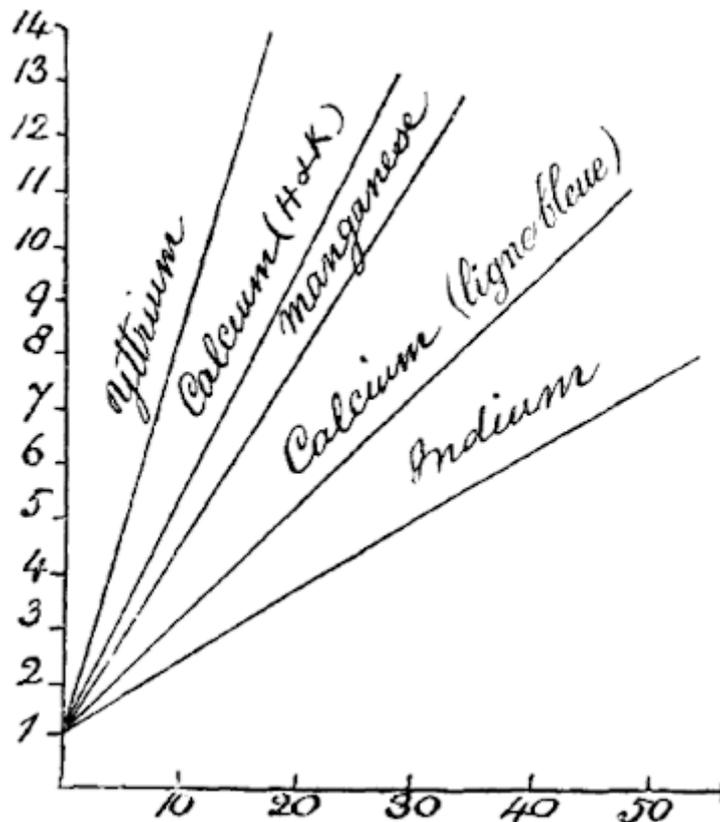


Fig. 35 - Cambiamenti di lunghezza d'onda prodotti dalla pressione che mostrano i differenti effetti prodotti sulle righe del calcio (H e K e la ri

L'autore ha mostrato che le righe H e K si producono alla temperatura della combustione del magnesio e nella fiamma del gas ossidrico. Non le si può fotografare nello spettro del bruciatore Bunsen anche con una

⁸Chimie du soleil, p. 380-387.

⁹Astrophysical Journal, loc. cit.

posa di sessantaquattro ore. Dopo l'esecuzione di queste esperienze, sono stato informato dal professor Eder che i suoi tentativi di fotografare le righe del bruciatore Bunsen non hanno più avuto esito positivo nonostante l'impiego di un sistema ottico in quarzo e fluorite.

“Sembrirebbe quindi che la temperatura della dissociazione del calcio sia compresa tra quella del bruciatore Bunsen e quella della fiamma ossidrica. Il peso molecolare elevato del calcio contrarierebbe la nostra credenza sulla presenza di questo metallo nelle protuberanze. Ma se è provato che questa dissociazione può avvenire a temperature inferiori anche a quella dell'arco, la difficoltà è molto ridotta.”

In un articolo scritto su *Nature* a proposito di questo lavoro¹⁰, dissi che sarebbe molto interessante vedere se la riga dello stronzio a $\lambda 4797,52$ si comporta come g del calcio, rispetto alle righe $\lambda 4077,88$ e $\lambda 4215,6$ rappresentanti H e K.

Questa previsione fu verificata, in seguito, da M. Humphreys¹¹, che presentò una tavola degli spostamenti misurati per le righe dello stronzio ricordati in precedenza. A pressione variata tra 6 e 12 atmosfere, lo spostamento della riga $\lambda 4077,88$ fu sempre circa la metà di quello della riga $\lambda 4067,52$. Non vi possono essere dubbi dopo questo successo che nuove ricerche non danno lo stesso risultato per altre righe intensificate.

Spostamento artificiale delle righe

Gli spostamenti di cui abbiamo parlato finora sono naturali, dipendenti dal mezzo che circonda le molecole le cui vibrazioni costituiscono lo spettro.

Ma vi sono anche ciò che possiamo chiamare spostamenti artificiali, la cui osservazione ha recentemente portato il Dr Schuster e M. Hemsalech a conclusioni di grande importanza, uguagliando quasi dal nostro punto di vista particolare quelle di MM. Jewell, Humphreys e Mohler.

Consideriamo una forte scintilla di bottiglia di Leyda prodotta in aria tra due poli metallici diversi. Ecco ciò che si ottiene: “La scarica iniziale avviene in aria. Bisogna che sia così, poiché all'inizio non vi è vapore metallico. Il calore intenso generato dalla corrente elettrica volatilizza il metallo che inizia a diffondersi a partire dai poli. Le oscillazioni che seguono della scarica avvengono allora attraverso i vapori metallici e non più attraverso l'aria¹².”

Ammettiamo ora che serva un certo tempo ai vapori metallici prodotti a ciascuno dei due poli per passare all'altro. Se, allora, osserviamo per mezzo di uno specchio girevole, la scala attraverso l'aria ci darà una linea retta, la scarica attraverso ogni vapore ci darà linee curve.

Ma invece di osservare le scintille così prodotte dalle tre sorgenti diverse, possiamo studiare i loro spettri: è quanto ha fatto il Dr Arthur Schuster e M. Hemsalech, che descrivono così le loro esperienze:

“Il metodo dello specchio rotante, tentato per parecchi anni in diversi modi da uno di noi, non ha fornito risultati probanti. Di contro, si sono ottenuti buoni risultati con il metodo del professor Dixon nelle sue ricerche sulle onde esplosive. Esso consiste nel fissare una pellicola fotografica sul cerchio di una ruota. È necessario solo avere scintille molto potenti affinché ognuna di esse produca una buona immagine del suo spettro sulla pellicola. Se le scintille fossero assolutamente istantanee, le immagini ottenute sulla ruota in movimento sarebbero identiche a quelle sviluppate su una lastra immobile, ma così non avviene. Le righe del metallo si trovano inclinate e curve quando la ruota gira e la loro inclinazione serve a misurare la velocità di diffusione delle particelle metalliche. Le righe dell'aria, al contrario, restano diritte anche se leggermente allargate.

“Per rimediare alla tendenza della pellicola a lasciare la ruota quando è fissata attorno al cerchio, un disco ruotante ci è stato costruito dalla compagnia degli strumenti scientifici di Cambridge. La pellicola è messa distesa contro il disco e mantenuta da un secondo disco più piccolo che può essere avvitato facilmente al primo. I diametri dei due dischi sono di 33 e 22,2 cm, essendo le fotografie prese nello spazio anulare di 10,8 cm, lasciato scoperto dal piccolo disco. Un motore elettrico mette il disco in movimento e abbiamo ottenuto velocità di 170 giri al secondo, sebbene, nelle nostre esperienze, il numero di rivoluzioni fosse generalmente di circa 120, dando una velocità lineare di circa 100 metri al secondo per la parte della pellicola dove era presa la fotografia.”

La curvatura delle righe metalliche deve dipendere dalla velocità di diffusione dei vapori nelle direzioni opposte ai poli. E se lo spettro di ogni metallo impiegato come polo è dovuto alla vibrazione di una sola specie di molecole, vi sarà una curvatura uguale in tutte le righe del metallo.

Le fotografie ottenute finora mostrano che la curvatura non è uguale. Così, in questo lavoro come in quelli che ho riportato nei capitoli precedenti, siamo portati a concludere che lo spettro ha un'origine complessa.

I risultati di questa ricerca, spinta così in avanti, non sono ancora stati completamente pubblicati, ma il Dr Schuster, in una lettera inviata, constata “che vi sono, senza alcun dubbio, grandi differenze di curvatura nelle righe del bismuto. Credo anche che la differenza sia reale nel caso delle righe dello zinco (essendo il doppietto verde diverso dal tripletto blu), ma non la considero come stabilita con la stessa certezza del caso del bismuto”.

Allo scopo di fornire un esempio della dimensione delle differenze di velocità indicate dalla curvatura ineguale delle righe, il Dr. A. Schuster mi permette di pubblicare i valori seguenti:

¹⁰Nature, vol. LIII, p. 416, marzo 1896.

¹¹Gli effetti della Pressione sulle lunghezze d'onda delle righe negli Spettri di certi Elementi, *Astrophys. Journal*, vol IV, p. 249.

¹²Proc. Roy. soc., vol. 64, p. 331.

Metallo	Lunghezza d'onda	Velocità $\frac{m}{s}$
Zinco	4925	415
	4912	
	4811	545
	4722	
Cadmio	5379	435
	5339	
	5086	559
	4800	
	4416	
	3613	
Bismuto	5209	1420
	4561	
	3696	533
	4302	
	4260	
	3793	
Mercurio	4359	481
	3663	383

Capitolo 12

Prova fornita dalle perturbazioni magnetiche delle righe

Molto tempo prima di dare alla teoria elettromagnetica della luce la sua forma attuale, parecchi osservatori avevano provato ad osservare un qualsiasi cambiamento spettrale quando la sorgente luminosa era posta in un campo magnetico.

Il professor Tait sembra essere stato il primo di questi ricercatori. Fece il suo tentativo nel 1855 senza risultati¹.

Vi fu anche un tentativo di Faraday nel 1862. E l'esperienza tentata su questo aspetto fu anche l'ultima che egli effettuò. Prendo in prestito il seguente estratto dalla storia della sua vita del Dr. Bence Jones²:

“L'anno 1862 fu l'ultimo in cui egli effettuò ricerche sperimentali. Lo strumento di Steinheil per produrre lo spettro di diverse sostanze diede un nuovo metodo per verificare l'azione dei poli magnetici sulla luce. In gennaio, Faraday si familiarizzò con lo strumento e provò allora l'azione della grande calamita sullo spettro del cloruro di sodio, del cloruro di bario, del cloruro di stronzio e del cloruro di litio.

Ecco la descrizione di una esperienza svolta il 12 marzo:

“La fiamma incolore del gas era montata tra i poli della calamita e la si colorava con i sali di sodio e litio.

Un polarizzatore di Nicol era posto proprio davanti al campo magnetico intenso e un analizzatore all'altra estremità dello strumento.

Si chiudeva e poi si apriva il circuito dell'elettrocalamita ma non si poté osservare la più piccola traccia di effetto e di cambiamento nelle righe dello spettro, qualunque fosse la posizione dell'analizzatore o del polarizzatore.

Due altri pezzi polari forati furono aggiunti alla calamita, la fiamma colorata stabilita tra essi e lo strumento ottico raccoglieva solo i raggi inviati nell'asse dei poli, cioè secondo l'asse magnetico o linea di forza magnetica. Alla chiusura o riapertura del circuito dell'elettrocalamita non si osservò il più piccolo effetto di polarizzazione o di depolarizzazione.”

Verso l'anno 1872, il Dr. Clifford ed io eseguiamo qualche esperienza con il grande spettroscopio di Steinheil, allora in uso nel mio laboratorio presso l'École des Sciences. La sola calamita utilizzabile era debole e non dava nulla.

Nel 1885 M. Fievez³ fu più fortunato. Egli fece una serie di esperienze che si possono ritenere come il primo successo almeno parziale per la soluzione del problema che ci occupa. M. Fievez, osservando una fiamma in un campo magnetico, come Faraday aveva fatto in precedenza, notò un allargamento e un apparente raddoppio delle righe, ma il raddoppio fu da lui attribuito all'assorbimento.

Egli scriveva:

“I fenomeni che si manifestano sotto l'azione del magnetismo sono identicamente gli stessi di quelli prodotti da un innalzamento di temperatura.”

Malgrado ciò, il Dr. Preston ha espresso l'opinione che “se Fievez avesse conosciuto la teoria, tutta la questione sarebbe stata regolata nel 1885.”

Il tema restò infecondo fino all'anno 1897, nel corso del quale il Dr. Zeeman fece conoscere i risultati di un'importante serie di osservazioni pazientemente effettuate⁴.

Nel corso di misure riguardanti i fenomeni osservati dapprima dal Dr. Kerr, il Dr. Zeeman fu portato a ripensare se la fiamma sottoposta all'azione del magnetismo subisse realmente un cambiamento. Fece la seguente osservazione: “Se un Faraday ha potuto pensare alla possibilità di questa relazione, era lecito ricominciare l'esperienza con gli eccellenti mezzi di cui la spettroscopia dispone al giorno d'oggi...”. E le sue osservazioni

¹Proc. Roy. Soc. Edin., vol. IX, p. 118, 1875-76.

²Vol. II, p. 449, 1870.

³Bulletin de l'Académie des sciences de Belgique, 3^a serie, t. IX, p. 381.

⁴Phil. Mag. [5], vol. XLIII, p. 226.

stabilirono che le righe brillanti dello spettro sono modificate considerevolmente in un campo magnetico intenso. Si comprese allora perché gli sperimentatori precedenti avessero fallito. L'effetto è piccolo, ed è quindi necessario un campo magnetico molto intenso e una grande dispersione.

Da quando il Dr. Zeeman rese pubblica la sua scoperta, il professor Lorentz e in seguito il Dr. Larmor studiarono teoricamente questo problema. Essi mostrarono che prendendo la teoria nella forma più semplice, ci si doveva aspettare, non solo un allargamento delle righe, ma anche che ogni riga consistesse realmente di tre righe separate, o, in altri termini, formasse un tripletto.

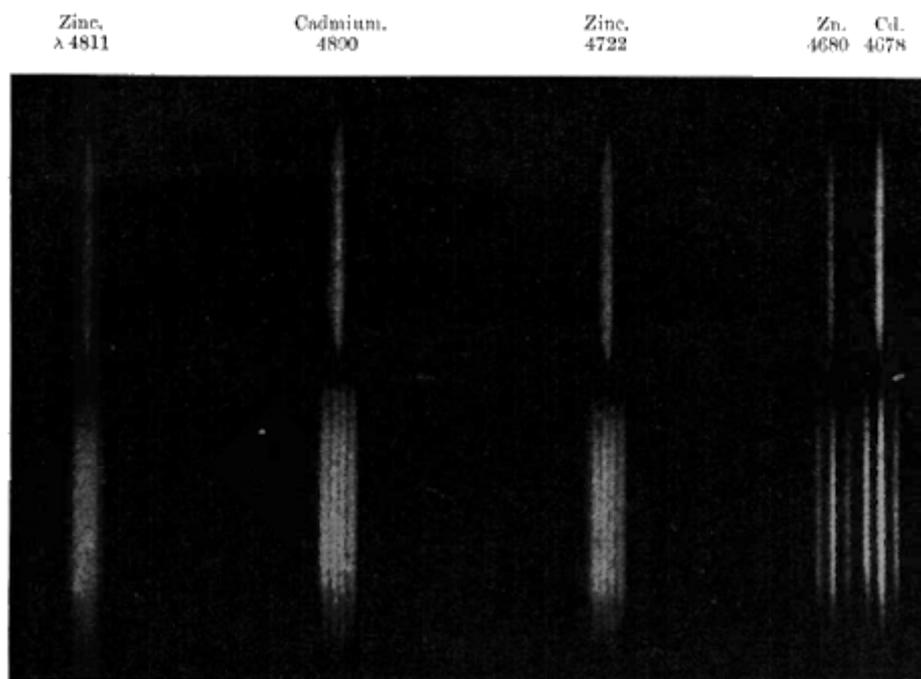


Fig. 36 - Le righe sopra non sono più sottoposte al campo magnetico. Quelle sotto sono influenzate da un campo magnetico molto intenso. Le righe di destra si risolvono in tripletti puri, mentre quelle al centro appaiono come dei quartetti. In base a una fotografia presa dal Dr. Preston nel 1897.

Secondo la teoria più semplice, i moti di ciascun elemento materiale che porta una carica elettrica propria - un tale complesso viene chiamato ione - sono influenzati da un campo magnetico. Se consideriamo questi ioni come gli elementi materiali il cui moto produce la luce, è certo che, in un campo magnetico, i moti saranno influenzati. Vi sarà non solo il moto normale nell'orbita, ma un moto aggiuntivo di precessione o di rotazione attorno alle linee di forza magnetica. Se rappresentiamo con e la carica elettrica di uno ione e la sua inerzia con m , il rapporto $\frac{e}{m}$ in un campo di forza dato è proporzionale alla precessione, o spin, dell'orbita dello ione.

Servendosi dell'elettrocalamita costruita per questo scopo e disponendo le esperienze in una maniera speciale, non si tardò a produrre un campo magnetico assai intenso per separare completamente i componenti delle righe, che in precedenza si vedevano solo come allargate.

Si trovò che mentre alcune righe spettrali erano convertite in tripletti, altre lo erano in quartetti, sestetti, ottetti o in altri tipi complessi, mentre altre restavano quasi inalterate.

Si ebbe allora un'altra rivelazione.

Non solo le righe dello spettro di diverse sostanze variano, ma le righe dello spettro di una stessa sostanza subiscono cambiamenti differenti. Mentre alcune righe spettrali di un elemento si risolvono considerevolmente nel campo magnetico, altre non ne sono quasi per nulla influenzate. Questo fatto importante è stato constatato dal Dr. Preston nel 1897⁵.

Ciò ci mostra un legame tra questi lavori e i miei, poiché troviamo righe della sostanza che si comportano in modo diverso sotto l'influenza delle perturbazioni magnetiche, come ho trovato che le righe del ferro si comportano in modo diverso nello spettro delle macchie solari sotto l'azione della velocità.

Più tardi M. Cornu segnalò in questi termini l'importanza di questa scoperta:

“L'effetto del campo magnetico sul periodo di vibrazione della radiazione della sorgente luminosa sembra dipendere non solo dalla natura chimica della sorgente, ma anche dalla natura del gruppo di righe spettrali al quale ogni radiazione appartiene e del ruolo che essa svolge in questo gruppo⁶.” Qualche tempo dopo MM. H.

⁵Trans. Roy. Dub. Soc., vol. VI, p. 385, 1898, 3 vol. VII, p. 7, 1899.

⁶Astrophysical Journal, vol. VII, p. 163, 1898.

Becquerel e Deslandres fornirono dettagli sullo spettro del ferro nell'ultravioletto, richiamando l'attenzione su queste osservazioni per la loro grande importanza "fisica, chimica e astronomica"⁷.

Riguardando nel senso delle linee di forza magnetiche e poi perpendicolarmente ad esse, il Dr. Zeeman⁸ osservò che, sebbene la maggioranza delle righe del ferro fossero, per il valore del campo impiegato, risolte in doppietti, tripletti, quadrupletti, ecc, *tre o quattro righe non ne sembravano influenzate*. Nel caso di un piccolo numero di righe, trovò una ineguaglianza tra le componenti del tripletto, visto perpendicolarmente alle linee di forza, e quelle del doppietto corrispondenti viste parallelamente alla loro direzione.

MM. Ames, Earhart e Reese osservarono più tardi delle particolarità in merito alle variazioni di alcune righe del ferro⁹.

Quando si studiava la radiazione perpendicolarmente al campo magnetico, si trovava in generale ogni riga dello spettro separata in tre, essendo la componente centrale polarizzata in un piano parallelo alle linee di forza, ed essendo le due componenti laterali polarizzate in un piano perpendicolare.

Le righe aventi λ 3587, 13, 3733, 47 e 3865, 67 facevano eccezione a questa regola e si comportavano esattamente in modo contrario. Due altre righe, di λ 3722, 72 e 3872, 64, formavano quadrupletti, essendo doppia la componente centrale che ha sei vibrazioni nella direzione della linea di forza. Alcune righe a λ 3746, 06, 3767, 34 3850, 12 e 3888, 67 non mostravano modifiche.

Questi osservatori sottolinearono inoltre che la separazione dei componenti laterali dei tripletti apparivano irregolari. Essi trovarono che vi erano alcune righe nelle quali la separazione era quasi la stessa, ma molto più grande di quella di altre righe in cui le separazioni apparivano essere del tutto simili. Da ciò, essi divisero le righe dello spettro del ferro in due classi che presentavano una stessa separazione magnetica, ma molto più grande in una delle classi che nell'altra. Le righe appartenenti a queste due serie furono trovate praticamente identiche alle righe delle due serie nelle quali si divideva lo spettro del ferro quando si studia lo spostamento prodotto dalla pressione, ma questa conclusione non è accettata dal Dr. Preston,.

Ho già detto che, in base alla semplice teoria, dovremmo ottenere solo tripletti, così come, secondo la teoria semplice di trent'anni fa, dovremmo avere il movimento del vapore del sole indicato da tutte le righe dello spettro. I fatti sono ugualmente contrari alla teoria semplice nei due casi.

Si può, tuttavia, dall'estensione della teoria magnetica, abbracciare e spiegare tutti i nuovi fenomeni, straordinari a prima vista. Per mostrare in quale misura vi si è giunti, non posso fare di meglio che citare un estratto di una recente conferenza del Dr. Preston, uno dei ricercatori più felici in questa nuova scienza¹⁰.

"Secondo la teoria semplice, ogni riga spettrale, quando la consideriamo perpendicolarmente alle linee di forza, deve divenire un tripletto nel campo magnetico e la differenza della frequenza di vibrazione tra le righe laterali al tripletto sarebbe la stessa per tutte le righe spettrali di una data sostanza. In altri termini, la frequenza precessionale sarebbe la stessa per tutte le orbite degli ioni, o la differenza di lunghezza d'onda $\partial\lambda$ tra le componenti laterali del tripletto magnetico varierebbe in ragione inversa del quadrato della lunghezza d'onda della riga spettrale considerata.

"Tuttavia, quando esaminiamo questo aspetto sperimentalmente, troviamo che questa legge semplice è lontana dal realizzarsi. Infatti, un'osservazione molto superficiale dello spettro di una sostanza qualunque mostra che la legge non raggiunge nemmeno un'approssimazione grossolana. Mentre certe righe spettrali si risolvono considerevolmente nel campo magnetico, altre righe della stessa sostanza, aventi circa la stessa lunghezza d'onda, non ne sono affatto influenzate. Questa anomalia è soprattutto interessante per coloro che si occupano della struttura intima della materia, poiché essa mostra che il meccanismo che produce le righe spettrali di una data sostanza non è così semplice come richiederebbe questa teoria elementare dell'effetto magnetico....

"Secondo le previsioni della teoria semplice, la separazione $\partial\lambda$ deve essere proporzionale a λ^2 e, sebbene questa legge non sia verificata del tutto se consideriamo le righe dello spettro come un singolo raggruppamento, la troviamo tuttavia esatta per i diversi gruppi se dividiamo le righe in serie di gruppi. In altri termini, se le righe di uno spettro dato sono disposte in una serie di gruppi, essendo note le righe del primo gruppo A_1, B_1, C_1 , quelle del secondo gruppo A_2, B_2, C_2 e così do seguito, le righe corrispondenti A_1, A_2, A_3 danno lo stesso valore per la quantità $\frac{\partial\lambda}{\lambda}$, o, per usare un altro linguaggio, sono prodotte da moto dello stesso ione. Le altre righe che si corrispondono, B_1, B_2, B_3 , hanno un altro valore comune e sono prodotte da uno ione differente, e così di seguito. Siamo così portati da questo effetto magnetico a distribuire le righe di un dato spettro in gruppi naturali e, secondo la natura dell'effetto, a sospettare che le righe corrispondenti di questi gruppi sono prodotte dallo stesso ione e che, di conseguenza, l'atomo di una sostanza data è realmente un complesso, consistente di più ioni diversi, ciascuno dei quali da luogo a righe spettrali differenti, essendo questi ioni associati, per formare un atomo in un certo modo caratteristico delle proprietà della sostanza."

La legge generale enunciata da Preston stabilisce ancora questo fatto significativo: Se consideriamo un gruppo di metalli aventi rapporti chimici, tali, per esempio, che il magnesio, lo zinco e il cadmio, i gruppi delle righe nei quali si possono dividere, come detto sopra, lo spettro di ciascuno di essi corrisponda, gruppo per gruppo, a

⁷Comptes rendus, vol. CXXVI, p. 997, vol. CXXVII, p. 18.

⁸Proc. de l'Académie royale des sciences, Amsterdam, 25 giugno 1898 e Astrophysical Journal, vol. IX, p. 47.

⁹Astrophysical Journal, vol. VIII, p. 48.

¹⁰Nature, vol. 60, p. 178.

quelli tra i quali sono ripartite le righe di un altro di questi metalli. Ne risulta che la variazione magnetica della frequenza (il rapporto $\frac{e}{m}$) per uno qualsiasi di questi gruppi, è lo stesso del gruppo corrispondente di ciascuno degli altri metalli. Ciò sembra provare che i metalli, in ogni gruppo chimico, sono costituiti, almeno in parte, da ioni identici per tutti i metalli dello stesso gruppo.

Quanto detto prova sicuramente che queste nuove ricerche hanno presentato le stesse difficoltà di quelle precedenti e che esse sono condotte allo stesso risultato stabilendo che gli spettri delle sostanze elementari non sono prodotti dalle vibrazioni di “atomi” o di “ioni” simili, ma da una serie di atomi o di ioni differenti.

È ben evidente che la concordanza delle osservazioni spettroscopiche ordinarie, con le prove tratte dalle serie e dalle perturbazioni magnetiche ci fanno compiere un grande passo in avanti.

Capitolo 13

Prova dal “frazionamento”

Nei tre capitoli precedenti, ho tentato di mostrare che i nuovi metodi di ricerca nel campo della fisica vengono tutti a sostenere l'ipotesi della dissociazione. Mostrerò ora che si possono ottenere conferme analoghe dall'analisi chimica, quando si sostituiscono ai metodi insufficienti attuali metodi più fedeli, come per esempio quello fornitoci dal frazionamento paziente dell'ossido di ittrio da parte di sir William Crookes.

Ho dovuto attendere fino al 1883 la prima conferma chimica precisa dei miei lavori. In quell'anno, sir William Crookes espone un riassunto delle sue belle ricerche sull'ossido di ittrio in una conferenza alla Società Reale. Egli presentò un abbozzo del metodo di ragionamento che lo ha portato all'idea che il frazionamento sistematico rompe il raggruppamento molecolare stabile nei suoi “costituenti” e che questi non sono l'ittrio e l'ossigeno, come dovrebbe essere.

Più tardi, in una comunicazione all'Associazione Britannica al congresso di Birmingham nel 1886, diede un quadro sommario del metodo di frazionamento che lo ha portato a questi risultati.

Ciò che rende questo lavoro importante dal punto di vista della questione della dissociazione, è che sir William Crookes fu condotto all'idea della pluralità degli elementi dell'ossido di ittrio dalla variazione dell'intensità di diverse righe del suo spettro di fosforescenza, allorché i procedimenti chimici avevano potuto fare solo un corpo semplice di questa che era una miscela. Come risultato del suo lavoro trovò cinque componenti “conseguenza di una reale rottura della molecola di ittrio”.

Ciò rafforza evidentemente l'idea che se le nostre risorse chimiche fossero molto maggiori, la dimostrazione di altri cambiamenti di intensità negli spettri di altri elementi sarebbero presto ottenuti.

Cito ora sir William Crookes in ciò che dice del suo metodo che costituisce un nuovo effettivo strumento di ricerche chimiche. “A dire le cose in generale, l'operazione consiste nello scegliere qualche reazione chimica nella quale gli elementi trattati appaiono molto verosimilmente comportarsi in modo che solo una frazione delle basi presenti sia separata; l'obiettivo di questo metodo è, infatti, ottenere una parte della materia allo stato solubile e l'altra allo stato insolubile. L'operazione deve avvenire lentamente, in modo da dare alle affinità. - che, per la natura stessa delle cose, sono quasi in equilibrio, - il tempo di agire liberamente. Supponiamo di essere in presenza delle terre, all'incirca identiche per le proprietà chimiche, che differiscono solamente per una variazione quasi impercettibile nella basicità. Aggiungiamo, alla soluzione molto diluita, dell'ammoniaca diluita in quantità tale che essa possa precipitare solo la metà delle basi presenti. La diluizione deve essere tale che trascorra un tempo considerevole prima che il liquido si intorbidisca e che necessitino parecchie ore prima che l'effetto dell'ammoniaca sia completo. Filtrando avremo le terre divise in due parti, e potremo facilmente immaginare la presenza di una leggera differenza di valore basico tra le due porzioni della terra, essendo quella rimanente disciolta un poco più basica di quella che l'ammoniaca ha precipitato. Se si ripete questo procedimento, questa minima differenza andrà aumentando fino a divenire percepibile da una reazione chimica o attraverso una proprietà fisica.”

Quanto ai risultati ai quali questa ricerca molto laboriosa ha condotto sir William Crookes, citerò le sue stesse parole¹; osserviamo dapprima che la materia prima è l'ossido di ittrio (ittria), tratto dalla samarskite, dalla gadolinite, dalla cerite e altri minerali simili. La prima operazione consiste nel separare grossolanamente le terre del gruppo cerio, approfittando che il bisolfato di potassio e i metalli del gruppo sono facilmente solubili in una soluzione satura di solfato di potassio, mentre i bisolfati del gruppo cerio sono difficilmente solubili.

“Fino a non molto tempo fa, il nome ittria aveva, per tutti i chimici, un senso perfettamente definito. Esso identificava l'ossido del corpo semplice dell'ittrio. Posseggo dei campioni di ittria provenienti da M. de Marignac (da lui considerato come il più puro che un chimico abbia fino ad allora ottenuto), da M. Clève (da lui qualificato “purissimo”), da M. de Boisbaudran (questo campione è descritto da questo eminente chimico come un poco contaminato da tracce di altre terre), e anche molti campioni da me preparati e purificati tanto quanto era possibile fare nel periodo di questa preparazione. Praticamente queste terre sono tutte simili e fino

¹Chemical News, vol. LIV, p. 1400.

allo scorso anno, tutti i chimici del mondo le avrebbero descritte come identiche, cioè come ossido del metallo ittrio. Esse sono quasi indistinguibili l'una dall'altra, sia chimicamente, sia fisicamente e, danno nel vuoto spettri fosforescenti di uno splendore straordinario. È ciò che chiamavo poco tempo fa "ittria" e oggi "ittria antica". Questi costituenti del vecchio ittrio non sono *impurità* nell'ittrio, non più che il praseodimio e del neodimio (ammettendo che siano essi stessi degli elementi) non sono impurità nel didimio. Essi costituiscono una effettiva scomposizione dell'ittrio nei suoi costituenti."

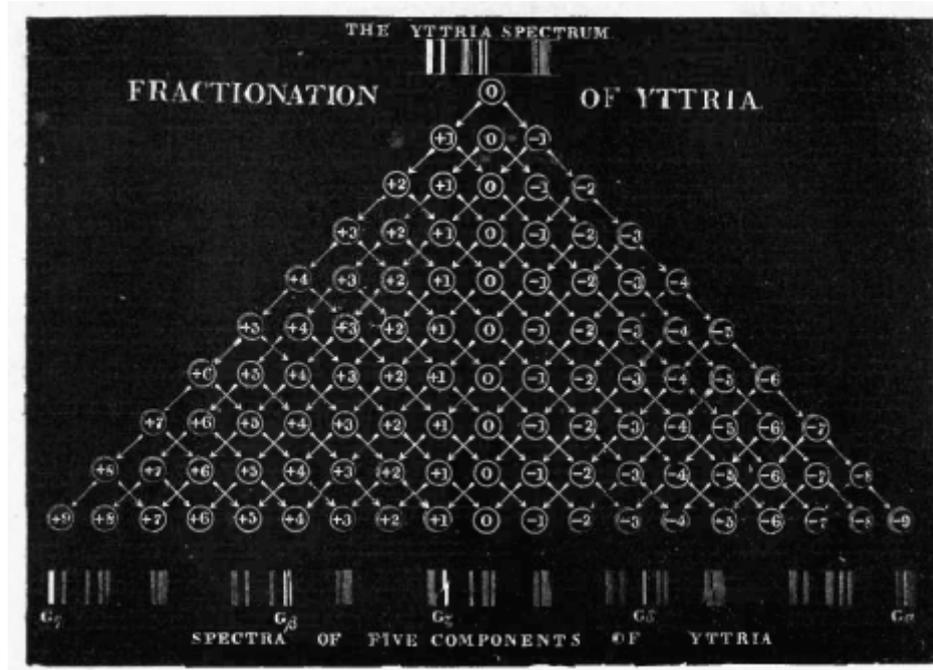


Fig. 37 - Mostra come con il metodo di frazionamento l'ittria è separata in cinque sostanze diverse definite spettroscopicamente dalle diverse intensità delle righe di fosforescenza.

“Il risultato finale al quale sono giunto è che vi sono certamente cinque e probabilmente otto costituenti nei quali l'ittrio si può dividere. Prendendo i costituenti nel loro ordine approssimativo di basicità (analogo chimico della rifrangibilità) il costituente terroso inferiore da una larga banda blu $G\alpha$ ($\lambda 482$); poi viene la forte banda giallo limone $G\delta$ ($\lambda 574$) che è divenuta sempre più netta tanto da poter essere chiamata una riga; poi un coppia ravvicinata di righe blu verdastre $G\zeta$ ($\lambda 619$); poi una larga banda rossa $G\nu$ ($\lambda 647$), poi una banda gialla $G\varepsilon$ ($\lambda 597$); poi un'altra banda verde $G\gamma$ ($\lambda 564$); questa (nell'ittria della samarskite e della cerite) è seguita dalla riga arancione $S\delta$ ($\lambda 609$). Le bande del samario esistono nella parte più alta delle serie. Sono convinto che queste sono ugualmente separabili, ma per il momento non le ho affatto affrontate essendo interamente occupate dalle terre più facilmente risolubili. La banda gialla $G\varepsilon$ e la banda verde $G\gamma$ possono, infatti, essere dovute all'emissione del samario.”

Per quanto so, sir William Crookes non ha ancora dato dei nomi agli elementi differenziati dalle righe di lunghezze d'onda in questione. Ma più recentemente, occupandosi ancora dell'ittria, ha fatto altre ricerche aventi come obiettivo la separazione dell'elemento caratterizzato da un gruppo di righe nelle vicinanze di $\lambda 3110$. La scoperta del victorium di un peso atomico vicino a 117 ha ricompensato i suoi sforzi.

Seguendo, quindi, le indicazioni spettroscopiche, sir William Crookes ha diviso “un elemento” in cinque; è un ulteriore argomento, se ce ne fosse bisogno, per mostrare che lo spettro di un elemento non è prodotto da molecole simili, ma da molecole dissimili.

Libro IV - Obiezioni all'ipotesi della dissociazione

Capitolo 14

La chimica dello spazio

Devo ora occuparmi di alcune obiezioni avanzate sulle idee che ho formulato durante gli ultimi trentanni. Ho creduto di cogliere in queste idee un mezzo per dare un senso in qualche modo ai miei lavori di laboratorio, così come a quelli riguardanti il sole e le stelle. Nel capitoli immediatamente precedenti, ho mostrato che secondo me, altri scienziati, impegnati in ricerche più o meno analoghe, erano giunti allo stesso livello di confusione.

Le obiezioni più importanti da esaminare qui sono basate sulla prova stellare. Ho supposto che i materiali che hanno formato il mondo nell'ipotesi meteorica, sono identici in tutte le parti dello spazio; considero questa ipotesi come legittima, fino a prova contraria, e l'onere della prova incombe su quelli che mi muovono obiezioni. Né Kant né Laplace hanno immaginato caratteristiche differenti per la chimica della materia e, infatti, la sola idea di questo genere che conosco, fino a questi ultimi anni, è stata avanzata da uno scienziato teologo per spiegare i miracoli. Secondo questa teoria, i miracoli possono avvenire in certe regioni dello spazio e non in altre; e i movimenti del sistema solare attraverso lo spazio ci forniscono i cambiamenti necessari per realizzare la condizione di comparsa dei miracoli.

Ma, recentemente, si è esteso questa ipotesi alla costituzione chimica dello spazio; la prima obiezione che incontriamo è, infatti la seguente; le differenze spettrali, che era mia dovere riferire come caratterizzanti i diversi gruppi di stelle, non sarebbero prodotte dalla temperatura; esse sarebbero semplicemente dovute alla variabilità della composizione chimica dello spazio. Di modo che, secondo il loro luogo di origine e il loro ambiente, alcune stelle sono composte principalmente di idrogeno, altre di calcio, altre di ferro, altre di carbonio e così via.

Ma si suppone che si possano avere dei casi intermedi, nei quali solo la composizione relativa varierebbe da stella a stella. Si considera che questa teoria dello spazio divisa in distretti chimici si trovi confermata asserendo la localizzazione di stelle dello stesso tipo in porzioni particolari dello spazio (localizzazione indicata dai moti propri, ecc.).

Una vera causa possibile di simili differenze chimiche fu, credo, proposta dal Dr. Wolf nel 1866; indotto in errore dalle dichiarazioni di sir Wm Huggins sulla chimica delle nebulose, il Dr. Wolf¹ per spiegare perché il loro spettro e, di conseguenza, la loro costituzione chimica, differiscono da quella delle stelle; impiegò un metodo che l'estratto seguente farà sufficientemente comprendere.

“Se, secondo i dati dell'analisi spettrale, si ammette che i corpi singolari (le nebulose) sono allo stato gassoso, e che la loro composizione chimica è semplice, si è portati a vedere in essi solo il residuo della condensazione della materia primitiva, nel sole e nei pianeti, condensazione che ha assorbito la maggior parte degli elementi semplici che vediamo sulla terra e in qualche stella.”

Si vede che, per Wolf, la differenza tra le nebulose e il sole deriva da una “estrazione di materia” risultante da un'azione locale preliminare. La chimica intervenne dapprima in modo generale, poi si impiegarono i residui.

Del resto, più recentemente, il Dr. Schuster è andato oltre, partendo sempre dall'idea di una chimica generale.

“Noi non abbiamo alcuna ragione di credere che le nebulose attuali somiglino all'antenato del nostro sole. Alcune stelle che sono oggi al loro primo stadio di sviluppo possono iniziare a formarsi dalla condensazione di materia abbandonata da altre; e non vi sarebbe nulla di sorprendente se le stelle più giovani non avessero la stessa composizione chimica delle loro compagne più vecchie².”

Supponiamo quindi che i diversi raggruppamenti chimici nello spazio siano moltitudini per cominciare; mediante azioni simili a quelle suggerite dai Drs. Wolf e Schuster, si stabiliranno nuove distribuzioni; è certo allora che le differenze stellari saranno anche moltitudini.

Voglio dire che più si aggiungono cause simili alle precedenti a una distribuzione primitiva della materia nello spazio, irregolare per ipotesi, più si devono trovare differenze nella costituzione chimica delle stelle. Non è però ciò che si riscontra nei fatti.

Mentre il numero degli elementi chimici attualmente noti è superiore a 70, il numero di gruppi di stelle ben differenziate è solo di 10 per un ramo della curva di temperatura, cioè se teniamo conto delle stelle di temperatura

¹Hypothèses cosmogoniques, p. 6.

²Proc. Roy. Soc., vol. 61, p. 2019.

crescente o di quelle a temperatura decrescente. Abbiamo il diritto di considerare un ramo solamente poiché gli spettri delle stelle di livelli corrispondenti ai due lati mostrano precisamente gli stessi elementi; solo la proporzione relativa degli elementi delle regioni *effettivamente assorbenti* differisce da un ramo all'altro. Alla stessa temperatura, la principale differenza tra i rami opposti è l'inversione delle intensità delle righe dell'idrogeno e dei metalli.

Così i fatti sono esattamente contrari all'ipotesi dell'esistenza nello spazio di raggruppamenti chimici differenti. Essi mostrano anche che non avremmo ulteriori ragioni di ammettere la possibilità di tutte le variazioni nelle proporzioni della composizione chimica. In queste condizioni ci si dovrà aspettare una varietà infinita di spettri, allorché, come è stato già constatato, vi sono solo dieci gruppi ben evidenziati.

Il Sole, Capella e Arturo e altre stelle in via di raffreddamento, a una distanza enorme le une dalle altre nello spazio, contengono le stesse righe spettrali con intensità quasi identiche, di modo che non solo contengono gli stessi *elementi* ma li contengono in proporzioni *assolutamente identiche*. Gli stati più antichi e i più caldi di tali stelle non possono quindi consistere di miscele diverse.

Allo stesso modo tutte le stelle rosso sangue, che tutti considerano come vicine al loro punto di estinzione, hanno spettri praticamente identici.

Un altro argomento molto forte contro l'obiezione ora discussa, è che ogni specie di spettro corrisponde sempre alla stessa temperatura, misurata in modo indipendente, principalmente dall'estensione dello spettro nell'ultravioletto. Con differenze di composizione chimica si avrebbero, a uguale temperatura, spettri differenti.

Abbiamo quindi il diritto di concludere che le differenze rilevate negli spettri stellari non provengono da differenze nelle proporzioni degli elementi chimici che formano le stelle, ma dall'azione di temperature differenti sulle stelle molecole.

Affinché i fatti sopra siano spiegati, persisto nel considerare come completo il ragionamento che ci porta a pensare che dobbiamo avere gli stessi elementi rappresentati da righe spettrali differenti in stelle differenti, quando le differenze apparenti sono tali da suggerire l'obiezione che sto discutendo. Non è l'assenza di elementi, ma l'assenza di *certe complessità molecolari* di ogni elemento, che differenzia lo spettro del sole da quello di diversi tipi di stelle.

Devo ora discutere il solo inizio di prova di cui si è discusso e voglio dire la presunta localizzazione di certi gruppi chimici di stelle nelle parti determinate dello spazio, basato sul fatto che certi elementi chimici si ritrovano solo in certe regioni. Non si considera questa localizzazione come semplicemente quantitativa, cioè come manifestata da proporzioni differenti della quantità di ogni elemento; si adduce la loro assenza completa in diverse parti dello spazio.

Mi propongo di discutere questa questione nel modo seguente:

Poiché possiamo tener conto nello spazio solo delle masse di materia visibile, è evidente che ogni ricerca sulla distribuzione delle caratteristiche chimiche di queste masse, come rivelato dallo spettro, deve essere preceduta da una ricerca sulla distribuzione di queste stesse masse visibili, considerate semplicemente come masse e indipendentemente dalla chimica.

Ci dobbiamo, quindi, occupare dapprima della distribuzione generale delle stelle e delle nebulose, indipendentemente dalla loro chimica. Questo ci darà un'idea generale del nostro sistema stellare. Stabilita questa base, potremo vedere se stelle della stessa natura chimica si ritrovano sullo stesso raggio (assumendo il nostro sistema solare come centro) o in una stessa direzione dello spazio.

Poi, tenendo conto delle distanze, vedremo se vi è qualche prova dell'esistenza di ciò che si potrebbero chiamare strati chimici.

Ci si deve ricordare che una proporzione più o meno grande di stelle della stessa natura chimica, in certe regioni, è senza rapporto con la questione. Si tratta solo di dimostrare se certi elementi sono assenti da certe regioni, nei limiti in cui le stelle ce ne forniscono la prova.

Capitolo 15

La distribuzione generale delle stelle

I lavori di tre o quattro generazioni di astronomi hanno dimostrato definitivamente che la distribuzione delle stelle a noi visibili è predominante nella Via Lattea. Sebbene ad occhio nudo la Via Lattea appaia molto diversa dalle altre parti del cielo, sappiamo dal tempo di Galileo che questo aspetto proviene dal fatto che essa è composta da un'enorme moltitudine di stelle, una parte molto grande delle masse che compongono il nostro sistema solare si trovano nel suo piano. Essa non è semplicemente un fluido infuocato o incandescente come insegnavano diverse scuole. Un piccolo binocolo o un cannocchiale ci mostrano facilmente che siamo in presenza di una moltitudine innumerabile di stelle.

La Via Lattea è un grande cerchio, inclinato di circa 62° sull'equatore terrestre o sul piano equatoriale prolungato fino alle stelle.

Naturalmente non sappiamo nulla delle cause di questa inclinazione di 62° , ma essa ha la sua importanza, poiché non solo la fascia deve tagliare l'equatore in due punti opposti, che sono le due costellazioni opposte, l'Aquila e il Leocorno, ma i poli della Via Lattea devono essere ai punti più lontani dei punti di intersezione con l'equatore, in certe costellazioni. Questi sono la Chioma di Berenice e lo Scultore, e la posizione del polo galattico nord, come indica il polo nord della Via Lattea, è in Ascensione retta $12h.40m$, Declinazione $+28^\circ$.

Quando esaminiamo un poco più da vicino la Via Lattea, vediamo che a partire da due dei suoi punti si produce una separazione, in modo che in certe parti della sua orbita essa è doppia per così dire.

La grande fenditura che separa le due parti, comincia vicino ad una stella dell'emisfero sud che è α Centauri e continua per più di sei ore in ascensione retta finché i due rami si riuniscono di nuovo nella costellazione del Cigno, che è ben visibile nel cielo boreale.

La distanza tra le linee mediane di queste due componenti della Via Lattea, là dove la separazione è più visibile, è di circa 17° di modo che in certe parti vi è una progenie della Via Lattea che si stende per un angolo uguale a circa 17° , oltre i 62° che forma con l'eclittica. Le regioni di maggiore splendore corrispondono all'incirca con i punti di intersezione dei due rami.

Riassumendo, vi sono numerosi motivi perché l'insieme dei fenomeni di cui la Via Lattea è la sede sia più semplice da comprendere studiandoli come derivanti dalla sovrapposizione di due vie lattee. Fino a questi ultimi tempi, si ammetteva generalmente che la Via Lattea era solo un grande cerchio poiché si pensava che il sole non fosse situato nel suo piano. Si confrontava l'intera massa delle stelle a una macina spaccata su uno dei bordi e questa era la prima idea di Sir William Herschel. Ma i lavori recenti, principalmente quelli di Gould, in Argentina, hanno mostrato che praticamente è un grande cerchio. Sebbene ciò sia possibile, in una parte dei cieli, questa meravigliosa Via Lattea appare come una semplice corrente, molto irregolare, che sembra in un'altra parte sdoppiata.

Questo brillante raggruppamento di stelle è pieno di una meravigliosa maestà e complessità: vi troviamo segni di strisce sottili che si slanciano nello spazio e che sembrano venir rafforzate, di correnti in tutte le direzioni, con sciami che le sono attaccati, ecc. In altre parti essa è coagulata, è il solo termine che posso usare per rendere il mio pensiero. In una regione possiamo trovarla priva di ogni stella importante; in altre la troviamo mescolata a nebulose molto visibili; in altre ancora, non solo è mescolata a nebulose, ma a un gran numero di stelle a righe brillanti inglobate non solo nella Via Lattea, ma nelle stesse nebulose.

Abbiamo, fortunatamente per la scienza, inestimabili fotografie di queste diverse regioni che ci danno un'idea dell'enorme numero di stelle esistenti in certe parti e delle correnti di materia nebulosa che si vedono nella Via Lattea da luogo a luogo. Qui troviamo un fiume regolare di materia nebulosa che scaturisce tra migliaia di stelle, allora la nebulosa sembra restringersi in nodi. Quasi ogni parte ha la propria individualità che possiamo studiare sulle nostre lastre fotografiche. In realtà non vi sono due parti simili.

Altre fotografie ci mostrano l'aspetto cagliato che è visibile in diverse regioni e infine la coesistenza di un numero infinito di stelle con la materia nebulosa visibile.

In questo modo possiamo formarci un'idea delle condizioni generali della Via Lattea.

Il secondo punto importante è che l'enorme aumento del numero di stelle non è limitato al piano della Via Lattea; vi è, in realtà, un aumento graduale di questo numero dopo i poli della Via Lattea, dove si trova il più piccolo numero di stelle, fin nel suo piano. Non è agevole confrontare tutte queste informazioni poiché i diversi osservatori forniscono misure differenti. Essi prendono unità diverse per determinare lo spazio occupato dalle stelle tra i poli e il piano galattico; d'altra parte, il numero di stelle nell'emisfero nord non è lo stesso di quello dell'emisfero sud.

Ma per ottenere un'approssimazione grossolana, se rappresentiamo con quattro il numero di stelle al polo galattico, il numero di stelle nel piano galattico sarà circa cinquantaquattro. La tabella seguente mostrerà l'aumento graduale del numero di stelle dal polo a piano, come Herschel le ha viste con un telescopio di 18 pollici di apertura e di 20 piedi di lunghezza focale¹.

Distanza dal polo galattico	N° di stelle dal campo di 15 minuti	
	Nord	Sud
0° a 15°	4,32	6,05
15 a 30	5,42	6,62
30 a 45	8,21	9,08
45 a 60	13,61	13,49
60 a 75	24,09	26,29
75 a 90	53,43	59,06

Da una considerazione sulla distribuzione delle stelle in ascensione retta tra le declinazioni da 15° nord e 15° sud, Struve concluse che vi sono massimi ben marcati per *AR 6h 40m* e *18h 40m* e dei minimi per *AR 1h 30m* e *13h 30m*. Egli evidenzia che i massimi coincidono esattamente con l'intersezione della Via Lattea con l'equatore, e più avanti dice che "l'aspetto di questo raggruppamento fitto di stelle o di materia condensata è in relazione diretta con la natura della Via Lattea, o che questa condensazione e l'aspetto della Via Lattea sono uno e un solo fenomeno".

Benché la Via Lattea sia il fenomeno dominante nella distribuzione delle stelle e specialmente delle stelle deboli, non sembra che essa sia il solo anello di stelle con cui abbiamo a che fare. Sir John Herschel ha tracciato una zona di stelle brillanti nell'emisfero sud, che egli pensa essere la proiezione di un getto o strato di stelle secondario. Questo fu il primo passo verso una nuova scoperta fatta in seguito dal Dr. Gould nei suoi lavori sull'emisfero australe a Cordova. Egli trovò una corrente di stelle brillanti che è come tracciata tutto attorno al cielo, formante un grande cerchio pure ben definito come la Via Lattea, che si trova allungato sotto un angolo di circa 25°. Gould, allorché si trovava nell'emisfero australe, osservò senza difficoltà che lungo questo cerchio, che possiamo chiamare Via stellata in opposizione alla Via Lattea, si trova la maggior parte delle stelle brillanti del firmamento australe.

Quando tornò più tardi su di esso, iniziò a studiare se poteva continuare questa linea di stelle attraverso l'emisfero nord, e lo poté fare senza difficoltà.

Di modo che possiamo ora considerare come fuori da ogni dubbio l'esistenza di questa via stellata indicata da una linea di stelle estremamente brillanti.

Riporterò la seguente citazione, presa negli scritti di Gould su questo tema²:

"Pochi fenomeni celesti sono così sorprendenti come l'esistenza di una corrente o di un anello di stelle brillanti, comprendenti Canopo, Sirio e Aldebaran, con le più brillanti della Carena e della poppa del vascello di Argo, della Colomba, del Grande Cane, di Orione, ecc, e fiancheggiante la Via Lattea sul suo bordo anteriore. Quando la metà opposta della Via Lattea divenne visibile, fu pure evidente che la stessa è vera, poiché le stelle più brillanti fiancheggiano analogamente il bordo anteriore e formano un flusso che, divergendo dalla Via Lattea alle stelle α e β del Centauro, comprende la costellazione del Lupo e una grande parte dello Scorpione e si estende attraverso Ofiuco verso la Lira. Così un grande cerchio o zona di stelle brillanti sembra fare il giro del cielo, tagliando la Via Lattea alla Croce del Sud; essa è visibile in ogni stagione, sebbene più apparente dal lato di Orione che dall'altro. Al mio ritorno nel nord, cercai immediatamente il punto nord di intersezione e, sebbene il fenomeno fosse molto meno visibile in questo emisfero, riconobbi senza difficoltà il nodo nella costellazione Cassiopea, che è diametralmente opposto alla Croce del Sud. È realmente facile fissare l'ascensione retta del nodo nord a circa *0h 50m* e quello del nodo sud a *12h 50m*. La declinazione è in ogni caso vicina a 60°, di modo che questi nodi sono molto vicini ai punti in cui la Via Lattea si avvicina maggiormente ai poli. L'inclinazione di questo fiume di stelle sulla Via Lattea è di circa 25°, occupando le Pleiadi una posizione intermedia tra i nodi."

Gould non ebbe difficoltà a mostrare che il gruppo di stelle fisse al quale mi riferisco, più brillanti in ogni caso della quarta grandezza, è più simmetrico rispetto a questa nuova linea di stelle che rispetto alla Via Lattea

¹Outlines of Astronomy, Herschel, p. 535, 536.

²American Journal of Science, VIII, p. 332.

stessa, e che, in ogni regione del cielo, l'abbondanza delle stelle brillanti aumenta avvicinandosi a questa nuova linea di stelle.

Praticamente, 500 fra le stelle più brillanti possono essere considerate come formanti uno sciame, indipendente dalla Via Lattea, sciame di forma allungata e bifide.

Rapporti tra la Via Lattea e le nebulose

Non solo troviamo che le stelle sono molto più numerose vicino alla Via Lattea che da tutte le altre parti, ma le nebulose planetarie sono nella stessa condizione. Non possiamo, per il momento, discutere utilmente delle nebulose in generale poiché vi sono molti corpi classificati come tali nei diversi cataloghi e sulla cui natura non sappiamo nulla. Richiamerò solo l'attenzione sui punti sui quali abbiamo maggiori certezze.

Non solo troviamo le stelle e le nebulose planetarie più numerose più ci avviciniamo alla Via Lattea, ma quelle che sono, senza alcun dubbio, sciami di stelle, aumentano così rapidamente nelle vicinanze della Via Lattea.

Buaschinger (1889)³, in una rassegna del nuovo catalogo generale del Dr. Dreyer (numeri 7840), ha discusso la distribuzione delle classi di diversi corpi e trovato che gli sciami risolvibili e le nebulose planetarie sono agglomerati nella Via Lattea o nelle sue vicinanze.

M. Sidney Waters, circa quattro anni più tardi, nel 1893, raccolse le nebulose e gli sciami di stelle su delle carte che mostrano, senza errore possibile, che gli sciami di stelle, come le nebulose planetarie e le stelle in generale, sono molto più numerose nel piano della Via Lattea che nelle altre parti.

È sorprendente che gli sciami seguano fedelmente non solo il tracciato d'insieme della Via Lattea, ma anche le sue circonvoluzioni e correnti, mentre l'assenza osservabile delle nebulose - tranne le nebulose planetarie - è da rimarcare. Ciò è stato segnalato da sir W. Herschel.

Vediamo, quindi, che il maggior numero delle stelle si raggruppa nel piano della Via Lattea, così come il maggior numero delle nebulose planetarie e degli sciami di stelle.

³V. J. S. Ast. Ges., vol. XVIV, p. 13.

Capitolo 16

La distribuzione dei Gruppi chimici di stelle.

A. - Distribuzione rispetto alla direzione

Il modo più comodo di considerare la distribuzione dei diversi gruppi chimici di stelle, è di prendere come base il piano della Via Lattea, così come abbiamo già fatto quando consideriamo le stelle semplicemente come masse di materia, indipendentemente da tutta la chimica e di notare se una specie chimica particolare di stelle si raggruppa nella Via Lattea o ne è assente. Questa nuova ricerca molecolare coincide assolutamente con l'altra.

Non mi occuperò ancora qui delle distanze. Per il momento la seguente classificazione più generale, già proposta, basterà:

CLASSIFICAZIONE DELLE STELLE

Temperatura alta

Stelle gassose	Stelle a protoidrogeno - a gas della cleveite
Stelle protometalliche	
Stelle metalliche	
Stelle a spettro scanalato	

Temperatura bassa

Discutendo i lavori di altri osservatori, ho, il più possibile, ricondotto le loro diverse notazioni alla notazione chimica indicata in precedenza; in alcuni casi vi saranno da considerare i due rami della curva di temperatura.

Il primo tentativo di questo genere fu fatto nel 1884 da Duner¹, che si rese celebre per le ammirevoli osservazioni su due diverse classi di stelle, - quelle definite dalle scanalature del carbonio e quelle definite dalle scanalature metalliche. I suoi lavori erano all'incirca i soli effettuati sulle stelle a carbonio, - cioè su quelle che danno le scanalature del carbonio. Era, naturalmente, desideroso di vedere come esse fossero distribuite e diede il numero di queste stelle nelle diverse parti del cielo, rapportate alla Via Lattea. Trovò che il numero cresceva avvicinandosi alla Via Lattea. La tabella che presento mostra il risultato generale al quale è giunto.

Abbiamo visto, nel caso delle stelle ordinarie, che vi è una progressione molto rapida del loro numero dal polo della Via Lattea al suo piano; abbiamo tre stelle al polo per 53 nel piano.

Distanza dal polo galattico	Numero	Grandezza media
0° a 35°	3	6,6
35 a 60	8	6,6
60 a 70	8	7,2
70 a 80	13	7,4
80 a 90	29	8,3

Duner trovò, per le stelle al carbonio, che vi era un accrescimento molto netto dal polo verso il piano, ma noi osserviamo che il tasso di accrescimento è molto minore che per le stelle ordinarie; passa infatti da 3 al polo fino a 29 soltanto nel piano.

Pertanto, benché il numero aumenti avanzando verso la Via Lattea, non cresce così velocemente come quello delle stelle in generale. Tuttavia possiamo dire in base alle sue osservazioni che vi è un accrescimento avvicinandosi al piano della Via Lattea e che ripartizione delle stelle al carbonio non è limitata a questo piano.

I lavori di Duner sono del 1884. Nel 1891, quando il professor Pickering ebbe riunito circa 10000 stelle nel Catalogo di Draper, cominciò a considerare la loro distribuzione nelle diverse parti dello spazio rispetto alla

¹Étoiles de la troisième classe, p. 126.

classificazione allora adottata; questa classificazione era praticamente basata su dei geroglifici, visto il poco che si sapeva della chimica di questi diversi corpi.

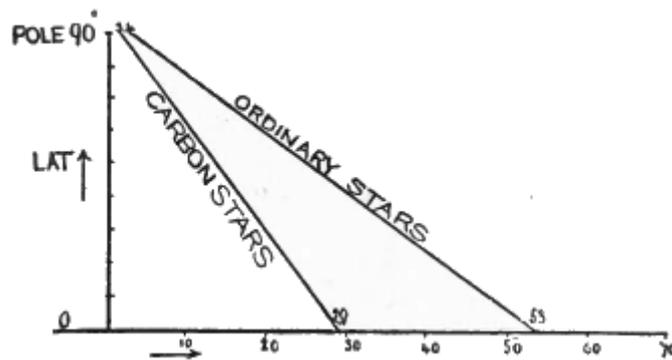


Fig. 38 - Confronto tra il numero di stelle in generale e di quelle al carbonio

Il professor Pickering trovò che la Via Lattea era dovuta ad una aggregazione di stelle bianche, ciò che corrispondeva, come sappiamo ora, alle stelle con le più alte temperature e che le più calde tra loro - cioè le stelle gassose - esistono più manifestamente nella Via Lattea. La proporzione di stelle protometalliche nella Via Lattea era maggiore per le stelle più deboli che per quelle più brillanti di questa specie, e ciò suggerì immediatamente la possibilità che la Via Lattea stessa fosse qualcosa che assorbe la luce; ne risulterebbe che le stelle più brillanti non sarebbero in realtà le più brillanti, ma quelle che apparirebbero di più poiché esse non avrebbero subito questo assorbimento più lontane da noi delle altre della stessa composizione chimica.

Arrivò a questa conclusione molto importante che le stelle metalliche, cioè analoghe al nostro sole, stelle più o meno al loro declino, non sono di preferenza situate nella Via Lattea, ma ugualmente distribuite in tutto il cielo. Quanto al gruppo di stelle che hanno scanalature nel loro spettro, possiamo trarre i migliori insegnamenti da Duner, poiché il numero di queste stelle è piccolo e esse non erano ancora completamente studiate.

Questo studio non è stato ulteriormente approfondito dallo scorso anno da parte di M. Mac Clean, che ha non solo fotografato un numero considerevole di stelle degli spettri di stelle nell'emisfero nord, ma è stato in seguito al Capo di Buona Speranza per completare il lavoro sulle stelle inferiori alla 3^a e alla 4^a grandezza, che poteva osservare in quel luogo.

Egli discusse molto accuratamente, rispetto alla Via Lattea e a certe zone galattiche, la distribuzione delle diverse specie di stelle che ebbe la possibilità di fotografare.

Egli trovò che il numero di stelle gassose è piccolo nella regione nord e sud mentre questo numero è grande nelle vicinanze della Via Lattea, di modo che noi vediamo infine esattamente come questi corpi celesti sono distribuiti.

Se prendiamo le stelle gassose, cioè le più calde, ne troviamo il minor numero nelle regioni polari, ma se prendiamo le stelle metalliche ne troviamo praticamente il più grande numero, in ogni caso un numero considerevole, nelle regioni polari. Il risultato generale è che le stelle gassose sono per la maggior parte confinate nelle zone galattiche, che le stelle protometalliche, quelle la cui grandezza è di circa $3\frac{1}{2}$, non sono confinate. Si vede anche che le stelle a scanalature metalliche sono praticamente distribuite in modo uguale nelle regioni polari e sul piano della Via Lattea; di modo che da questo punto di vista otteniamo per queste stelle un risultato equivalente a quello di Duner per le stelle al carbonio, cioè che hanno poca preferenza per la Via Lattea.

Stelle a righe brillanti

Tali sono i risultati relativi alle stelle che hanno nettamente delle righe oscure nei loro spettri, ma nel numero vi sono molte delle presunte stelle a righe brillanti. Devo dire che vi è stato necessariamente un cambiamento delle nostre idee rispetto a queste stelle a righe brillanti dopo il periodo in cui le si classificava con le nebulose.

Le nebulose sono genericamente distinte dalle stelle poiché nel loro caso abbiamo a che fare con delle righe brillanti, cioè con fenomeni di radiazione e non di assorbimento, come nel caso delle stelle considerate finora.

Nel primo caso si immaginava che le stelle a righe brillanti fossero, dal punto di vista chimico, praticamente delle nebulose, sebbene apparissero come stelle, poiché le loro condensazioni più brillanti erano così limitate o così lontane che esse hanno nel telescopio l'aspetto di stelle.

Dopo questo primo raggruppamento di stelle a righe brillanti, si è trovato principalmente, grazie ai lavori degli astronomi americani, che, in un grande numero di casi, *esse hanno anche righe nere nel loro spettro*, e che, dato ciò, dobbiamo classificarle in base alle loro righe nere e non alle loro righe brillanti; così considerate le stelle a righe brillanti si avvicinano alle stelle gassose, ma *con una differenza*.

Qual è? È questa, a quanto credo:

Nel caso di stelle a righe brillanti, abbiamo a che fare con condensazioni di nebulose tra le meno nitide del firmamento; abbiamo insieme la luce che riceviamo dal nucleo di questa nebulosa che appare come una stella e può essere spettroscopicamente classificata tra le altre stelle a righe scure, tanto più che i vapori circostanti vicino alla stella producono un assorbimento e ci danno righe oscure e le altre parti della nebulosa, probabilmente più lontane, ci danno righe brillanti mescolate a righe scure. Otteniamo, quindi, in queste condizioni righe brillanti e scure. Nella misura dei risultati ottenuti, dobbiamo considerare che queste stelle a righe brillanti, invece di essere semplicemente delle nebulose, sono stelle gassose a temperatura molto alta, poiché la nebulosa che le circonda e che cade verso di esse aumenta la temperatura della massa centrale trasformando la sua forza viva in calore. Pickering², nella sua discussione su queste stelle, si è occupato di 33 tra di esse e trovò che esse avevano una sorprendente tendenza a raggrupparsi lungo la Via Lattea, che poche tra loro, infatti, sono al di fuori del suo piano centrale, essendo la latitudine galattica - la distanza in gradi dal piano - limitata a 2° nella generalità dei casi e la più grande distanza, la latitudine galattica più elevata, essendo di 9° . Era lo stato delle cose nel 1891. Due anni dopo, Campbell, un altro eminente astronomo americano, si interessò anche alla questione delle stelle a righe brillanti e la discusse; il suo catalogo ne conteneva 55 rispetto alle 33 di Pickering. Trovò anche che esse erano riunite quasi esclusivamente nella Via Lattea e che al di fuori di essa non se ne osservavano. Voglio insistere sull'importanza di questo fatto. La linea centrale della cartina (fig. 39) rappresenta la zona galattica, il piano della Via Lattea e, per tutta la lunghezza, le diverse longitudini galattiche sono indicate; al di sotto e al di sopra del piano della Via Lattea si vede uno spazio di qualche grado a nord e a sud, sufficiente per mostrare tutte le stelle a righe brillanti discusse da Campbell. La carta mostra che tutte le stelle a righe brillanti sono realmente tutte vicine al piano centrale della Via Lattea. Una soltanto, su 55, si trova a più di 9° e ancora è in uno sperone in sporgenza, di modo che non possiamo sapere se essa è realmente al di fuori della Via Lattea. Si deve notare che queste stelle a righe brillanti non sono ugualmente distribuite lungo la Via Lattea.

Esse sono principalmente addensate nelle due opposte regioni e vi è una regione in cui sono marcatamente assenti.

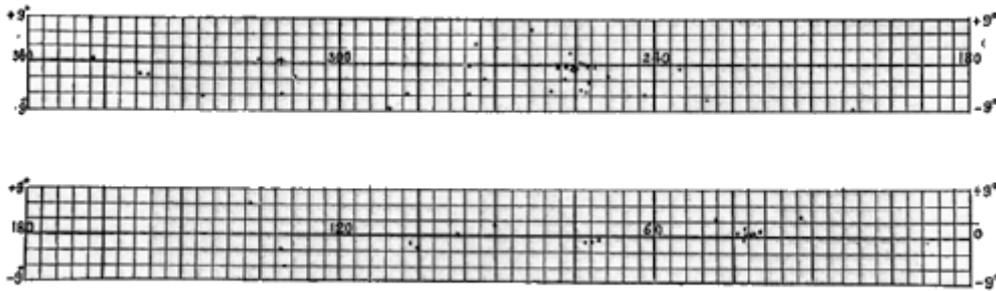


Fig. 39 - Distribuzione delle stelle a righe brillanti nella Via Lattea

Le figure 40 e 41 sono fotografie di un globo di vetro sul quale è indicata la Via Lattea. La Via Lattea secondaria, che si separa dalla principale in un punto dei cieli per ricongiungersi più lontano, vi è anche raffigurata con la via stellata di Gould e il piano dell'equatore. I dischi scuri indicano posizioni di stelle a righe brillanti.

²Astr. Nach., n° 2025.

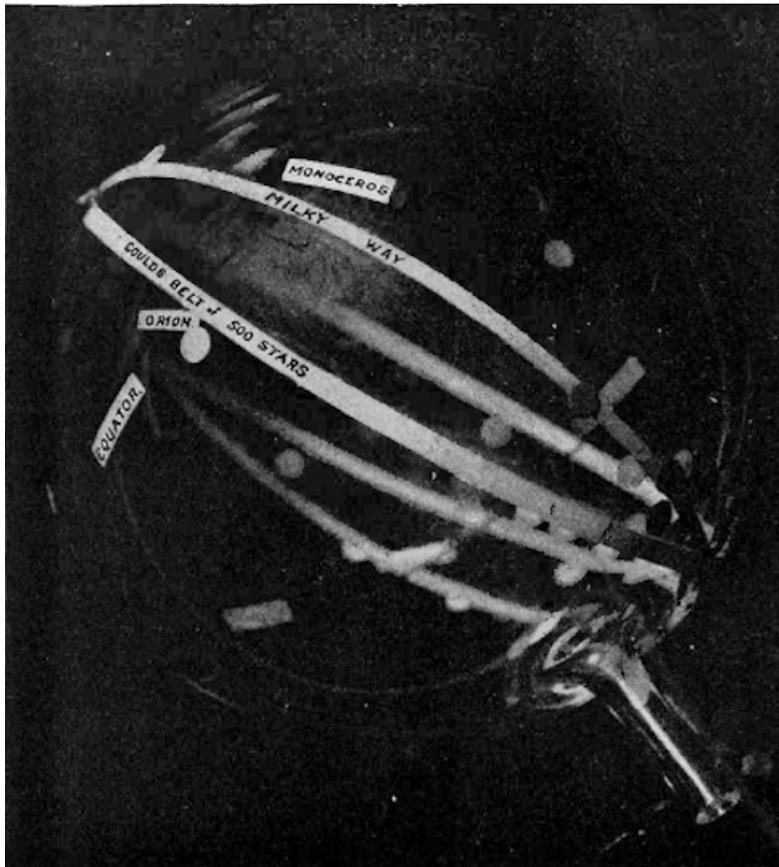


Fig. 40 - Fotografia di un globo di vetro mostrante la relazione tra la Via Lattea, la via stellata di Gould e l'equatore.

Troviamo che queste stelle iniziano proprio ad apparire prima dello sdoppiamento. Esse continuano lungo il piano della via: esse vi si trovano qua e là molto numerose e non se ne incontrano più dopo lo sdoppiamento; osserviamo che su una grande lunghezza della Via Lattea, là dove essa è semplice, non vi sono stelle a righe brillanti. Sembra veramente che vi sia, in questo sdoppiamento della Via Lattea, una causa generatrice delle condizioni che producono le stelle a righe brillanti.

Dai lavori di Duner, Pickering, Mac Clean e Campbell, iniziamo ad avere delle informazioni definitive sulla distribuzione delle diverse specie chimiche di stelle rispetto alla Via Lattea, Come ho già evidenziato, della stretta associazione delle stelle a righe brillanti con le nebulose non se ne parla neppure. Dobbiamo ora, a questo punto di vista delle distribuzioni, occuparci delle nebulose, ma qui vi sono alcune difficoltà.

Ho già detto che dal punto di vista delle nebulose in generale, è difficile parlare con certezza poiché, finora, non si è avuto, durante un tempo assai lungo, un numero sufficiente di osservatori per classificare le migliaia di nebulose che conosciamo, in nebulose a spettro gassoso e in nebulose a spettro detto continuo, apparendo queste di costituzione del tutto diversa. Possiamo andare ancora un poco oltre, grazie ad alcune figure che ho notato. Possiamo sempre vedere se vi è qualche differenza nella distribuzione di queste nebulose che sono indubabilmente masse gassose e che ci danno ciò che si chiama lo spettro nebulose, e di queste altre nebulose, di cui attualmente sappiamo molto poco e che ci danno quelli che si chiamano spettri continui. È chiaro che a questo riguardo, in un tempo più o meno lungo, si apprenderà molto. Le figure che presento forniscono i risultati per l'anno 1894. Se prendiamo la regione vicina alla Via Lattea, la regione limitata da 10° di latitudine galattica nord e sud, vi troviamo 42 nebulose planetarie, ma il numero si riduce a cinque se cerchiamo al di fuori di 10° di latitudine. Se prendiamo altre nebulose, non necessariamente planetarie ma gassose come quelle planetarie, tanto più che esse ci danno uno spettro di righe brillanti, troviamo che ve ne sono 22 nella Via Lattea, o ad essa molto vicine, e solamente 6 al di fuori. Se prendiamo quelle che si chiamano nebulose a spettro continuo, che possono benissimo non essere nebulose - ce le raffiguriamo come nebulose unicamente perché sono così lontane che non sappiamo nulla di preciso su di esse, - troviamo queste proporzioni assolutamente capovolte. Ve ne sono solo 14 nel piano della Via Lattea, e 43 al di fuori; abbiamo 84 nebulose planetarie e altre che danno righe brillanti poste in uno spazio di 10° attorno al piano della Via Lattea, mentre nello stesso spazio ne abbiamo 25 a spettro continuo.

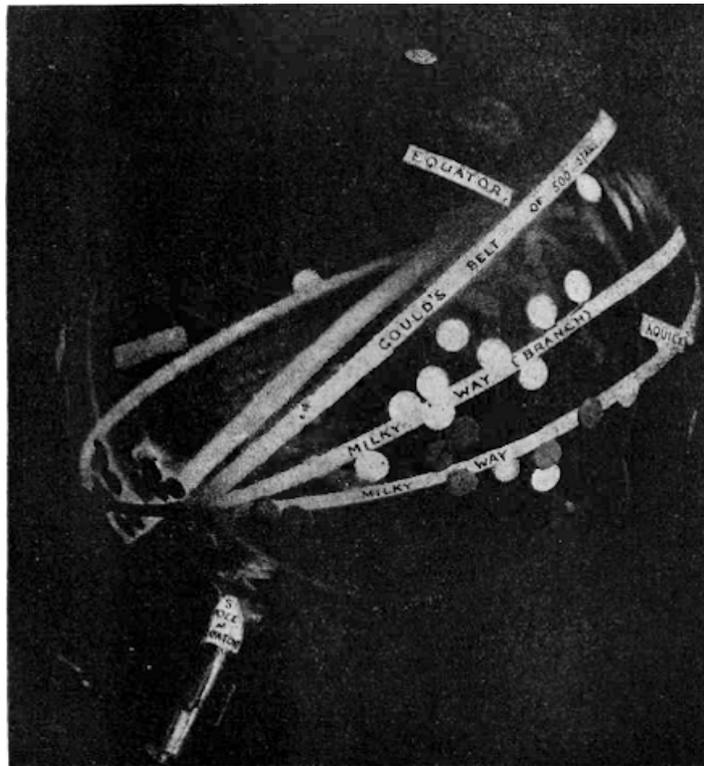


Fig. 41 - La via Lattea, nella regione in cui essa si raddoppia, nelle sue relazioni con l'equatore e la via stellata di Gould, mostrandone che le stelle a righe brillanti (dischi scuri) e le stelle nuove (dischi bianchi) sono limitate alla Via Lattea.

Abbiamo così una identità assoluta di risultati tra le stelle a righe brillanti e gli altri corpi celesti che ci danno righe brillanti.

Vi è un'altra classe di corpi di estremo interesse. Per alcuni, questi corpi sono più interessanti di tutte le stelle del cielo, poiché sono le misteriose "stelle nuove" che si suppongono di nuova formazione. Quando esaminiamo queste stelle dette nuove, vediamo che esse sono limitate quasi esclusivamente alla Via Lattea. Le nostre informazioni su di esse iniziano nell'anno 134 *a.C* e terminano lo scorso anno. Il numero di stelle date come stelle nuove è di 31 e di esse soltanto tre sono state viste al di fuori della Via Lattea. La figura 40 mostra i fatti che riguardano le stelle nuove. Le stelle a righe brillanti sono contrassegnate da dischi scuri, le stelle nuove da dischi bianchi. Si osserverà che là dove abbiamo più dischi scuri abbiamo un numero considerevole di dischi bianchi. Ciò significa che queste stelle nuove hanno la loro origine nella parte dello spazio occupato dalle stelle a righe brillanti ed è interessante constatare che il vuoto relativo, indicato nella parte in cui la Via Lattea è semplice e senza stelle a righe brillanti, si ripete per le stelle nuove. Se ne è incontrata solo una in questa regione (fig. 41).

Come ho già detto, molte persone hanno manifestato grande interesse al problema delle stelle nuove poiché, quando una stella appariva in una parte del cielo in cui prima non vi erano stelle, si immaginava che qualcosa di meraviglioso e di miracoloso fosse avvenuto. Era ammissibile quando eravamo ignoranti; ma lavori recenti provano quasi fino all'evidenza che la formazione di stelle nuove avrebbe semplicemente la seguente origine. Abbiamo nelle vicinanze della Via Lattea un gran numero di nebulose, planetarie e altre. Ne troviamo là più che in altra parte del cielo. Le masse nebulose che si osservano possono contenere correnti di meteoriti circolanti sotto l'azione della gravitazione. L'origine di una stella nuova è dovuta all'invasione improvvisa di una di queste nebulose non ancora catalogate tramite una di queste correnti meteoritiche. Si produce un urto. Sappiamo che queste meteoriti entrano nella nostra atmosfera alla velocità di 33 miglia al secondo; possiamo, quindi, dire che ogni meteorite nello spazio, anche nella Via Lattea, circola all'incirca a questa velocità.

Se una corrente che si muove altrettanto rapidamente viene ad attraversare una nebulosa che supponiamo essere una massa di meteoriti più o meno a riposo, vi saranno naturalmente delle collisioni; naturalmente vi sarà pure una produzione di calore e, di conseguenza, di luce.

Quando la corrente ha finito di passare attraverso la nebulosa, la luce diminuisce e, infine, l'attenzione che era stata richiamata da questo cataclisma su questa porzione speciale dello spazio, noi scopriremo che là comparirà una nebulosa. È sempre stato così. Di conseguenza, nel caso di stelle nuove, dobbiamo sempre attenderci di avere indicazioni sull'esistenza di due corpi, l'invasore e l'invaso. Dobbiamo pure attenderci, se abbiamo a che fare con piccole particelle di polvere meteoritica, che l'azione sia molto rapida e che ciò che si è mescolato sia bruscamente concluso. Tutto ciò concorda con i fatti. Nel caso della stella nuova che abbiamo avuto la fortuna di poter osservare nell'emisfero boreale, la stella nuova della costellazione dell'Auriga, abbiamo ottenuto indicazioni

indubitabili del fatto che abbiamo a che fare con due masse differenti di materia. Infatti, se prendiamo le righe principali indicate G , h , H , K (fig. 42), cioè le righe dell'idrogeno e del calcio, troviamo insieme righe brillanti e scure, ciò che significa che vi è luce emessa dall'idrogeno e dal calcio e luce da essi arrestata. Vi dovevano essere certe particelle di idrogeno e calcio che emettevano luce e altre che ne assorbivano; non possiamo immaginare che siano le stesse particelle che ad avere svolto due ruoli. E se riguardiamo attentamente la fotografia, vediamo che le righe brillanti e scure sono fianco a fianco; sappiamo che ciò indica un cambiamento di lunghezza d'onda conseguenza di un movimento e questo cambiamento di lunghezza d'onda ci permette anche di calcolare che la differenza di velocità tra le particelle di idrogeno e di carbonio che ci danno le righe più brillanti e quelle che danno le righe scure è di circa cinquecento miglia al secondo. Ne deduciamo la prova indiscutibile che ci troviamo di fronte a due serie interamente diverse di particelle, che si muovono in direzioni opposte e che è per questo motivo che abbiamo queste illuminazioni improvvise e brevi dopo le quali troviamo una nebulosa che non conosceamo al posto della nuova stella.

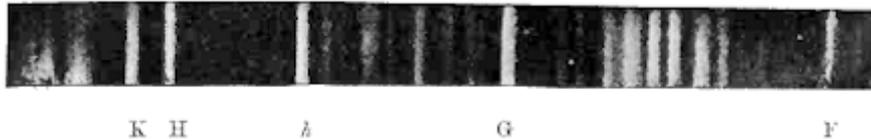


Fig. 42 - Lo spettro della nuova stella dell'Auriga che mostra insieme righe scure e brillanti.

Questa nebulosa non è il risultato, ma la causa del fenomeno osservato; solo noi non conosciamo la sua esistenza prima che la nostra attenzione venga richiamata su questa porzione dei cieli.

B. - Distribuzione rispetto alla distanza

Ecco, nella forma più generale, quanto riguarda la distribuzione dei diversi gruppi di stelle e dei gruppi di nebulose. Vediamo, in secondo luogo, ciò che sappiamo sulle distanze dei corpi.

Si comprenderà ciò che serve agli astronomi per determinare la distanza della terra dalle diverse stelle considerando quello che percepisce un viaggiatore su un treno. Se il treno cammina a una buona velocità e noi osserviamo gli oggetti ravvicinati, ci appariranno correre con una velocità che affatica gli occhi. Più lontani sono gli oggetti che guardiamo e più essi sembrano andare lentamente e meno l'occhio si affatica.

Supponiamo ora che invece del treno, siano i diversi oggetti a spostarsi mentre noi restiamo a riposo. Allora gli oggetti che sembreranno muoversi più rapidamente saranno i più vicini e i più lontani, propriamente perché sono i più distanti, appariranno dotati di un moto più lento. Nel caso, cioè, di oggetti più vicini a noi, avremo ciò che si chiama un grande "moto proprio" e un piccolo moto proprio nel caso di oggetti che sono più lontani.

Su questo tema sono stati prodotti dei bei lavori da parte di numerosi astronomi.

Fu M. Monck che, per primo, mostrò nel 1892³ che le stelle gassose hanno il più piccolo moto proprio, cioè che le stelle più calde sono più lontane da noi di quelle fredde.

Trovò poi che il moto proprio delle stelle protometalliche, - meno calde delle stelle gassose, ma più calde di quelle metalliche, - ha un valore immediatamente superiore. È naturale ammettere che ciò indica che le stelle metalliche sono le più vicine a noi, a meno che il moto proprio non dipenda dalla distanza ma piuttosto da una velocità media più grande nello spazio.

Si è mostrato, tuttavia, mediante considerazioni tratte dal moto del sole nello spazio, che bisogna probabilmente respingere questa idea. La prima discussione del moto proprio dimostrò grossolanamente che più una stella è calda e più essa è lontana da noi; è questa una buona ragione per concludere che il nostro sole appartiene a un gruppo o sciame nel quale il tipo spettrale dominante è analogo allo spettro solare.

Kapteyn spinse queste ricerche un poco più avanti⁴. Partendo da questa idea che le stelle il cui moto proprio è il più rapido sono in media le più vicine, ne concluse che la parte del moto proprio dovuto alla traslazione del sole nello spazio deve essere rigorosamente legata alla distanza; determinò questa parte risolvendo il moto proprio osservato lungo un grande cerchio passante per il punto dello spazio verso il quale il sole si muove, che si chiama l'apice dell'orbita solare e riportandolo a un punto a 90° da questo apice. I suoi risultati furono praticamente gli stessi di quelli che ottengono prendendo i moti propri individuali.

Trovò così che le stelle il cui moto proprio è il più grande sono generalmente metalliche e non hanno alcun rapporto con la Via Lattea e che le stelle il cui moto proprio è molto piccolo o anche non osservabile sono gassose e protometalliche, ivi compreso un piccolo numero di stelle metalliche raggruppate nel piano galattico.

In ciò è in accordo con le prime osservazioni sulle quali ho richiamato l'attenzione. I moti propri medi sono indicati nella tabella seguente.

³Astronomie et astrophysique, vol. XVIII, 2, p. 876.

⁴Amsterdam Academy of science, 1893.

<i>Relazioni tra gli spettri delle stelle e i loro moti propri (Kapteyn)</i>				
Moto proprio medio delle stelle	Stelle gassose e protometalliche	Stelle metalliche	Scanalature metalliche	Proporzione stelle metalliche e gassose
1",39	2	51	"	17,0
0,52	12	66	1	5,5
0,35	14	66	"	4,7
0,24	34	124	"	3,6
0,18	35	67	3	1,9
Non valutabile	79	35	1	0,44

Troviamo che il numero delle stelle gassose e protometalliche aumenta al diminuire del moto proprio.

Abbiamo così il rapporto tra il numero di stelle metalliche e quello delle stelle gassose e protometalliche. Questo rapporto varia da 17 a circa 0,4, di modo che si possono considerare questi risultati come ben definiti. I risultati sono stati ottenuti da Kapteyn su 591 stelle che erano comuni al catalogo dei moti propri di Stumpe e al catalogo degli spettri di Draper. Si può, quindi, dire che le stelle metalliche sono 17 volte più numerose di quelle gassose alla distanza minore, mentre alla distanza maggiore, le prime sono meno della metà delle ultime.

Qui si pone di nuovo la questione di sapere in quale misura bisogna tener conto dello splendore intrinseco di questi corpi rispetto alla distanza che le separa da noi e all'indebolimento più o meno grande che la loro intensità luminosa può subire attraversando lo spazio. È un problema la cui soluzione richiederà ancora molto lavoro in avvenire.

È particolarmente notevole che se prendiamo le quattro stelle con il moto proprio maggiore, molto più grande della media, troviamo che tre di loro sono certamente metalliche, ma è possibile che la stella 1830 Groombridge, che si vede sempre superare il record di velocità, - essa andrebbe da Londra a Pechino in circa due minuti, - non sia una stella metallica⁵.

⁵Queste stelle sono:

1830 Groombridge	7",04	Gassose o protometallica
Σ 2758	5,196	Metallica
Σ 578	4,049	Probabilmente metallica
D.C., 583	3,7	Metallica

Capitolo 17

Risultati della ricerca

Siamo infine giunti a un punto in cui possiamo fare un riassunto generale della legge secondo la quale i diversi gruppi chimici di stelle sono distribuiti nello spazio, da un doppio punto di osservazione: 1° quello della direzione nello spazio, visto dal sistema solare, direzione molto favorevole rispetto alle longitudini e latitudine galattiche; 2° quello della distanza che ci separa dai gruppi di stelle.

I risultati ai quali si è giunti nei due capitoli precedenti possono essere riassunti come segue. Consideriamo dapprima le stelle studiate in base ai loro fenomeni di assorbimento.

Troviamo che le stelle gassose sono principalmente nella Via Lattea e sono lontane da noi, che le stelle protometalliche non sono così esclusivamente confinate nella Via Lattea e non sono così lontane. Ma quando arriviamo alle stelle metalliche e a quelle al carbonio, non troviamo più delle relazioni sorprendenti con la Via Lattea e queste stelle sono vicine a noi.

Sfortunatamente le informazioni non sono così complete per le stelle metalliche a scanalature. M. Mac Clean si è occupato solo di un piccolo numero di esse e ha mostrato che sono, come le stelle al carbonio e quelle di Duner, molto poco in rapporto con la Via Lattea. Otteniamo in tal modo un'enorme separazione tra le stelle calde con la loro grande distanza e le stelle più fredde con la loro distanza minore.

Gruppo	Relazione con la Via Lattea	Moto proprio
Stelle gassose	Raggruppate nella Via Lattea (Pickering e Mac Clean)	Molto piccolo ¹ . (Monck)
Protometalliche	Le più brillanti non sono particolarmente raggruppate nella Via Lattea (Mac Clean). Esse tendono a riunirsi, specialmente le più deboli (Pickering)	Intermedie
Metalliche	Non raggruppate nella Via Lattea. (Pickering e Mac Clean). Riunite nella Via Lattea (Kapteyn)	Div. 1. Molto grande (Kapteyn) Div. 2. Piccolo (Kapteyn)
Scanalature metalliche	?	?
Carbonio	?	?

Sebbene questa discussione sulla distribuzione dei diversi tipi di spettri stellari indichi una tendenza collettiva di certe tipologie, essa prova, nello stesso tempo, che le sostanze chimiche rappresentate in queste tipologie non sono limitate alle regioni in cui esse predominano.

Così abbiamo idrogeno in tutte le stelle, tranne quelle al carbonio. Sebbene le stelle che mostrano forti indicazioni di elio siano più numerose nella Via Lattea e dintorni, stelle di questa specie appaiono in altre parti dello spazio, lontane dalla Via Lattea, tra le quali le stelle brillanti della Spiga della Vergine e η dell'Orsa Maggiore.

Oltre a questa prova della grande diffusione dell'elio, vi è la prova indiretta basata sul fatto che la presenza dell'elio è riconosciuta nel sole, sebbene non sia rappresentata tra le righe di Fraunhofer. Per analogia dobbiamo ammettere che l'elio esiste pure in Arturo e nelle migliaia di stelle che hanno spettri analoghi a quello del sole senza avere relazioni speciali con la Via Lattea. L'elio deve, quindi, essere, come l'idrogeno, distribuito in tutte le direzioni attorno al sole preso come centro.

Il carbonio ci fornisce un altro esempio di questa distribuzione generale di un elemento particolare. Nelle stelle più calde, nelle stelle analoghe al sole e nelle stelle più fredde, troviamo pure indicazioni dell'esistenza di questa sostanza, di modo che la localizzazione di un particolare tipo di stelle in una porzione dello spazio non

¹Kapteyn trova per le stelle gassose e protometalliche un debole moto proprio, ma non le divide in due gruppi

implica per questa parte l'assenza del carbonio. Analogamente troviamo i caratteri del ferro - sia sotto forma di ferro, sia di protoferro - in una grande varietà di tipi stellari e possiamo dire anche che il calcio e il magnesio manifestano direttamente la loro presenza in quasi tutte le stelle.

Siamo portati in tal modo a concludere che dal punto di vista della direzione nello spazio, non vi è localizzazione degli elementi chimici. Mentre la discussione del moto proprio indica che i tipi particolari di stelle tendono ad assomigliarsi a distanze speciali a ciascuna di esse, questa localizzazione non ha nulla di assoluto.

Alcune stelle di ogni tipo hanno moti propri molto diversi dalla media. Ad ogni distanza da noi, troviamo gli stessi tipi di stelle e, di conseguenza, la prova dell'esistenza di sostanze chimiche simili.

Abbiamo già visto che la chimica è la stessa in tutte le direzioni, di modo che possiamo infine ammettere che la chimica di tutte le parti dello spazio è la stessa. In altre parole, non esistono gruppi chimici necessari alla teoria che vuole che i tipi stellari rappresentino condizioni chimiche differenti attinenti la presenza o l'assenza di certi elementi. In qualche direzione a partire dal nostro sistema, in alcuni strati che lo circondano, non si trova un elemento chimico che non si incontri pure in altre direzioni e in altri strati.

La maggiore obiezione contro la prova stellare dell'ipotesi della dissociazione svanisce. Il nostro lungo studio sulla questione ci ha dato un solido appoggio non solo per l'ipotesi della dissociazione, ma anche per l'ipotesi meteoritica.

Siccome, da quest'ultima ipotesi, le stelle si scaldano a causa delle collisioni meteoritiche, possiamo sperare di trovare nelle nebulose le condizioni favorevoli allo studio della loro origine. Vedendo che le nebulose sono ammassi di meteoriti, ci dobbiamo attendere di trovare le nebulose gassose e i corpi che ne risultano, nella regione in cui esistono le stelle più calde e dove la dissociazione è stata studiata.

Le nebulose planetarie consistono di correnti di meteoriti, che si muovono in genere a spirale o seguendo orbite circolari. Non si sono mai presentate grandi perturbazioni. Esse ci danno uno spettro di righe brillanti e sappiamo che esse sono limitate alla Via Lattea. Abbiamo trovato che le stelle a righe brillanti sono limitate alla Via Lattea. Queste sono semplicemente stelle inglobate nelle nebulose. È un legame ulteriore tra le nebulose e la Via Lattea. Le stelle nuove sono dovute a nebulose relativamente fisse attraversate da nebulose in movimento come le comete ed esse sono all'incirca limitate nella Via Lattea. Là, ancora, troviamo l'impronta della nebulosa. Le regioni a nebulose che Sir William Herschel fu il primo a segnalare sono più importanti nelle vicinanze della Via Lattea che in altre parti.

Si vede che abbiamo una associazione stretta tra le nebulose, le condizioni di una dissociazione possibile e le stelle ad alta temperatura, nelle quali la dissociazione è stata studiata e siamo infine di fronte ad una spiegazione semplice della stretta contiguità tra questi fenomeni in apparenza così diversi.

Capitolo 18

Risposte ad obiezioni particolari

Tratto ora obiezioni meno generali. Nel 1897, portai la questione della dissociazione davanti alla Società Reale. In quella occasione, feci osservare come si era proposto di spiegare le differenze spettrali esistenti tra stelle come le seguenti: Bellatrix, che contiene idrogeno e gas della cleveite; Sirio, nella quale si trova in proporzioni enormi; infine il nostro sole e le stelle che gli somigliano e nelle quali l'atmosfera è soprattutto metallica. La spiegazione si basa sull'ipotesi che "l'idrogeno e i gas della cleveite si sprigionino, per una ragione qualsiasi, dalla mescolanza dei vapori metallici e vadano a formare ad esse solo un'atmosfera superiore particolare; a causa della grande semplicità chimica di questa atmosfera, le righe dei gas che la costituiscono assumono una maggiore importanza¹"; io aggiunsi: "Ma questo argomento non è filosofico, poiché nulla ci autorizza a non immaginare simile cambiamento²". Questa osservazione, che si riferisce a un punto molto speciale, fu sfortunatamente compresa e il Dr. Schuster, nella discussione, disse:

"Se M. Lockyer si fosse limitato a presentarci la sua ipotesi come legittima, consistente e meritevole di attenzione, molti tra noi avrebbero ammesso che egli aveva ragione. Ma egli dichiara che la sua teoria è la sola che possa spiegare i fatti e respinge come anti-filosofica la sola alternativa che egli discute."

A dispetto di questo malinteso, tuttavia, le critiche del Dr. Schuster hanno un grande valore e mi propongo di esaminarle e di rispondere nel miglior modo possibile. Posso aggiungere che egli ammette il mio sistema di classificazione, che insiste sulla necessità di un richiamo costante al lavoro di laboratorio e che riconosce nello stesso tempo che le ricerche sulle righe intensificate "hanno costituito un reale progresso". In un mio articolo, facevo notare, a proposito delle atmosfere stellari, che ciò che potremmo aspettarci di osservare, supponendo un innalzamento della temperatura del sole, sarebbe molto diverso se ci fosse o meno la dissociazione. Dicevo:

"Nell'ipotesi usuale, il solo cambiamento che possiamo immaginare, come risultante da un aumento di temperatura, sarebbe una diminuzione di densità e un uguale indebolimento di tutte le righe che accompagnano l'aumento di volume. Ma è precisamente ciò che non avviene."

Il Dr. Schuster scrive a questo proposito:

"Io non posso essere di questo avviso. Il fatto principale da spiegare è la sostituzione graduale dell'idrogeno, che è predominante nelle stelle più calde, con il calcio, il ferro e altri metalli.

"Vi sono secondo me numerose cause che agiscono per produrre un tale effetto. Una massa di gas infiammato può essere sia in equilibrio termico, sia in equilibrio convettivo e gli aspetti nei due casi saranno profondamente diversi. In realtà uno stato intermedio si è probabilmente prodotto, ma vi sono buone ragioni di credere che il nostro sole è più vicino allo stato di equilibrio convettivo delle stelle a idrogeno.

"È un fatto stabilito che vi sono correnti convettive intense nelle vicinanze della superficie del sole. Si giunge così a una distribuzione uniforme di materia e vi sono enormi differenze di temperatura tra strati relativamente molto vicini. Coloro che non si sono specialmente occupati di questo argomento possono difficilmente immaginarsi le differenze di temperatura prodotte dalle correnti convettive. Sulla superficie del sole la caduta di temperatura prodotta dalle correnti convettive equivale a 20000° per una differenza di livello di 100 km, di modo che una distanza angolare di un secondo d'arco corrisponderebbe a una differenza di 100000°. L'irraggiamento e la condensazione diminuirebbero questa caduta, ma vi sono prove spettroscopiche che essa è considerevole.

"Così, dai risultati di MM. Jewell, Mohler e Humphreys³, la pressione sarebbe di circa 6 atmosfere nello strato di inversione per il calcio ad alta temperatura, che dà le righe *H* e *K*, mentre il vapore di calcio, più freddo, è a circa tre atmosfere. Con una costante di gravitazione ventisette volte maggiore di quella terrestre, una differenza di tre atmosfere indica solo una differenza minima di livello. Così, mentre, nel sole, dobbiamo ammettere un'agitazione più o meno efficace dei costituenti nello stesso tempo di una progressione rapidamente crescente delle temperature, abbiamo la prova che il contrario si produce in stelle come γ Lira.

¹Proc. Roy. Soc., vol. LXI, p. 202.

²Proc. Roy. Soc., vol. LXI, p. 202.

³Astrophysical Journal, III, p. 138.

“Lo spettro di questa stella, secondo il Pr. Lockyer, contiene soltanto le righe di alta temperatura del ferro. Questo significa che lo strato di inversione è molto caldo e anche che non vi sono rapidi cambiamenti di temperatura da un livello all’altro. È impossibile immaginare questo strato di gas caldo che finisce bruscamente. Esso deve essere circondato da una materia più fredda che non può essere ferro, poiché le righe di bassa temperatura del ferro non compaiono.

“In una stella di questo tipo non vi può essere una reale mescolanza di costituenti e, di conseguenza, gli strati di gas si distribuiscono secondo le leggi della diffusione. Ne segue che l’idrogeno, gas più leggero del ferro, sarà principalmente rappresentato negli strati più freddi dell’esterno, mentre il ferro si troverà soprattutto nelle parti più calde dell’interno. La proporzione relativa dei diversi elementi nei diversi strati sarà regolata in parte dalla loro densità, ma anche dalle rispettive quantità di questi elementi presenti in ogni stella, poiché i diversi gas non fluttueranno l’uno sull’altro come i liquidi, ma la densità di ogni gas aumenterà progressivamente dalla superficie al centro. Secondo questa teoria, la principale differenza tra una stella a idrogeno e una stella del tipo solare consiste nella mescolanza più o meno effettiva dei costituenti. Se potessimo produrre una miscela in γ Lira, le righe del ferro apparirebbero senza alcun dubbio, mentre se potessimo arrestare le correnti convettive alla superficie del sole, l’idrogeno che si trova ora sotto la fotosfera si diffonderebbe gradualmente e le sue righe di assorbimento caratteristiche assumerebbero maggiore importanza.

“Siccome possediamo la prova diretta dell’assenza di correnti convettive nelle stelle più calde, non è necessario per la mia argomentazione discutere perché sia così, ma si può vedere che la diminuzione del peso e della densità, e l’aumento della viscosità che ne è la conseguenza, contribuiranno all’effetto; mentre, a causa della minore densità, un irraggiamento più uniforme si produrrà attraverso uno strato più spesso dell’involuppo, di modo che la causa principale delle correnti convettive sarà fortemente ridotta.”

In risposta a queste obiezioni, mi occuperò dapprima delle correnti convettive e dell’enorme caduta della temperatura che il Dr. Schuster suppone. Nel sole, hanno luogo, secondo lui, correnti convettive di questo genere (correnti che sono assenti nella Lira); esse sono sufficientemente potenti da causare una differenza di 20000° centigradi per cento chilometri di differenza di livello, o, come egli si esprime in altra parte, di 100000° per secondo d’arco.

Le fotografie di eclissi non danno alcuna prova di cadute di temperatura così brusche come quelle che suppone il Dr. Schuster. Nella serie dell’India, due fotografie successive prese a intervalli di circa un secondo, quasi all’inizio della totalità dell’eclissi, differiscono tanto più quanto la prima comprende uno strato di circa centocinquanta miglia al di sopra della fotosfera, strato che sarebbe stato coperto dalla luna quando la seconda fotografia fu presa (salvo gli effetti che potevano risultare dalle irregolarità del disco lunare). Tuttavia non vi è grande differenza tra gli spettri. Entrambi contengono circa lo stesso numero di righe d’arco e di righe intensificate e mostrano così che la temperatura cambia poco su un’altezza di 150 miglia. Infatti, su una distanza di 500 miglia al di sopra della fotosfera, lo spettro non indica cambiamenti importanti di temperatura.

Siamo quindi, grazie alle fotografie dell’eclissi, messi in presenza dei fatti, e noi non troviamo grandi cambiamenti spettrali in una regione in cui il Dr. Schuster suppone una differenza di 100000° centigradi. Dobbiamo prendere questo valore per quello della temperatura solare al livello della fotosfera? Se così è, come il Dr. Schuster lo concilia con i valori ottenuti dai precedenti ricercatori che la danno inferiore a 10000° e anche con il valore di 28000° fissato da Homer Lane?

I fatti mostrano con certezza che non vi sono nel sole le enormi correnti convettive richieste dalle teorie del Dr. Schuster.

Il Dr. Schuster si appoggia sulle conclusioni di MM. Jewell e altri, relativamente alla pressione del calcio caldo e del calcio freddo nello strato di inversione. Egli mostra così di ammettere la mia teoria secondo la quale abbiamo a che fare in questo caso con molecole diverse; ma tengo a far notare che non dobbiamo accettare troppo precipitosamente le conclusioni alle quali egli si riferisce, poiché, di primo acchito, le fotografie dell’eclissi non concordano con esse.

In queste fotografie (1898) lo strato K raggiunge un’altezza di 6000 miglia, lo strato di lunghezza d’onda b , $\lambda = 4226,9$, si innalza solo a 2000 miglia. Ciò porta a pensare che il calcio freddo cade ed è dissociato nelle profondità. In ogni caso questo non significa che vi sia uno strato di calcio freddo ad un’altezza maggiore e sotto una pressione minore che circonda uno strato più caldo ad una temperatura minore e a una pressione maggiore.

La prova sulla quale ci si basa per affermare che mancano moti convettivi nelle stelle più calde a temperatura decrescente come γ Lira, non sembrerebbe decisiva. Ammettiamola tuttavia.

L’assenza di righe del ferro freddo mostra solo che siamo in regioni con una temperatura superiore a quella del sole. Non vi può essere tuttavia un innalzamento rapido della temperatura che va dalla temperatura “alta” alla “più alta”, così come vi è nel sole un rapido aumento dalla temperatura “bassa” a quella “alta”. Ma, in ogni caso, la semplice mescolanza in γ Lira non renderebbe il suo spettro simile a quello del sole. Una simile mescolanza non potrebbe far apparire le righe del ferro freddo a meno che il protoferro fosse nello stesso tempo portato nelle regioni più fredde, dove potrebbe divenire ferro e produrre allora le righe di assorbimento del ferro freddo nello spettro della stella. Ma non ne segue affatto che le righe del ferro così prodotte sarebbero così forti come nello spettro solare, poiché sappiamo che la proporzione di protoferro assorbente è piccola. Inoltre, questa mescolanza potrebbe difficilmente ridurre l’intensità delle righe dell’idrogeno.

Tuttavia, una riduzione di temperatura ci fornisce una spiegazione sufficiente dei cambiamenti osservati passando da una stella come γ Lira a una stella come il sole. Le righe fredde del ferro appariranno evidentemente e queste righe diverranno più forti se il ferro può formarsi a spese dell'idrogeno.

Se capovolgiamo l'ipotesi e supponiamo fermate le correnti convettive immaginate nel sole, non vedo come un tale stato di cose avrebbe come risultato la trasformazione dello spettro effettivo del sole in uno spettro come quello di γ Lira. Dobbiamo, in effetti, spiegare non solo l'intensità maggiore delle righe dell'idrogeno, ma la comparsa delle righe intensificate del ferro come righe di assorbimento. Ora, queste righe intensificate sono già nella cromosfera solare e sono verosimilmente assenti nello spettro di Fraunhofer, poiché il vapore che produce è ad una temperatura vicina a quella della fotosfera.

È possibile che uno stato di riposo nel sole innalzi di molto la temperatura della fotosfera per rendere visibili l'assorbimento prodotto da questi vapori ad alta temperatura? E, se ciò fosse possibile, non ci sarebbe ancora alcuna ragione che spieghi la scomparsa delle righe fredde del ferro. In tutti i casi il passaggio dallo spettro del sole a quello di γ Lira si spiega se ammettiamo che vi sia un aumento di temperatura che produce protoferro con il vapore freddo del ferro esistente in precedenza e una dissociazione in grado di produrre a spese del protoferro l'aumento constatato dell'assorbimento da parte dell'idrogeno.

Non si vede chiaramente come l'aumento dell'assorbimento da parte dell'idrogeno si possa spiegare altrimenti. L'idea che l'idrogeno si sprigioni da strati inferiori della fotosfera per produrre questo effetto non è molto ammissibile.

La discussione definitiva dell'argomento come quello che ci occupa è alquanto difficile, poiché sappiamo dallo studio del sole che l'assorbimento che possiamo registrare non è quello di una regione media.

Né l'elio né il coronio lasciano la loro impronta tra le righe di Fraunhofer. Tutti ammetteranno certamente che vi sono centinaia di sostanze nelle alte regioni fredde dell'atmosfera solare che non danno alcuna indicazione della loro esistenza. Come potremmo dire allora che, nelle condizioni ammesse dal Dr. Schuster, "non si può avere *alcun dubbio*, che le righe di bassa temperatura del ferro farebbero la loro comparsa".

Il Dr. Schuster allude anche all'idrogeno "imprigionato sotto la fotosfera". Vi è qualche giustificazione di tale teoria? La storia completa dell'idrogeno, compresa la presenza del protoidrogeno nelle atmosfere stellari, è spiegata in modo semplice e sufficiente dall'ipotesi della dissociazione. Dubito che una spiegazione che necessita dell'ipotesi di un simile imprigionamento dell'idrogeno sia più soddisfacente.

Introduco ora un'altra citazione del dottor Schuster:

"Vi è specialmente una questione alla quale il professor Lockyer deve essere pronto a rispondere. Tra i metalli pesanti, il tellurio, l'antimonio, il mercurio, non sono rappresentati nel sole, ma li si trova in Aldebaran. Per essere conseguenti con noi stessi, dobbiamo, se adottiamo la teoria della dissociazione, ammettere che nel sole questi metalli sono decomposti. Ma, se lo comprendo bene, il professor Lockyer crede che con le nostre scintille più potenti sia possibile superare lo stato di dissociazione esistente nello strato di inversione del sole. Ora, se facciamo scaturire una di queste potenti scintille da un polo di mercurio, avremo delle righe di elio o di calcio o di idrogeno? Questa mi pare un'esperienza a dir poco cruciale.

"È, naturalmente, possibile che otteniamo righe di alta temperatura, non ancora ricercate, ma presenti nel sole; e, in questo caso, l'obiezione cadrebbe. Ma altrimenti, se il mercurio ad alta temperatura rifiuta di lasciarsi dissociare in elementi più semplici, questa sarà una serie obiezione contro la teoria."

In risposta a ciò, constato che nelle recenti fotografie a grande dispersione le differenze segnalate dal dottor Schuster tra il sole e Aldebaran non esistono. D'altronde sono d'accordo con lui per dire che le esperienze che egli descrive si dovrebbero fare, e ne ho effettuate parecchie, ma questi lavori sono stati interrotti, poiché non dispongo più della bobina di Spottiswoode, di cui ho dimostrato in precedenza la superiorità su tutte le altre per un simile lavoro. Posso dire, tuttavia, che, nei limiti entro i quali ho potuto approfondire le ricerche di laboratorio, i loro risultati sembrano essere in accordo con i risultati stellari; ma vi possono essere cause di errore da valutare e, del resto, in un argomento di tale importanza bisogna ripetere le esperienze più volte prima che un fatto sia definitivamente stabilito.

Il Dr. Schuster dice poi:

"Credo che si può ammettere che le stelle diverse si trovano a diversi stadi di sviluppo e che le stelle a idrogeno arriveranno alla fine allo stato del nostro sole; ma stimo che sarebbe imprudente spingere troppo oltre la ragione di uniformità e dire che tutte le stelle passeranno esattamente per le stesse fasi. Ritter, che è favorevole all'ipotesi della dissociazione⁴, fornisce buoni motivi di credere che la superficie del sole non è mai stata molto più calda di oggi e che il calore maggiore delle stelle a idrogeno dipende dal valore delle loro masse. È, infatti, impossibile ammettere che il processo di sviluppo sia del tutto indipendente dalla massa della stella.

"Si può dire che Arturo deve avere una massa molto più grande di quella del nostro sole; il suo spettro, secondo il professor Lockyer, è identico a quello del sole. Ma suppongo che questa constatazione si riferisca solo alla regione del violetto e del blu, poiché, secondo il Dr. Huggins, le cui prime fotografie stellari ci hanno insegnato molto, lo spettro di Arturo nell'ultravioletto si avvicina a quello di Sirio."

⁴Wied. Annalen, vol. XX, p. 152.

Benché le masse di un numero così piccolo di stelle bianche siano state determinate da risultati degni attendibili, basterebbe un solo caso in cui la massa di una stella bianca sia provata essere inferiore a quella del sole per mostrare la debolezza delle conclusioni di Ritter. Per β Perseo (Algol), Vogel dà una massa uguale ai quattro noni di quella del sole, di modo che, secondo le teorie di Ritter, la massa del sole di può supporre sufficiente per raggiungere una temperatura uguale a quella di β Perseo; questo risultato non è in accordo con la sua affermazione che il sole non è probabilmente mai stato e non sarà mai più caldo di adesso.

La constatazione di sir William Huggins sull'argomento dello spettro ultravioletto di Arturo è molto interessante, se si conferma. Le serie di fotografie a grande dispersione di Kensington mostrano tra lo spettro del sole e quello di Arturo una somiglianza quasi perfetta che si estende fino a $\lambda = 3880$.

È difficile sollevare un'obiezione fondata sulla diversità delle masse, anche se otteniamo spettri simili. Basta supporre che Arturo, come il sole e altre stelle dello stesso tipo, sia già passato per i suoi stadi più caldi e che possa aver iniziato la sua condensazione prima del sole.

Per considerare un altro caso, ζ Orsa Maggiore e β Auriga hanno spettri quasi identici, sebbene le masse di questi due sistemi siano, secondo Pickering, rispettivamente uguali a 40 e 4,6 volte quella del sole. Un'altra stella molto calda, la Spiga nella Vergine, ha una massa uguale a 2,6 volte quella del sole.

Il Dr. Schuster suppone poi che io ignori i lunghi studi di Ritter sulla contrazione delle masse gassose per effetto della loro gravità. Nei miei lavori riguardanti la discussione su osservazioni spettroscopiche, fui, all'inizio, portato a pensare che all'origine non si trattasse di masse gassose e, di conseguenza, non allusi alle conclusioni di Ritter.

Inoltre, ho considerato la prova spettroscopica che riguarda una serie di corpi in via di evidente raffreddamento e il fatto "che una massa che irraggia e si contrae non è necessariamente una massa che si raffredda" era per me solo un dettaglio, poiché, contro ogni senso comune, verrà necessariamente un'epoca nella quale la temperatura di tutti i corpi si ridurrà. Sono sicuro che le conclusioni di Ritter, a proposito dell'innalzamento della temperatura dei corpi gassosi seguito da una caduta di temperatura, sono analoghe a quelle che suggerisce la prova spettroscopica che mi ha portato alla teoria degli sciami di meteoriti in condensazione; ma non sarebbe stato giusto rivendicare come appoggio alla mia ipotesi le conclusioni di Ritter poiché le basi dei fenomeni che consideriamo erano molto diverse.

Mi si permetterà forse di far notare che là dove le conclusioni di Ritter non sembrano in accordo con i fatti spettroscopici, ciò può essere perché, come ha detto il professor Perry⁵, un'atmosfera stellare è una cosa più complicata che non coinvolge la teoria di una massa gassosa. E anche le osservazioni dello spettroscopio non riguardano generalmente una massa gassosa. E anche le osservazioni dello spettroscopio riguardano generalmente solo lo strato di inversione.

Il professor Perry scrive:

" Il (Ritter) ammette che lo strato radiante che si trova all'esterno di una stella ha una massa costante. Ammette anche che il modulo della radiazione è proporzionale alla quarta potenza della temperatura media di questo strato. Si ha a che fare con temperature che sono talmente più grandi delle temperature con le quali lavoriamo in laboratorio che tali accostamenti devono essere considerati come del tutto arbitrari.

"M. Homer Lane, nel suo lavoro classico sulle temperature teoriche del sole⁶, ammette che la legge della radiazione di Dulong e Petit è vera per la radiazione solare e si serve di questa legge per calcolare la temperatura dello strato radiante che fissa a $28000^\circ F$. Cioè egli impiega una legge empirica, - vera forse alle temperature del laboratorio per l'irraggiamento emesso dai solidi caldi, - per esprimere a temperature enormi la radiazione di uno strato di gas caldo che ha, al di sopra e al di sotto di esso, strati di gas ad ogni temperatura."

"Sappiamo poche cose sul fenomeno dell'irraggiamento prodotto da uno strato di gas, quando al di sotto di esso si trovano strati gassosi più caldi e più densi e al di sopra strati più freddi e meno densi, che non mi sembra possibile accordare qualche valore alle ipotesi di Ritter o di Homer Lane, In una stella si incontrano strati di gas che presentano tutti i tipi di temperatura e di densità; non abbiamo conoscenze acquisite in laboratorio che siano applicabili a queste condizioni di radiazione. Sappiamo molto poco sulle stelle, tranne il nostro sole... Affermazioni come quelle di Homer Lane e Ritter possono portare a risultati del tutto falsi."

Infine posso riportare altre due obiezioni provenienti da fonti diverse. La prima riguarda la relazione sulla quale ho insistito, tra la lunghezza dello spettro continuo e la temperatura della sorgente luminosa; ho detto che essa era basata sulla legge di Kirchoff. A questa si obietta che raggi nell'ultravioletto possono essere emessi da corpi che non possiedono un'alta temperatura. Se ne conclude che le stelle che hanno gli spettri più lunghi possono essere fredde. Ma esse sono legate al sole da una concatenazione ininterrotta nella successione dei fenomeni. Anche il sole è quindi freddo?

Da un'altra parte si dice che i fenomeni delle stelle gassose, invece di essere dovuti alla loro alta temperatura, possono essere causati dalla fosforescenza. Dove sono quindi gli spettri fosforescenti di Crookes? Se questa obiezione implica che l'idrogeno può essere reso fosforescente in modo da fornire lo spettro di Pickering, si sarebbe dovuta fare l'esperienza prima di rischiare di avanzare una tale obiezione.

⁵Nature, vol. LX.

⁶American Journal of Science and Arts, seconda serie, vol. I, p. 57, 1870.

Libro V - Evoluzione Inorganica

Capitolo 19

Cosa significa il termine: Evoluzione; l'evoluzione inorganica

Nei capitoli precedenti, ho tentato di collegare l'insieme dei fatti stabiliti per il sole, durante gli ultimi trent'anni, con i fatti più recenti raccolti sulle stelle. Nel corso di questo studio, ho ammesso l'ipotesi che noi osserviamo gli effetti delle dissociazioni che intervengono a temperature sempre più elevate; l'ipotesi della dissociazione suppone che ad un'alta temperatura le unità chimiche, sulle quali operiamo a temperature più basse, si trovino divise in masse più piccole; e questa idea ci ha permesso di spiegare i fenomeni spettrali osservati nei nostri laboratori così come nel sole e nelle stelle.

Ho anche mostrato che, per molti ricercatori, un'ipotesi di dissociazione si impone per spiegare i fenomeni osservati in settori della fisica diversi da quella che studiamo oggi.

Nei capitoli conclusivi che seguiranno, mi propongo di cambiare punto di vista; esaminerò i fenomeni non più nell'ipotesi di una dissociazione ma con le idee di *evoluzione*.

Cosa è l'evoluzione? Per rispondere a questa domanda, mi avvicinerò a un settore della scienza nel quale ci si serve frequentemente di questa parola, dove essa ha un significato preciso. Si vedrà in seguito che vi è una ragione importante per procedere così.

Il settore della scienza al quale alludo non tratta forme inanimate, come gli elementi chimici e le stelle, ma si occupa di oggetti animati, di quelli che si chiamano organismi. La maggior parte dei miei lettori sa che ciò che si considera oggi come uno dei trionfi del secolo che sta per concludersi, fu quello di stabilire la realtà di quella che si chiama "l'evoluzione organica". Mi sembra che questa è stata la rivoluzione del pensiero moderna più profonda che il mondo abbia visto.

Questa evoluzione ci mostra che ogni specie di pianta o animale non è stata l'oggetto di una creazione speciale, ma che cause naturali hanno prodotto i successivi cambiamenti di forme che sono così passate da semplici a complesse. In realtà l'evoluzione organica può essere definita come la produzione di nuove forme organiche a partire da altre più o meno differenti, di modo che le piante e gli animali attuali sono, attraverso una lunga serie di modifiche e trasformazioni separate o simultanee, i discendenti di un numero limitato di tipi antichi più semplici.

Non dobbiamo rappresentare questa serie con una successione unica di fasi, ma piuttosto mediante un albero formato da una radice comune e da due grossi tronchi che rappresentano la vita animale e vegetale; ognuno di questi tronchi è diviso in alcuni grossi rami suddivisi essi stessi in una moltitudine di piccoli rami con rametti più piccoli.

Questa nuova idea ci rappresenta l'evoluzione dell'insieme degli esseri viventi, ci mostra che tutti i tipi di animali e di piante sono stati prodotti mediante lo sviluppo e la modifica di germi primordiali. Devo dire che non è un'idea nuova; la dimostrazione soltanto è nuova per il nostro secolo e la nostra generazione.

Per trovare i primi germi di queste idee, bisogna risalire fino al XVII secolo se non addirittura ad Aristotele. Ma non voglio qui trattare questa storia. Vi sono, tuttavia, due o tre punti da considerare in questa evoluzione. Non è necessario che ogni forma organica progredisca individualmente in modo continuo, ma basta che la generalità progredisca – progressione nel tipo di quella della nostra civilizzazione moderna che non impedisce la stagnazione o la degenerazione individuale di alcune tribù o nazioni. - Fatta questa riserva, le forme primitive sono state le più semplici. In realtà conosciamo oggi molto poco sull'inizio della storia terrestre; è possibile che le rocce fossilifere non rappresentino la base reale. È la base la conclusione ispirata dal professor Poulton per la complessità delle forme che incontra. Almeno non troviamo una associazione vasta ed eterogenea di piante e animali aventi organismi molto inferiori o molto progrediti, come quella che conosciamo oggi. Abbiamo in generale a che fare con forme semplici. La storia degli animali e dei vegetali è la stessa a questo proposito.

Occupiamoci dapprima delle piante. Le prime furono acquatiche, cioè vissero nell'acqua e sulla sua superficie. Per quanto si può sapere, i primi vegetali viventi furono della famiglia di alghe, che comprende le nostre

attuali alghe; seguirono piante del genere dei muschi, poi delle felci e fu soltanto molto più tardi che le nostre fanerogame, con i loro fiori dai colori allegri, fecero la loro comparsa sul terreno. La tendenza generale dei cambiamenti sopraggiunti tra i vegetali è stata diretta verso la vegetazione terrestre, tendenza opposta a una via nell'ambito o alla superficie dell'acqua. Alcune alghe attuali mostrano la semplicità iniziale della struttura che ha caratterizzato l'inizio della vita vegetale; le fanerogame sono, al contrario, relativamente recenti, ma abbiamo ancora attualmente alghe che, malgrado i cambiamenti in tutti i sensi, manifestano i caratteri analoghi ai primitivi.

Dopo questa spiegazione presa in prestito da lavori in apparenza così diversi, è facile comprendere il senso che attribuisco, parlando di elementi chimici, al termine "evoluzione" nei limiti dell'accezione che gli si dà nella storia dei cambiamenti vegetali. Ma è solo la vita vegetale. Le stesse concezioni si addicono agli animali ed è importante per il mio argomento che ne parli. Noi incontriamo la stessa progressione dal semplice verso il complesso. Il modo migliore di studiare questa progressione è di basarci sugli archivi geologici.

La geologia stratigrafica non è altra cosa dell'anatomia della terra¹ e la storia della sequenza delle formazioni è fatta dalla successione di anatomie di questo genere; essa corrisponde allo sviluppo visto come una cosa distinta dalla generazione.

Nella geologia stratigrafica, come si può vedere in tutte le opere sull'argomento, troviamo i nomi di alcuni terreni che contengono certe forme diversi della vita animale e vegetale. Iniziamo dal Laurenziano e l'Algonchiano, passiamo al Cambriano, all'Ordoviciano, al Siluriano, al Devoniano, attraverso una lunga serie di terreni e di strati geologici, arriviamo a quelli recenti, cioè allo stato delle cose attuali della superficie terrestre. È forse preferibile classificare parecchi di questi diversi terreni in raggruppamenti generici; abbiamo dapprima il Primario o Paleozoico, poi il Secondario o Mesozoico e infine il Terziario o Cenozoico. Il deposito di questi strati e della vita animali che evolve alla loro superficie mentre si formava ci restituisce i cambiamenti e sviluppi delle forme animali.

Bisogna ora entrare nel dettaglio e indicare in modo molto generale i cambiamenti di forma che si sono prodotti. Iniziamo dal Cambriano inferiore, troviamo le forme animali rappresentate dagli Invertebrati come le spugne, i coralli, gli echimodermi, i brachiopodi, i molluschi, i crostacei, con numerose Trilobiti primitive, senza parlare dei vari Fucoidi e di altri resti di piante inferiori.

Quando arriviamo al Siluriano, troviamo un grande aumento delle forme precedenti, specialmente dei coralli, dei Crinoidi, dei crostacei giganti (come il *Pterygotus*) e animali con carapace (*Ostracodermes*) senza mascella inferiore né coppia di pinne; gli inizi della vita vertebrata, ancora non del tutto evoluta, e un gruppo inferiore di pesci armati, detti *Cyathaspis* (senza cellule ossee nel loro carapace a scaglie). Incontriamo anche i primi animali che respirano all'aria aperta; l'ala di un pesce volante e alcuni scorpioni interi e riconoscibili. Costatiamo inoltre specie dell'età precedente la comparsa delle vertebre in opposizione agli invertebrati e le prime forme di pesci. Avanzando verso il Devoniano, i pesci (associati ai crostacei giganti) predominano: è stata chiamata l'età dei pesci. Nella serie successiva, il terreno carbonifero, troviamo le prime tracce certe degli anfibi che nella loro prima fase di esistenza assomigliavano ai pesci; la rana è un esempio di questa forma di vita che la maggior parte tra noi ha studiato in gioventù sotto forma di girino nei suoi primi stadi. Alcuni anfibi presentano ancora caratteristiche di pesce.

Non incontriamo dei rettili prima di arrivare al Permiano, ma nella grande fase seguente, il Triassico, incontriamo un gruppo di rettili notevole dal punto di vista evolutivo, il Teriodonte o animale a dentizione di belva, poiché, solo tra i rettili, vi è una dentizione di cane o di leone, con incisivi, canini e molari, - il precursore senza dubbio del tipo di mammifero attuale. Passiamo facilmente dai rettili ai loro alleati mammiferi; per esempio l'ornitorinco e l'echidna sono due mammiferi australiani che sono ovipari come i rettili. Iniziamo ad incontrare poi gli uccelli. Gli uccelli antichi erano rettili per alcune delle loro caratteristiche e lo pterodattilo, i cui resti esistono in molti musei, erano realmente rettili alati e non uccelli. Da qui la conclusione che mammiferi e uccelli sono varianti dei rettili. Passando dal Giurassico agli strati recenti, vediamo comparire l'uomo, discendente diretto di queste forme primitive.

Quando studiamo la storia naturale delle diverse forme che ci presentano gli strati geologici, troviamo variazioni considerevoli, rivelate dalla presenza o dall'assenza di diversi generi nei diversi strati. Troviamo che le trilobiti, per esempio, appaiono solo nelle formazioni geologiche molto antiche; non se ne trova traccia nelle formazioni recenti, mentre constatiamo la presenza ininterrotta degli Anellidi e dei Brachiopodi dagli strati più antichi ai più recenti: abbiamo ancora dei vermi tra le forme attuali. Altre forme organiche ancora fanno la loro comparsa molto tardi nella scala temporale, che non erano rappresentati del tutto nel Cambriano e nel Siluriano; alcuni si ritrovano senza interruzione fino ai giorni nostri.

Consideriamo la storia dei pesci. Molti appaiono nel periodo Devoniano; ve non erano pochi nel Siluriano; alcuni si fermano là, mentre altri continuano dal periodo Devoniano fino al nostro. Prendiamo, per esempio, il pesce da vaso *australiano* *Ceratodus*. A giudicare dai denti che possiede, questo pesce ha vissuto senza cambiamenti dai tempi paleozoici ai nostri.

¹Huxley, Q. J. G. S., vol. XXV, p. 43.

Vediamo che vi è una variazione spaventosa della durata possibile di vita di queste diverse forme. È da queste ricerche che la geologia ha potuto metterci davanti agli occhi la continuità della vita nelle sue diverse forme, dagli strati geologici più antichi fino ai più recenti. La tabella può essere incompleta, ma è sufficiente per quanto mi propongo.

Non è, del resto, la sola prova a favore dell'evoluzione. Gli insegnamenti dell'embriologia confermano gli argomenti basati sullo studio della geologia e suggeriscono l'idea che la storia della vita si riproduca nella storia degli individui. I processi di crescita organica o di sviluppo embrionale presentano una significativa uniformità attraverso l'intera serie animale. Sebbene la nostra conoscenza sia ancora limitata, persone autorizzate tengono per certo che vi è un rapporto molto stretto tra lo sviluppo dell'individuo e quello di tutte le serie che formano la vita animale. Altri, è vero, non ritengono l'argomento embriologico convincente. Comunque sia, se studiamo l'embrione della tartaruga, dell'uccello, del cane e dell'uomo, troviamo che essi presentano in un certo periodo una notevole somiglianza. Ad uno stadio ulteriore la similitudine scompare. Ciò non significa che l'animale vertebrato inizia in un periodo del suo sviluppo ad essere una tartaruga per divenire poi ognuno degli animali variati che corrispondono a questi diversi embrioni; ciò prova soltanto che vi è tra essi una parentela, poiché vi è una continuità.

Dopo aver chiesto questi insegnamenti alle piante e agli animali si comprenderà che cosa è l'evoluzione organica e, di conseguenza, l'evoluzione in generale.

Capitolo 20

La prova stellare dell'evoluzione inorganica

Come le piante e gli animali formano il mondo organico o vivente, così, i cosiddetti elementi chimici (semplici o combinati tra loro) compongono il mondo inorganico o inanimato.

Un tempo le piante, gli animali e gli elementi chimici erano tutti considerati come rappresentanti di creazioni speciali - "oggetti già fatti"; - sappiamo ora che così non è per piante e gli animali; che si sono evoluti in modo continuo a partire da certe forme semplici.

Dobbiamo ora vedere se i fatti constatati nei precedenti capitoli indicano o meno che dobbiamo accettare gli elementi chimici, così come gli animali o le piante, come prodotti dell'evoluzione.

Prendendo come base le piante e gli animali come li conosciamo, troviamo che, più risaliamo nel passato, più vi sono differenze nelle forme, sebbene le temperature alle quali i processi vitali si sono evoluti ed evolvono ancora non siano certamente molto diversi.

Prendendo come base gli elementi chimici, come li conosciamo, troviamo una continuità nelle differenze di composizione quanto più si studiano le stelle di temperature crescenti. È evidente che vi è un punto molto importante. Nell'evoluzione inorganica, abbiamo a che fare con un grande abbassamento della temperatura; nessuno potrebbe indicarne la grandezza. Conosciamo la temperatura della nostra terra, ma non conosciamo quelle delle stelle più calde e non possiamo stabilirne un limite. Nessuno può, di conseguenza, determinare con certezza quale è stato in un periodo stabilito la temperatura della terra supponendo che essa sia rappresentata dalla temperatura attuale della stella più calda.

Per quanto riguarda l'evoluzione organica che ingloba le piante e gli animali, può non esserci stato alcun abbassamento di temperatura di questo tipo. La temperatura ha dovuto essere sensibilmente costante entro un limite di qualche grado.

Le differenze dipendono, quindi, dalla durata nel mondo organico e dalla temperatura nel mondo inorganico.

È per questo motivo che nell'evoluzione inorganica di cui ci occupiamo ora, i cambiamenti chimici prodotti dalle variazioni di temperatura devono essere la nostra guida principale e dobbiamo cercare le forme più semplici e più antiche nelle regioni dove regna attualmente la temperatura più alta.

Le semplificazioni prodotte dalle alte temperature sono note a tutti. Se agiamo su composti ben noti, come, per esempio, il sale comune, cloruro di sodio, e l'ossido di ferro - la ruggine, - noi produciamo con il calore le sostanze semplici di cui sono composti e non abbiamo difficoltà a riconoscere il fatto che il cloro e il sodio, in un caso, e l'ossigeno e il ferro, nell'altro, deve essere esistiti prima dei loro composti, sale e ruggine, potessero formarsi.

L'acqua è dissociata in ossigeno e idrogeno ad alta temperatura, in modo che vi è una temperatura al di sopra della quale i due gas resteranno a contatto senza combinarsi. Quando la temperatura si abbassa, si produce l'acqua. La dissociazione, di conseguenza, in tutti i suoi livelli ci deve rivelare le forme in cui incontrare un prodotto che può essere dissociato o diviso dal calore.

Se così è, il prodotto finale della dissociazione o della separazione mediante il calore deve essere la forma chimica primitiva. Pertanto, se le diverse stelle si comportano come i diversi strati geologici presentandoci una progressione di nuove forme in una successione ordinata, possiamo guardare le sostanze chimiche che esistono visibilmente nelle stelle più calde, come rappresentative delle forme più antiche, poiché queste stelle, per quanto possiamo sapere, ci mettono in presenza di temperature più alte di quelle che possiamo produrre nei nostri laboratori.

Ho detto *sì*. Adesso le stelle ci presentano, dalla più calda alla più fredda, questa progressione di nuove forme, come fanno gli strati geologici dai più antichi ai più recenti?

Le pagine precedenti ci permettono di rispondere a questa domanda. Ho indicato come, nell'evoluzione cosmica, si abbia una continuità di effetti accompagnati da cambiamenti considerevoli della temperatura; questa serie si estende dallo scontro degli sciami meteoritici nello spazio fino alla formazione di una massa di materia oscura e fredda. Le diverse stelle che rappresentano le diverse fasi del cambiamento sono state classificate lungo una curva di temperature.

Quando risaliamo un ramo di questa curva le stelle divengono gradualmente più calde finché arriviamo alle stelle più calde che conosciamo. Poi sul ramo discendente sono rappresentati i corpi in via di raffreddamento, la cui temperatura diminuisce fino a raggiungere quella di un mondo oscuro come il satellite di Sirio, o quello della nostra luna e del pianeta che abitiamo.

Grazie ai recenti lavori possiamo ora appoggiarci sulla chimica di ognuno di questi corpi. Senza alcun dubbio, con il passare del tempo e i lavori di nuovi ricercatori, ne sapremo di più. Ma ne sappiamo abbastanza per quanto mi propongo, poiché possediamo la storia dei cambiamenti chimici da un parte all'altra della serie.

Quando si iniziò il lavoro sulla fotografia degli spettri stellari, le nostre conoscenze erano così incomplete che non si poteva costruire una catena continua dei fatti chimici; ma grazie ai progressi recenti possiamo trattare l'evoluzione inorganica da un punto di vista chimico e esaminare i risultati di questa ricerca.

I capitoli VI e VII danno la prova sulla quale ci si può basare per affermare che nelle stelle più calde ci si trova di fronte ad un numero molto piccolo di elementi chimici. Quando passiamo dalla stelle più calde alle più fredde, il numero delle righe spettrali aumenta e, con il numero delle righe, il numero degli elementi chimici. Parlo solo delle sostanze note, poiché sembra che discutiamo oggi ancora pur con molte sostanze sconosciute. Nelle stelle più calde di tutte, troviamo una forma di idrogeno di cui non sappiamo nulla (ma che supponiamo prodotta da una temperatura molto alta), l'idrogeno così come lo conosciamo, i gas delle cleveite, il magnesio e il calcio sotto forme difficilmente ottenibili qui sulla terra; crediamo di giungervi con l'impiego delle più alte temperature dei nostri laboratori. Nelle stelle la cui temperatura è immediatamente inferiore, troviamo pure queste sostanze, unite all'ossigeno, all'azoto e al carbonio che fanno la loro comparsa. Nelle stelle seguenti troviamo anche il silicio. In quelle che vengono dopo, osserviamo l'esistenza di forme del ferro, del titanio, del rame e del magnesio che possiamo produrre alle più alte temperature del laboratorio ed è solamente arrivando alle stelle molto più fredde che troviamo la presenza delle caratteristiche ordinarie del ferro, del calcio, del magnesio e di altri metalli. Tutti questi corpi, pertanto, sembrano essere forme prodotte dall'abbassamento della temperatura. A ogni stadio con l'introduzione di certe nuove forme, svaniscono certe forme antiche.

I tratti salienti degli archivi organici sono riprodotti così esattamente che il metodo migliore di rappresentare i risultati è stato di indicare i diversi stadi stellari per mezzo delle forme chimiche che ci si rivelano, esattamente come i geologi hanno fatto per le forme organiche. In tale modo trattiamo gli strati stellari, se così di può dire, come equivalenti agli strati geologici. Dalla stella più calda alla più fredda, ho trovato dieci gruppi così distinti chimicamente l'uno dall'altro che è necessario distinguerli nettamente come si distingue il Cambriano dal Siluriano. Imitando i geologi, fino in fondo, ho attribuito dei nomi che terminano in *iano* a questi gruppi o generi, iniziando dalle stelle più calde, che sono le più antiche nell'ordine di riduzione della temperatura.

Questi sono i gruppi Argoniano, Alnitamiano, Acherniano, Algoliano, Markabiano (qui "una faglia nei terreni"), Siriano, Procioniano, Arturiano (solare), Pesciano.

Ho pure caratterizzato la natura chimica di questi strati stellari come fanno i geologi per i diversi strati. Possiamo dire, per esempio, che le stelle acherniane contengono principalmente idrogeno, ossigeno, azoto e carbonio e in proporzione minore protomagnesio, protocalcio, silicio e sodio¹ e forse cloro e litio; di modo che, grazie allo sviluppo dell'analisi spettrale abbiamo potuto realizzare per le diverse stelle ciò che i biologi hanno fatto, un gran numero di anni prima, per gli strati geologici.

Si vede che la domanda seguente: "Le stelle presentano una progressione di forme chimiche analoga alla progressione delle forme organiche negli strati geologici?" comportano una risposta chiara e precisa. Vi è una progressione.

Abbiamo, quindi, il diritto di considerare le cose dal punto di vista nuovo dell'evoluzione. Vi sono alcuni punti che meritano un esame dettagliato.

Evidentemente non ci possiamo aspettare alcun aiuto dalla presenza di certe righe a causa delle temperature trascendenti delle stelle. Per esempio, la differenza tra i gas e i solidi è senza interesse, poiché, alle alte temperature, tutti i corpi che conosciamo allo stato solido si comportano come gas. A queste alte temperature ogni cosa si presenta allo stato gassoso.

I corpi fusibili come il litio e il sodio, nelle condizioni come quelle in cui si trova attualmente la terra, assumono lo stato gassoso assai più dei corpi come il ferro o il platino; ma queste considerazioni sono infondate alle alte temperature stellari. Naturalmente, non vi sono solidi ad una temperatura di 10000° C; e non vi sarà gas nello spazio, lontano dalle stelle, se la temperatura dello spazio intersiderale è lo zero assoluto.

Analogamente per i metalli e i metalloidi; questa distinzione non ci servirà più a molto. Il concetto generale di un metallo è che è solido e, di conseguenza, una cosa che non è solida non è un metallo. Ma la prova chimica della natura metallica dell'idrogeno è stata rinvigorita da numerosi chimici e il mercurio è generalmente conosciuto come un liquido. Quanto ai metalloidi, essi sono certamente molto numerosi. Si suppone che il carbonio sia un metalloide ed è significativo che nei limiti delle nostre conoscenze attuali sembri, nelle stelle, essere il solo rappresentante di questo gruppo.

¹Campbell, *Astronomie et Astrophysique*, 1894, vol. XIII, p. 295.

Sottolineerò, in particolare, che la tavola delle caratteristiche chimiche delle stelle, tabella che contiene solo dati esatti, è forse, come gli archivi geologici, più importante per le sue indicazioni relative alla presenza di elementi chimici nelle stelle che per quello che vi manca.

Vi sono molti motivi di ammettere che alcune sostanze che possono esistere nelle stelle non possono manifestare la loro presenza, Insisto sul fatto che, essendo il campo delle nostre fotografie stellari molto ridotto e che le righe più caratteristiche di una sostanza non si trovano necessariamente nella parte fotografica dello spettro, la prova negativa è molto meno importante di quella positiva.

Penso che dovremo forse aggiungere il litio alle sostanze indicate da queste tavole, dobbiamo certamente aggiungere il sodio e l'alluminio e forse il cloro. Quanto allo zolfo, non ho attualmente alcun dato.

In ogni caso dobbiamo far risaltare, con la massima fiducia, l'assenza di corpi di peso atomico elevato e questo fatto straordinario che i metalli magnesio, calcio, sodio e silicio iniziano ad esistere nelle stelle calde molto prima che si trovi una traccia precisa di numerosi metalli ai quali un chimico avrebbe pensato di primo acchito.

Capitolo 21

Gli elementi più semplici appaiono per primi

Per quanto riguarda la comparsa dei corpi nelle stelle più calde, il fatto di grande importanza che si deve evidenziare per primo, è che le forme chimiche che osserviamo sono tra le più semplici.

Come ciò si determina? In due modi. I chimici riconoscono che un elemento di piccolo peso atomico è più semplice, cioè la sua massa è inferiore a quella di un elemento di peso atomico elevato. Se ci basiamo sull'analisi spettrale, possiamo dire, a proposito della questione delle "serie", che gli elementi che danno più rapidamente serie complete sono con tutta probabilità più semplici di quelli che non ne danno alcuna, e ciò è ancora più vero quando troviamo che tutte le righe dello spettro di una sostanza possono essere comprese nelle serie armoniche, come si ha nel caso dell'idrogeno e dei gas della cleveite.

Pertanto, basandosi su questi modelli, è certo che il primo stadio dell'evoluzione inorganica, se una tale evoluzione esiste, è come nell'evoluzione organica, lo stadio delle forme più semplici, qualunque sia la teoria che abbiamo sulla natura dell'"atomo".

È, tuttavia, utile confrontare in dettaglio i risultati ottenuti dalla forma più nuova dell'analisi spettrale, quella relativa alle "serie" riguardo alle prime forme stellari, poiché è evidente che ci troviamo in presenza dell'inizio di un nuovo metodo di studio della natura dei cosiddetti elementi chimici.

Abbiamo trovato che le stelle più calde contengono idrogeno, elio e astero. Abbiamo pure trovato (capitolo X) che queste sostanze hanno le serie più semplici, cioè un gruppo di tre serie. Benché ciò non sia assolutamente stabilito, è più che probabile che il gruppo dei metalli del litio sia pure rappresentato nelle stelle delle temperature maggiori. In questo caso troviamo ancora semplicemente un gruppo di tre serie. Dello zolfo non sappiamo nulla, ma la sua esistenza nelle stelle calde mi sembra probabile. Là ancora abbiamo un altro gruppo semplice di tre serie. Di modo che abbiamo le serie più semplici per tre costituenti perfettamente certi di stelle più calde così come per un costituente molto probabile e per uno incerto.

Arriviamo ora a questo fatto significativo che a fianco di queste sostanze semplici troviamo nelle stelle molto calde il magnesio, il calcio e il silicio. Sulle serie di quest'ultimo non sappiamo nulla. Per il magnesio e il calcio si sono determinate solo serie secondarie.

Possiamo supporre solo che l'assenza di serie principali indica una maggiore semplicità, poiché ho mostrato che soltanto la metà delle righe di ognuna di queste sostanze è stata classificata in serie; siccome le serie rappresentano la vibrazione di un'unica particella, le righe che non vi figurano devono, secondo la teoria, rappresentare la vibrazione di altre particelle. Così arriviamo a questo: è possibile che la complessità delle particelle che producono le serie sia superiore alla complessità di quelle che, nelle stelle, ci danno le righe fuori serie. Queste ultime particelle corrispondono, quindi, ad altre forme semplici.

Discendendo la scala delle temperature stellari, ci troviamo l'ossigeno. Qui abbiamo sei serie invece di tre o due come nel caso del calcio e del magnesio, e anche, come ho sottolineato, in questo caso, abbiamo a che fare solo con la metà di quelle delle righe del gas che possiamo vedere ad una temperatura maggiore. Ciò sembra indicare che nelle stelle più calde vi sono differenti stabilità per forme molto diverse; riassumendo, sembra che vi sia distintamente, come sulla terra, una sopravvivenza della forma meglio adattata.

Altrimenti come rendere conto del fatto certo che nelle stelle più calde incontriamo tre metalli, magnesio, calcio e silicio, prima di trovare qualche traccia delle altre; come spiegare che, quando questi metalli esistono, se li confrontiamo alle nostre serie pietre di paragone, troviamo che invece di essere molto semplici, sono in realtà complesse. Comunque sia, siamo sicuri che vi sono nelle stelle più calde molte più forme apparentemente complesse che forme semplici. È un punto che i chimici dovranno esaminare, quando faranno ricerche su queste questioni. Queste considerazioni sollevano ancora un altro quesito interessante. Un grande numero di forme organiche semplici appaiono tardivamente nelle serie stratigrafiche. Alcune di quelle più semplici scompaiono, altre rimangono. Può darsi che nell'evoluzione inorganica come in quella organica alcune delle

forme più semplici rappresentino in realtà ulteriori inserimenti. Comunque sia, è perfettamente certo che non abbiamo un parallelismo assoluto tra i risultati delle osservazioni spettroscopiche delle serie e le osservazioni spettroscopiche delle stelle.

Sembra che in tutti questi cambiamenti incontriamo complicazioni successive dovute alla diminuzione della temperatura, ma vi è una più lunga serie di complicazioni per alcune sostanze che per altre. Finora le stelle non ci insegnano nulla sull'origine del protomagnesio e del protocalcio. Ma è difficile ammettere che le più antiche forme degli altri metalli non si siano formate con l'aiuto di alcuni dei costituenti che si incontrano ai livelli di calore compresi tra quelli di γ Argo e di α Croce, essendosi prodotte più tardi le loro altre complicazioni.

Osserviamo poi che i risultati degli studi astronomici fatti dal punto di vista dell'evoluzione concordano con la geologia per quanto concerne l'aumento della complessità. Notiamo gli stessi cambiamenti di forme, le stesse interruzioni nelle continuità, le stesse scomparse delle vecchie forme accompagnate dalla comparsa delle nuove e che ci si ponga dal punto di vista del peso atomico o delle serie, dobbiamo accludere l'aumento della complessità.

Sebbene, in questo capitolo, mi sia soffermato soprattutto sulle prove stellari, non bisogna dimenticare che nei limiti ristretti di temperatura si può pure utilizzare la prova solare. Abbiamo confrontato il sole con le stelle per tutto ciò che riguarda la discussione degli effetti dovuti alle alte temperature.

Le fotografie prese nel corso dei recenti eclissi del sole segnano la parte più calda che possiamo raggiungere; la temperatura è più elevata che nelle parti del sole che producono lo spettro di assorbimento ben noto, evidenziato dalle righe cosiddette di Fraunhofer. Queste fotografie non ci pongono in presenza di regioni sconosciute; esse ci mostrano fenomeni analoghi a quelli che intervengono nell'atmosfera delle stelle più calde del sole.

Lo spettro di righe brillanti della cromosfera solare come quello che si vede durante un'eclissi ci mostra gli effetti prodotti dal calore nelle parti del sole più calde che possiamo raggiungere; confrontato con le righe scure dello spettro di una stella che contiene righe di assorbimento molto diverse da quelle di Fraunhofer, lo spettro delle righe brillanti della cromosfera coincide quasi riga per riga con quello di questa stella.

Da qualche anno, suggerisco l'idea di questa evoluzione inorganica per spiegare i rari fatti stellari che ci erano allora familiari. Devo dire che siamo in una posizione migliore, poiché ne abbiamo decine, potrei dire centinaia di migliaia di fatti coordinati ed è molto significativo che, una volta superate le lacune delle nostre conoscenze, ci troviamo di fronte prove di una evoluzione realmente maestosa nella sua semplicità.

Conviene che dica che, come per il lavoro di Darwin nel XIX secolo furono diretti dalle ipotesi del XVII, anche la nostra teoria stellare è stata preceduta da ipotesi fatte direttamente nello stesso senso. La prima fase della chimica fu l'alchimia. Essa si proponeva lo studio delle trasmutazioni, ma si trovò ben presto che l'effettivo ruolo della scienza chimica, è di studiare le *semplificazioni*; per procedere nel modo migliore, abbiamo bisogno di queste enormi differenze di temperatura che soltanto le stelle mettono a nostra disposizione.

Su questa questione dell'evoluzione inorganica, la prima idea fu esposta nel 1815 da Prout; basandosi sul piccolo peso atomico dell'idrogeno, pensò che questa sostanza fosse realmente l'elemento primitivo e che tutti gli altri, fossero aggregazioni di idrogeno, essendo determinata la complessità dell'associazione dal peso atomico. L'elemento del peso atomico 20 contiene 20 unità di idrogeno; quello di peso atomico 40 ne contiene 40 e così di seguito. Si rispose che quando gli elementi erano minuziosamente purificati ed esaminati con la massima cura, i loro pesi atomici non erano esattamente rappresentati dai numeri seguiti da un decimale che poteva variare da zero fino a un mezzo e si supponeva che qui vi fosse un'obiezione senza replica alla teoria di Prout.

Nel 1817, Döbereiner avanzò un'altra ipotesi, coinvolgendo le idee precedenti, e Pettenkofer la sviluppò nel 1850. Per essi vi è una relazione fisica tra questi oggetti differenti, relazione che è in opposizione alla teoria secondo la quale questi oggetti sarebbero "oggetti a tutti gli effetti", dovuti creazioni speciali, senza relazioni tra loro. Entrambi facevano notare che vi erano gruppi di tre elementi, come il litio-sodio-potassio, in relazione numerica: cioè, essendo i loro pesi atomici 7, 23, 39, il peso atomico intermedio era la media degli altri due, $7 + 39 = 46$ che diviso per 2 dà 23. Si può evidenziare ancora questo aspetto in un altro modo: $7 + 16 = 23$ e $23 + 16 = 39$; ciò suggerisce l'aggiunta possibile di qualcosa avente un peso atomico di 16.

Nel 1862, de Chancourtois giunse alla conclusione che le relazioni tra le proprietà dei diversi elementi chimici fossero relazioni geometriche semplici.

Nel 1864 si pervenne a ciò che si chiama la "la legge periodica", suggerita dapprima da Newlands ed elaborata da Mendeleef nel 1869. Secondo questa legge, le proprietà chimiche e fisiche degli elementi sono funzioni periodiche del loro peso atomico.

In seguito Lothar Meyer ottenne alcuni risultati molto interessanti dal punto di vista dei volumi atomici. Egli mostrò che se rappresentiamo in un diagramma i volumi atomici dei diversi elementi, distribuiti da sinistra a destra in ordine crescente per peso atomico, vi è una certa periodicità nei vertici della curva che identificano i più grandi volumi atomici.

Fino ad allora non era stato indicato alcun rapporto con l'azione della temperatura, ma nel 1873 io esposi l'idea che ci deve essere nelle stelle una caduta di temperatura e che la complessità maggiore degli spettri di alcune stelle fosse probabilmente dovuta a questa diminuzione di temperatura. Questa idea fu infine utilizzata da William Crookes in una variante interessante della legge periodica: egli ammise che la temperatura svolge un ruolo nei cambiamenti delle caratteristiche degli elementi. Brodie, nel 1880, fu portato a concludere che gli *elementi* non erano certamente *elementari*, poiché, in ciò che egli chiama un "calcolo chimico", certe sostanze

che si supponevano elementi, non lo erano in realtà. E avanzò l'idea molto feconda che fosse possibile trovare in alcune stelle calde alcuni di questi elementi di cui si prevedeva l'esistenza. Nove anni dopo, Rydberg, uno dei ricercatori più perspicaci che abbiano lavorato sulla questione delle "Serie", ammise che la maggior parte dei fenomeni delle serie potevano essere spiegati supponendo che l'idrogeno fosse veramente l'elemento iniziale e che le altre sostanze fossero in realtà composti dell'idrogeno; ritornò alle prime idee esposte da Prout nel 1815. Tutte queste idee implicano un'azione continua e indicherebbero che vi sono state nel tempo trasformazioni di qualche materia primaria in qualche cosa di più complesso. Cioè, che l'esistenza dei nostri elementi come li conosciamo non derivano da particolari creazioni di ognuno, ma rappresenti l'effetto dell'azione di una legge generale, come nel caso delle piante e degli animali.

Da quanto detto, si concluderà che i fatti stellari sono interamente in armonia con le massime concezioni chimiche e stabiliscono che le tendenze ne sono corrette. Si può dire che noi passiamo dalla speculazione chimica ad una solida catena di fatti che sarà fortificata e allungata con il tempo. In tutti questi cambiamenti, sembra che noi siamo in presenza di una serie di complicazioni, la cui possibilità dipende da una riduzione della temperatura. Vi può essere stata una serie di raddoppiamenti; oppure la complessità maggiore può anche derivare dall'unione delle differenti sostanze. In ogni caso, la diminuzione della temperatura introduce una possibilità di combinazioni che non esistevano prima: di modo che vi è una produzione di forme sempre più complesse.

Discutendo questa idea dell'evoluzione sia inorganica che organica, siamo portati a considerare la prima forma da cui sono derivate tutte le forme successive.

Il metodo dell'evoluzione inorganica deve dipendere dal modo in cui si sono prodotte le complicazioni. Sebbene, in questo capitolo, mi sia rivolto alle teorie chimiche accettate, devo mostrare ora che queste non sono le sole da considerare. Bisogna constatare che le ricerche riferite in quest'opera non sono le sole a suggerire l'idea dell'evoluzione della materia inorganica a partire da qualche elemento primordiale, come ho fatto nel 1873 per spiegare i fatti spettroscopici allora stabiliti.

Ho già riportato i lavori recenti sulle perturbazioni delle righe spettrali.

M. Preston, discutendo l'andamento dei suoi risultati, scrisse¹:

"Noi abbiamo, a mio parere, una speranza legittima quando pensiamo che è vicino il tempo in cui rapporti stretti, se non anche una identità assoluta, si manifesteranno tra forme di materia considerata finora come completamente distinta. Importanti insegnamenti spettroscopici nello stesso ordine di pensiero sono stati raccolti da Sir Norman Lockyer, dopo una lunga serie di osservazioni sugli spettri delle stelle fisse e dei diversi spettri prodotti dalla stessa sostanza a diverse temperature. Queste osservazioni appoggiano l'idea, così a lungo considerata come pura speculazione, che le diverse specie di materia, i cosiddetti elementi chimici, sono costituiti, in qualche modo, dalla stessa sostanza fondamentale".

Anche il professor J. J. Thomson, nelle sue importanti ricerche sui raggi catodici, dopo aver descritto una nuova serie di fatti, scrive²:

"La spiegazione che mi sembra rendere conto dei fatti nella maniera più semplice e più diretta è fondata su una teoria della struttura degli elementi chimici che è stata favorevolmente accolta da molti chimici. Secondo questa teoria, gli atomi di diversi elementi chimici sono le diverse aggregazioni di una stessa specie di atomi. Nella forma in cui l'ipotesi è stata enunciata da Prout questi atomi sarebbero quelli dell'idrogeno. Sotto questa forma precisa l'ipotesi non è sostenibile, ma se sostituiamo all'idrogeno qualche sostanza primordiale sconosciuta, qualche sostanza X, non vi è alcun motivo noto che sia inconciliabile con questa ipotesi, una delle quali è stata recentemente sostenuta da Sir Norman Lockyer che si è basato sullo studio degli spettri stellari."

Su questi punti, possiamo ora fornire altri dettagli.

¹Nature, vol. LX, p. 180.

²Phil. Mag., 1897, p. 311.

Capitolo 22

Le relazioni tra le l'evoluzione organica e inorganica

È interessante considerare brevemente il processo dell'evoluzione inorganica e di quella organica, Ho già richiamato la differenza fondamentale tra le condizioni dell'una e dell'altra. Nel caso delle stelle abbiamo la prova di una caduta di temperatura che non si può valutare. Nel caso dell'evoluzione organica che si segue attualmente, non possiamo essere molto lontani dalle condizioni di temperatura del periodo cambriano. È un punto che ho indicato in precedenza e sul quale è bene insistere. È chiaro che non vi può essere stato un grande cambiamento di temperatura durante l'intero ciclo della vita organica. Anteriormente ad essa abbiamo trovato la complessità prodotta forse dal raddoppiamento, in ogni caso da combinazioni il cui risultato è stato di complicare le forme.

Naturalmente, all'alba della vita organica sulla superficie della terra, vi possono essere stati residui delle prime forme chimiche; voglio dire che la totalità degli elementi che troviamo nelle stelle molto calde non può essere stato completamente combinato per formare le sostanze di cui la terra è composta. In ogni caso, sebbene l'opera dell'evoluzione organica, a differenza dell'inorganica, sia avvenuta in condizioni di temperatura molto diverse, i risultati sono stati gli stessi. Ci ha fornito un'altra serie di forme che sono divenute nel tempo sempre più complesse, e tra quelle persiste un residuo di forme primitive.

Siamo così portati a concludere che la vita, con le diverse forme che assume sul nostro pianeta, oggi riconosciute come derivanti da una evoluzione, è stata in qualche modo un'appendice dell'opera dell'evoluzione inorganica, realizzata in un modo del tutto diverso. Sebbene i metodi siano diversi, la natura è così avara di questi processi, - essa non fa mai una cosa in due modi quando può farlo in uno solo, - che non ho dubbi che quando si studieranno queste materie con maggiori conoscenze disponibili, si troverà un gran numero di analogie, ma non ne occupo per ora.

Voglio pormi dal punto di vista chimico, che mi sembra importante per la considerazione della storia dell'evoluzione: vorrei collegarlo con il fatto dell'esistenza di certi elementi che fanno la loro comparsa nelle stelle molto calde.

Nelle forme inorganiche che incontriamo nelle stelle molto calde e in quelle di temperatura decrescente, abbiamo forme prodotte da un metodo che provoca complessità; quale abbia potuto essere tale metodo, lo analizzerò in seguito. Con il continuo aumento di complessità, le forme antiche hanno dovuto sparire, a meno che esse non abbiano potuto accidentalmente riapparire dalla distruzione di forme più recenti; è un punto che bisogna aver presente. Se le forme più semplici hanno dovuto sempre combinarsi tra loro, per fornire forme più perfezionate e se tutte le forme semplici sono state impiegate in queste combinazioni, la sola possibilità di ricomparsa di queste forme semplici consiste nella distruzione di qualcosa che era stato prodotto in precedenza. E possiamo perfettamente comprendere che molte condizioni di possibilità di queste distruzioni si sono trovate realizzate al momento della formazione della crosta terrestre. Ma, comunque sia, gli elementi gassosi, così come le prime forme degli elementi non gassosi, dovevano essere le sostanze principali esistenti alla superficie e al di sopra di essa. Le sostanze che restano al di sopra della crosta terrestre, devono naturalmente essere i gas idrogeno, ossigeno, azoto e il carbonio combinato con essi, come possiamo supporre in base alle evidenze stellari; vi devono, quindi, essere gli idrocarburi, l'acido carbonico, ecc. Alla superficie, cioè sul suolo o sulle acque, ci possiamo aspettare di trovare litio e sodio, metalli a basso punto di fusione e, inoltre, i tre metalli che vediamo comparire nelle stelle molto calde ben prima di tutte le altre, il magnesio, il calcio e il silicio. L'esistenza del litio è probabile e quella del sodio è certa in alcune stelle relativamente calde. Sembra che vi sia qualche indicazione dell'esistenza dello zolfo, resa ancora più probabile dalla semplicità delle serie spettrali. Queste sono analogie molto significative e molto diverse dalle solito considerazioni chimiche. È una semplice coincidenza che queste sostanze siano proprio le più importanti di quelle che si trovano nell'acqua del mare?

Cloruro di sodio	77,75
Cloruro di magnesio	10,87
Solfato di magnesio	4,73
Solfato di calcio	3,60
Solfato di potassio	2,46
Bromuro di magnesio	0,21
Carbonato di calcio	0,34

L'evoluzione organica più facile da immaginare in queste condizioni doveva essere quella di organismi costituiti da queste forme chimiche, principalmente poiché esse rappresentavano i materiali più mobili o più plastici. Non ci possiamo attendere che l'evoluzione organica sia iniziata nel ferro, ma piuttosto in ciò che vi era di più mobile e di più plastico in quel periodo. La materia utilizzabile per questa evoluzione doveva essere gas, metalli e metalloidi di cui ho parlato in precedenza. Ammettiamo ora un simile evoluzione; se le forme così composte si moltiplicassero indefinitamente, tutta la materia utilizzabile sarebbe impiegata e l'evoluzione organica arriverebbe al suo punto morto, così come l'evoluzione inorganica vi è giunta quanto la considerevole riduzione della temperatura è divenuta impossibile. Ci dobbiamo aspettare una tendenza delle molecole organiche ad accrescersi, non oso dire tendenza ereditaria, ma sono tentato di farlo pensando alla crescita dei cristalli. Se, quando queste nuove forme organiche sono state prodotte, i risultati, invece di essere stabili, fossero stati molto instabili e, meglio ancora, se una dissoluzione o distruzione sia parziale, sia generale avesse potuto essere prodotta, il progresso sarebbe sempre potuto continuare e anche accelerare¹.

In definitiva, le nuove molecole organiche non avrebbero più a loro disposizione le materie chimiche utilizzabili lasciate dall'evoluzione inorganica, ma solamente i gas e altre sostanze prodotte dalla dissoluzione delle molecole che le hanno precedute. Vi sarebbero soltanto forme chimiche di paccottiglia, ma questo sarebbe ancora meglio che nulla del tutto. In queste condizioni, il regno organico potrebbe proseguire; in altri termini, la dissoluzione di parti di organismi o di interi organismi non sarebbe stata un vantaggio per la razza, ma una condizione essenziale della sua continuazione. È come se potessimo veramente risalire fino ai primi stadi della vita del nostro pianeta per applicare questi versi di Tennyson:

La natura:

*... so careful of the type she seems
so careless of the single life*

Siamo giunti, allora, al periodo in cui tutti i materiali possono essere impiegati e reimpiegati senza interruzione. In questo modo le forme più elevate finiscono per prodursi. Ora, se, a questa dissoluzione, strumento per fornirci nuovi materiali, aggiungiamo la riproduzione, possiamo raggiungere uno stadio ben più avanzato.

Se prendiamo la scissione, che fu, come si sa, il primo metodo di riproduzione, sia nel regno vegetale che animale, e otteniamo una moltiplicazione delle forme per raddoppiamento invece di una moltiplicazione per complicazione come nel mondo inorganico, avremo un progresso molto rapido.

Tutto sommato, ecco quali sono le idee tratte dall'evoluzione inorganica che ci sono suggerite a proposito dell'evoluzione inorganica, dalle constatazioni fatte sulle stelle e dalla distribuzione osservata delle forme più semplici nelle stelle più calde.

Torniamo infine ai fatti. I biologi, più felici degli astronomi e dei chimici, possono vedere le unità da cui partono. Un chimico fa professione di credere solo a ciò che può tenere in una provetta, ma non ho mai visto un chimico avere la possibilità di tenere in un flacone un atomo o una molecola presa come tale. Tuttavia essi mantengono la superstizione di credere solo a ciò che vedono. D'altra parte, la cellula inorganica, unità della biologia, è essa stessa un insieme di entità subordinate, così come una molecola è costituita di atomi elementari; e questa unità manifesta le proprietà comuni alla materia vivente in tutte le sue manifestazioni.

Il tratto generale che caratterizza l'attività delle forme vegetali è di nutrirsi di gas e liquidi, compresa l'acqua di mare. Il progresso della ricerca rafforza la teoria che vi sia un plasma vivente comune a partire dal quale si sono sviluppati il regno animale e il regno vegetale. In ogni caso, si è trovato che i vegetali crescono a spese delle forme chimiche che ho richiamato e che gli animali si nutrono sia di piante, sia di altri animali alimentati dalle piante, in modo tale che abbiamo la reale struttura chimica del protoplasma, cioè, dell'unità vivente reale, della nostra evoluzione organica.

¹Il mio amico e collega il professor Howes ha chiamato la mia attenzione sulle relazioni delle idee che precedono con le teorie del professor Weisman (Weisman, *Sur l'hérédité*, vol. I, p. 112), che sembra essere giunta per vie differenti a una conclusione analoga. Egli dice nel suo *Essai sulla vie e la mort*: Nel mio pensiero, la vita è stata limitata nella sua durata, non perché fosse contraria alla sua natura reale di essere illimitata, ma perché la persistenza illimitata di un individuo sarebbe stato un lusso senza motivo".

Secondo la teoria generale che propongo, tuttavia, non si tratta tanto di *lusso* per il vivente quanto di necessità per gli altri di vivere: è il caso della *mors janua vitae*.

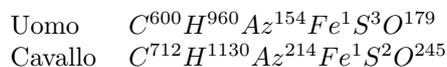
Tutta la questione ruota sulla presenza o l'assenza, in ogni luogo, di una eccedenza delle forme chimiche primitive, utilizzabile *nelle proporzioni volute*. Così la difficoltà sarebbe molto più grande per le forme terrestri che per le forme acquatiche, la dissoluzione delle parti e dell'insieme delle forme terrestri avverrebbe con una rapidità maggiore.

È la questione della possibilità dell'assimilazione continua (vedere Le Dantec, *La Sexualité*, p. 11), e il termine *parti*, di cui mi servo, una caratteristica delle cellule somatiche e non alla parte "immortale" degli organismi viventi.

Qui si pone un'altra questione. Vi è qualche rapporto chimico tra la composizione chimica delle cellule organiche e quella degli strati di inversione delle stelle molto calde, essendo lo strato di inversione la parte dell'anatomia di una stella che caratterizza le diverse specie?

Quando studiamo la composizione chimica di questa cellula, troviamo che essa consiste di una o più forme di un composto complesso di carbonio, di idrogeno, di ossigeno, di azoto con acqua, composto chiamato proteina, ed è così che è formato il protoplasma base comune della vita animale e vegetale. Questa sostanza può distruggersi: essa si distrugge per ossidazione e può ricostituirsi per assimilazione di nuova materia.

La formula dell'emoglobina² ci mostrerà la meravigliosa complessità di ciò che si chiama una cellula semplice.



Si sono attribuite proporzioni alquanto differenti alla composizione di questo protoplasma, ma non mi soffermerei su questo. È più importante considerare le altre sostanze chimiche che concorrono a formarla, poiché vi è tra esse cosa utile da studiare dal punto di vista delle stelle. Cito M. Sheridan Léa³:

“Comunemente le proteine lasciano, dopo la combustione, una quantità variabile di ceneri. Nel caso dell'albumina dell'uovo, la cenere è principalmente composta di cloruro di sodio e di potassio, quest'ultimo in maggiore quantità dell'altro. Il resto consiste di sodio e potassio combinato con acidi fosforico, solforico e carbonico e in piccole quantità di calcio, magnesio e ferro uniti con gli stessi acidi. Vi possono essere anche tracce di silicio.”

Si tratta solo di pure coincidenze? oppure più si penetra nella chimica di questi corpi, più si è ricondotti verso il nostro punto di vista stellare; in queste idee, la semplicità di una forma chimica è determinata dall'ordine di apparizione di queste diverse sostanze chimiche nelle stelle molto calde, in opposizione a quelle più fredde, e dalle “serie” degli spettri che esse producono; si arriva così alla conclusione che la vita organica primitiva è stata, in un modo o nell'altro, la reazione reciproca delle forme chimiche primitive la cui esistenza è indiscutibile? Non solo abbiamo l'idrogeno, l'ossigeno e l'azoto tra i gas comuni alla cellula organica e alle stelle molto calde, ma queste sostanze si sono unite a quelle che ho indicato con caratteri corsivi. È possibile che vi sia un legame del tutto nuovo tra l'uomo e le stelle?

Vi è ancora un'altra cosa da segnalare a proposito della relazione tra queste due evoluzioni organica e inorganica: è il luogo dell'evoluzione organica rispetto alla inorganica nella scala temporale. Non desidero troppo richiamare l'attenzione sul diagramma (fig. 43), poiché è del tutto ipotetico; ma è costruito su principi molto semplici in modo da contenere il minor numero di errori possibile.

²Verworn, p. 104.

³The Chemical bases of the animal body, p. 5.

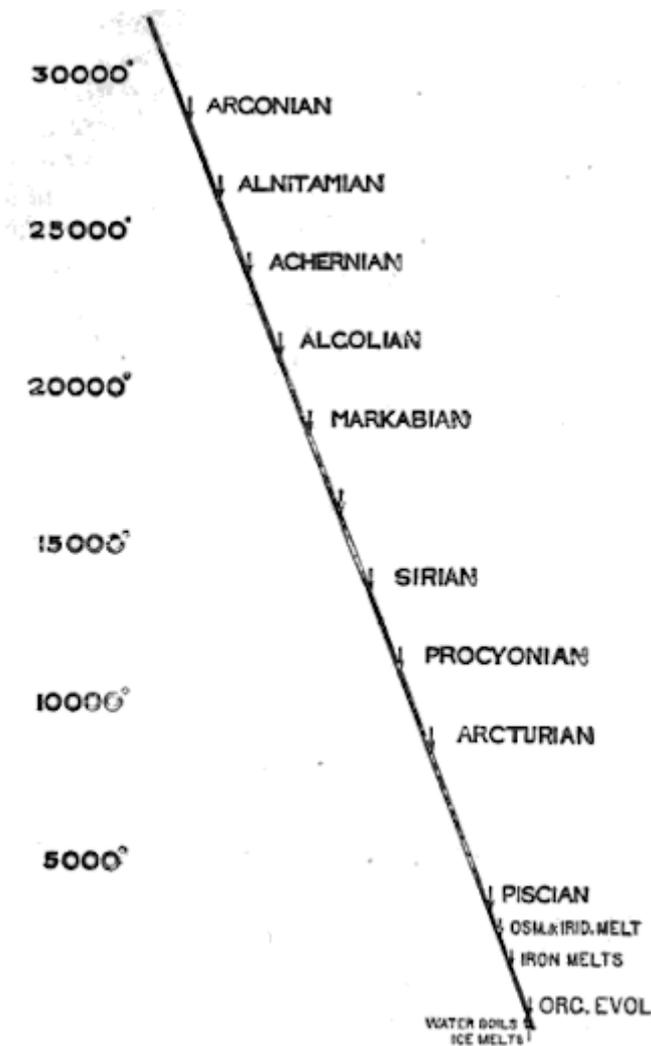


Fig. 43 - Diagramma che mostra che l'evoluzione organica occupa solo un punto sulla linea che rappresenta la durata e i cambiamenti di temperatura necessari per l'evoluzione inorganica.

Comincio col tirare alla base una linea che rappresenta lo zero di temperatura. Alcuni valori della temperatura sono indicati alla sinistra del diagramma. Ammettiamo che una stella perde una quantità di calore uguale in tempi uguali.

Alla base, abbiamo i tempi in valore relativo; sul lato, le temperature in gradi centigradi. L'acqua congela a una certa temperatura al di sopra dello zero assoluto e in capo a un certo altro punto che sono indicati sulla nostra scala di temperatura. Dobbiamo ricordare che è circa uguale alla distanza tra i punti di ebollizione e di congelamento che deve apparire l'intera vita organica che ci è familiare su questo pianeta; secondo le prove geologiche e la nostra esperienza, la vita deve essere iniziata ad una temperatura da 40° a 50° centigradi.

Abbiamo, quindi, il limite tra la vita organica e una vita inorganica possibile che sarà rappresentato dai diversi cambiamenti chimici verificatisi nelle stelle.

Sappiamo, dai risultati ottenuti in laboratorio, che le stelle la cui temperatura è la più bassa si trovano circa alla stessa temperatura dell'arco elettrico, che è di circa 3500° C; è qui che poniamo le stelle del tipo Pesci.

M. Wilson ha ultimamente stabilito che la temperatura del sole misurata con diversi metodi fisici era compresa tra 8000° e 9000° C, di modo che possiamo porre a questo livello le stelle Arturiane. Naturalmente non abbiamo alcun mezzo per determinare le temperature delle stelle più calde; così avanzo timidamente l'ipotesi che vi è tra queste stelle una differenza di temperatura uguale alla metà di quella trovata dalle esperienze sulla terra tra le stelle Arturiane e Pesciane. Sarà qualcosa come 5000° C. Se ammettiamo uguali innalzamenti di temperatura per ognuno di questi generi differenti di stelle che ho raccolto nel capitolo VII, avremo in cima al diagramma una temperatura vicina ai 28000° C. Ci rimane ora solo da tirare una diagonale sulla quale indicheremo le diverse temperature che abbiamo considerato: su questa linea, l'evoluzione organica, cioè tutto quanto si è prodotto relativamente alle forme viventi, sulla superficie della nostra terra, dopo l'epoca per Laurenziana fino ai giorni nostri, è rappresentata da un piccolo punto.

Si vede quali valori potrebbero avere nell'avvenire queste ricerche di analisi spettrale che poggiano su una quantità di cambiamenti e un periodo di tempo in confronto del quale tutti i cambiamenti discussi dai geologi sono quasi invisibili su un diagramma di questo formato.

Non solo questa scala ci può servire, ma penso che, come ho già indicato, la straordinaria somiglianza tra le sostanze contenute nella cellula organica e quelle che hanno avuto la maggiore possibilità di restare libere, dopo che la maggior parte delle combinazioni chimiche si produssero alla superficie del mondo in via di raffreddamento, getterà qualche luce sulla base dell'evoluzione organica stessa.

In questo modo abbiamo semplicemente spinto più lontano un insieme di idee riguardanti il posto dell'uomo nella natura, rispetto al posto del sole nella natura; e abbiamo trovato un nuovo motivo di pensare che lo studio delle scienze più diverse ci permette di far reagire, le une sulle altre, le conoscenze dei diversi settori, più l'unità della natura si imprime con forza nelle nostre menti.

Capitolo 23

L'evoluzione inorganica dal punto di vista chimico

Tra i fatti dell'evoluzione inorganica che ci presentano gli spettri stellari ve ne uno la cui importanza è preponderante.

Nei problemi dell'evoluzione inorganica, che andiamo ora ad esaminare, è ben evidente che incontriamo una complessità di forme sempre crescente, così come i biologi hanno avuto a che fare con un simile accrescimento della complessità delle forme organiche delle quali si sono occupati con successo. Finora abbiamo evidenziato solo in generale quei processi in cui si è prodotta questa complessità. È ora il momento di cercare di ottenere chiarimenti più dettagliati sui metodi con i quali la complessità inorganica si è prodotta. Discuterò questa questione dapprima dal punto di vista delle teoria chimiche.

Se vogliamo sapere come si produce la complessità nel caso dei composti chimici noti, la risposta è fornita facilmente dall'analisi.

Il cloruro di sodio, per esempio, è formato dalla combinazione del cloro e del sodio. Ma quando si tratta della formazione di questi pretesi "elementi" la soluzione è meno facile.

Se, nella ricerca della soluzione di questo problema, ci lasciamo guidare dalle analogie tratte dalla formazione dei corpi composti, diremo che le molecole degli elementi sono state prodotte mediante la combinazione di forme eterogenee.

Ma i chimici sanno che questo metodo non è il solo che produce la complessità. Vi sono corpi di stessa composizione centesimale e che hanno pesi molecolari diversi. La serie del metano degli idrocarburi derivati è uno di questi casi. L'aumento del peso molecolare, cioè il passaggio dagli idrocarburi semplici ai complessi, si fa per aggiunte successive del radicale CH_2 ; in modo che i complessi sono il risultato della combinazione di complessi più semplici, tra loro simili. Questo processo si chiama polimerizzazione.

Eccoci familiarizzati con due metodi di accrescere la complessità: possiamo rappresentarli con $a + a$ (polimerizzazione) e $x + y$ (combinazione) per ottenere una forma A .

È il problema esaminato dal punto di vista esclusivamente chimico. Attraverso quale di questi metodi si sono formati gli elementi, che abbiamo il diritto di considerare oggi come composti? Suppongo che i chimici, se considerassero l'ipotesi della dissociazione degli elementi chimici, sarebbero piuttosto favorevoli all'idea di una depolimerizzazione, cioè alla rottura di una sostanza A in due forme più sottili a di peso $\frac{A}{2}$ o $\frac{A}{3}$ che all'ipotesi di una semplificazione di A in x e y .

Il metodo che consiste nell'affrontare il problema in primo luogo dal punto di vista chimico deve essere in qualche maniera un metodo indiretto.

Le stelle e la legge periodica

Nel capitolo XXI ho parlato dell'importante ipotesi di Newlands, Mendeléef e altri, che è denominata la "legge periodica"; questa legge stabilisce una relazione tra certe caratteristiche chimiche degli elementi e il loro peso atomico.

È bene ora studiare questa questione per discuterla alla luce di tutti i fatti noti, tra i quali le constatazioni fatte sulle stelle e lo studio delle serie hanno, penso, un'importanza del tutto particolare. Si può dire, infatti, che abbiamo ora il diritto assoluto di sostenere l'idea che, dal numero di righe che appaiono nello spettro di sostanze chimiche esposte a temperature relativamente elevate, una proporzione variabile è prodotta dai *costituenti la sostanza*, che sia un composto come il cloruro di magnesio, per esempio, o che sia il magnesio stesso. La legge periodica basata sui pesi atomici prende ogni elemento così come esiste a una temperatura alla quale i chimici lo possono maneggiare. Cioè se si tratta, per esempio, del magnesio, il cloruro o un altro composto del magnesio deve essere stato decomposto e il cloro completamente eliminato prima di avere tra le mani il magnesio puro;

si determina allora il peso atomico di questo magnesio puro e, considerando le sue proprietà chimiche, se ne deduce la posizione nel sistema periodico.

Ma il magnesio stesso può essere un composto; in questo caso, il posto che gli si assegna non concorderà con le osservazioni stellari se la temperatura della stella studiata è molto alta per continuare l'opera di dissociazione, cioè per ridurre il magnesio nei suoi elementi, così come in laboratorio il cloruro di magnesio era stata scomposto fin dall'inizio.

Si sa ora che operando con del magnesio autentico, si è, per le alte tensioni elettriche, in presenza di uno spettro costituito da almeno due gruppi di righe: di un gran numero tra loro che si vedono già alla temperatura dell'arco e di un numero molto ristretto che fa la sua comparsa nella scintilla.

Se tale è l'opera della dissociazione, - e, come ho mostrato, le prove sono numerose, - il peso atomico della particella, molecola, o massa (chiamatela come volete), che produce le righe in numero ristretto (le righe intensificate), sarà minore di quello del magnesio la cui dissociazione lo origina.

E questo ci porta al punto principale che riguarda la legge periodica:

Poiché le masse più piccole che producono le righe intensificate non sono state ancora isolate, che il loro peso atomico e le loro proprietà chimiche non sono stati ancora determinati, il loro posto non può essere indicato nella classificazione periodica così come è strutturata oggi.

Di conseguenza, ciò che sostengo, è che alcune discordanze, poiché ne esistono tra i dati stellari e l'ipotesi periodica, non hanno altra origine.

Il magnesio, e vi unisco il calcio, che i chimici studiano ad una temperatura relativamente bassa, hanno rispettivamente pesi atomici di 24 e 40 e i dati stellari sarebbero in armonia con la legge periodica se il magnesio (24) si trovasse dopo il sodio (23) e il calcio (40) dopo il cloro (39); più in generale una sostanza qualsiasi dovrebbe essere più recente di ogni altra di peso atomico inferiore.

Per maggiore semplicità mi limito per il momento al caso del magnesio e del calcio; troviamo, nelle stelle, righe di alta temperatura del magnesio e del calcio che appaiono prima delle righe note dello spettro dell'ossigeno il cui peso atomico è 16.

Come conciliare tutto ciò? La spiegazione che propongo è che le sostanze rivelate dalle righe intensificate del magnesio e del calcio e osservate nelle stelle più calde hanno pesi atomici minori - masse più piccole - dell'ossigeno nella classificazione periodica.

Vediamo quelli che possono essere questi pesi atomici. Prendiamo l'ipotesi $\frac{A}{2}$, il peso atomico del protomagnesio sarà $24/2 = 12$, quello del protocalcio $40/2 = 20$, supponendo che vi sia stata una sola depolimerizzazione.

Se ne ammettiamo due, abbiamo 6 e 10 per le forme più semplici del magnesio e del calcio osservate nelle stelle più calde.

In questo modo possiamo spiegare la comparsa di queste forme più sottili di magnesio e di calcio, prima di quella dell'ossigeno e l'ordine stellare dei pesi atomici sarà:

Idrogeno	1
Protocalcio	10
Protomagnesio	12
Ossigeno	16

Ecco quindi una possibile conciliazione; bisogna rendersi conto ora se questa polimerizzazione minima è sufficiente.

A tal proposito, bisogna vedere secondo quale criterio si è fissato a 16 il peso atomico dell'ossigeno e considerare le serie relative a questo gas.

Ritorniamo al capitolo X dove ho constatato che il caso più semplice delle serie ci è dato dal sodio e dagli altri corpi che percorrono il ciclo di tutti i loro cambiamenti spettrali noti a bassa temperatura. Nello stadio di spettro di righe, abbiamo tre serie, una principale e due secondarie (prima e seconda). La prima contiene la riga arancione D, che si vede costantemente ad ogni temperatura; la prima serie secondaria contiene la riga rossa, la seconda serie secondaria la riga verde, rappresentando entrambe le serie di righe che si vedono soprattutto nella fiamma e nell'arco.

Le due serie secondarie del sodio, come quelle di tutti gli altri elementi esaminati finora, hanno la particolarità di terminare quasi alla stessa lunghezza d'onda, mentre la serie principale termina ad una lunghezza d'onda diversa, talvolta anche molto diversa. Vedremo che vi è anche un punto di massima importanza; esso segna una interdipendenza tra due serie secondarie e una differenza tra di esse e la serie principale.

Benché all'origine si abbia avuto l'idea che le tre serie fossero prodotte dalle vibrazioni della stessa molecola, l'osservazione dei fenomeni del solo sodio è spiegata semplicemente e in modo sufficiente dall'ipotesi delle tre masse diverse in vibrazione, due delle quali, che producono le serie secondarie, possono essere dissociate dal calore, mentre la terza, che produce la serie principale, non lo è.

Le serie rappresentate dalle righe del verde e del rosso si vedono soprattutto a bassa temperatura e si vedono sole ed è esperienza comune che la riga gialla, che rappresenta la serie principale, si vede generalmente tutta sola. Essa non scompare come le altre a bassa temperatura.

La massa le cui vibrazioni ci danno la riga gialla è la rappresentante ordinaria del sodio poiché essa si produce per la dissociazione ad una bassa temperatura, di forme più complesse, e che non si dissocia per i mezzi a nostra disposizione,

Si vedono più raramente le masse le cui vibrazioni producono le due serie secondarie (righe del rosso e verde) poiché il calore le distrugge facilmente.

Le si vede sempre appena ad alta temperatura quando la quantità di materia è minima; infatti, come ho già detto, anni fa: "più sostanza vi è da dissociare, più tempo serve per percorrere le serie e meglio si vedono i primi stadi".

Questa teoria è fortemente sostenuta dalla considerazione di un'altra sostanza che, se accettiamo i risultati di Pickering e Rydberg, ha, come il sodio, tre serie, una principale e due secondarie, assolutamente regolari. Voglio parlare dell'idrogeno.

Fino a questi ultimi tempi noi conosciamo solo una serie dell'idrogeno e, per questo motivo, Rydberg ammise che questo gas rappresentava la forma più sottile nota della materia, considerando come più complesse le altre sostanze che davano tre serie. Questa idea è in sintonia con l'impostazione espressa in precedenza.

Se accettiamo le supposizioni recenti, dobbiamo considerare, dal punto di vista delle serie, l'idrogeno come identico al sodio. Ma vi è un'enorme differenza. Per il sodio vediamo facilmente le tre serie a bassa temperatura - quella del becco di Bunsen basta - mentre nel caso dell'idrogeno, la bobina di Spottistwoode non ci fa vedere nulla più che una delle serie secondarie. Nello stesso tempo le altre serie, secondaria e principale, sono visibili nelle stelle che abbiamo diversi motivi di credere più calde della scintilla prodotta dalla bobina di Spottiswood.

L'argomento ricavato dalle osservazioni relative al sodio, a favore dell'esistenza di almeno 3 masse differenti che producono le tre serie differenti, si trova quindi fortemente sostenuto dalle conoscenze attuali relative all'idrogeno.

Io accetterò questo argomento in ciò che segue e che si riferisce a fenomeni più complessi.

L'ossigeno, invece di avere tre serie come l'idrogeno e i metalli a basso punto di fusione, ne ha sei. Queste sei serie sono state divise da Runge e Paschen in due gruppi normali di tre, avente ogni gruppo una serie principale e due secondarie.

Vi è evidentemente un nuovo problema da risolvere. Dobbiamo aggiungere le serie del sodio a quelle dell'idrogeno per avere un insieme di "serie" analogo a quello ottenuto per l'ossigeno.

Prima di proseguire, bisogna considerare l'ordine possibile delle semplificazioni. Prendiamo il caso più semplice rappresentato dal sodio e dall'idrogeno come primo esempio.

I fatti sono indicati nella tabella seguente:

	Alta temperatura					
	Sodio				Idrogeno	
	Principale	Vapore celeste e terrestre		Stadio delle righe	Principale	Gas celeste
Stadio delle righe	Secondaria			Secondaria	Secondaria	Gas terrestre
	Secondaria			Vapore terrestre	Secondaria	Gas terrestre
Scanalature				Spettro di struttura		
Spettro continuo		Solido e liquido		Spettro continuo	Gas terrestre	
		Bassa temperatura				

Ci possiamo ora servire di questi risultati per l'ossigeno. Apprendiamo dapprima da d'Egeroff che questo gas alla temperatura e alla pressione ordinarie ha una struttura molecolare tale da produrre per assorbimento scanalature nella parte rossa dello spettro. Essendo data la costanza dei risultati ottenuti dai chimici, non possiamo credere che si tratti di una miscela di molecole; l'assorbimento scanalato deve, quindi, essere prodotto dalle molecole di una stessa complessità avente 16 per "peso atomico".

Se lo sottoponiamo ad una corrente indotta a bassa pressione (l'azione di una tale corrente è molto piccola, in queste condizioni di pressione), esso si fraziona in due gruppi normali di tre serie, facendo in totale sei serie. Conoscendo ciò che si ha per il sodio e l'idrogeno, è quasi impossibile studiare questi fatti senza ammettere, secondo la teoria chimica ordinaria, che la molecola che dà le scanalature si fraziona in due, finché abbiamo la fine.

	Alta temperatura	
	Gruppo A	Gruppo B
	Serie principale	Serie principale
Spettro di righe	Secondaria	Secondaria
	Secondaria	Secondaria
	Spettro scanalato	
	Bassa temperatura	

Ma se accettiamo questa teoria, abbandoniamo la depolimerizzazione, poiché le molecole delle serie secondarie dei gruppi A e B così prodotte non possono essere identiche poiché i loro spettri non lo sono.

Se manteniamo l'ipotesi della depolimerizzazione, dobbiamo disporre le cose così:

	Principale
Gruppo B o A	Secondaria
	Secondaria
	Principale
Gruppo A o B	Secondaria
	Secondaria
Spettro scanalato	

e abbiamo sei depolimerizzazioni.

Il numero di righe misurate da Runge e Paschen nello spettro dell'ossigeno a bassa temperatura era di 76. Tra esse, le sei serie ne contenevano 56, lasciando 20 righe residue.

Se impieghiamo una corrente indotta intensa alla pressione atmosferica, spegniamo praticamente queste sei serie e produciamo un nuovo spettro contenente un numero di righe ancora più grande: 114 secondo Neovius.

Vi è una sola riga comune tra la tabella di Neovius e quella di Runge e Paschen. Ignoriamo assolutamente in quali condizioni queste nuove righe potrebbero dare delle serie.

Prendiamo la via più semplice che deriva dal principio di continuità e supponiamo che il grande numero delle nuove righe sia dovuto al frazionamento delle molecole della serie principale superiore data nella tabella precedente, rappresentando una forma ancora più piccola, anche dell'idrogeno, così come le conosciamo, si fraziona alle temperature stellari più elevate in forme più sottili.

Abbiamo, nell'ordine di idee che portiamo avanti, qualche mezzo per valutare il numero di forme più sottili che operano per produrre 113 nuove righe?

La statistica sembra aprirci una possibile via.

Prendendo il numero di righe già rivelate tra $\lambda 7000$ e $\lambda 2600$, in cifre tonde, negli spettri delle seguenti sostanze che ci danno tre serie: litio, sodio, potassio, elio, asterio, idrogeno, troviamo che il numero di righe in ogni serie e il numero totale sono:

	Numero massimo	Numero minimo	Media
Serie principale	10 Ast.	1 <i>H</i>	7
Prima secondaria	17 Elio	6 <i>Na</i>	9
Seconda secondaria	12 Elio	4 <i>Li</i>	8
Totale	39	11	24

Questo indica che, nell'ossigeno, siamo leggermente al di sopra della media con $\frac{56}{2} = 28$ righe per gruppo. Se prendiamo i fatti, per l'ossigeno stesso, che ci dà 56 righe per due gruppi di tre, le 113 righe daranno quasi esattamente quattro gruppi aggiuntivi di tre serie e, di conseguenza, la possibilità di ulteriori dodici depolimerizzazioni se si considera questo modo di semplificazione. Naturalmente possiamo diminuire della metà il numero di depolimerizzazioni ammettendo che la molecole ha scanalature, invece di depolimerizzarsi, si fraziona in *x* e *y*, basi di due sistemi di serie.

È questa messe di nuove righe che, sola, figura nelle stelle più calde, e nessuno, penso, pretenderà che qualche specie di semplificazione, potendo comportare depolimerizzazioni, non è intervenuta prima che queste nuove righe non vengano messe in evidenza.

La nostra base di 16 svanisce, quindi, e con essa i pesi atomici considerati sopra come in grado di essere quelli delle forme di magnesio e di calcio che precedono la comparsa dell'ossigeno nelle stelle molto calde. Dobbiamo, quindi, nel caso di questi due metalli, ammettere un numero di depolimerizzazioni maggiore di quanto abbiamo fatto in precedenza.

Arrivo ora a un altro punto. Come le considerazioni precedenti sono in accordo con il peso atomico 1 dell'idrogeno? Spettroscopicamente, non sappiamo nulla di questo idrogeno. È provato che si fraziona in qualcosa che dà uno spettro di struttura complicata contenente centinaia di righe non ancora ripartite in serie, poi in quello che dà la serie che si vede nei nostri laboratori e nelle stelle fredde, poi in due forme che non possiamo ottenere in laboratorio.

Applichiamo lo stesso metodo statistico che abbiamo usato per l'ossigeno. Nella regione esplorata, il numero di righe riferito alle tre serie è 17. Hasselberg ha misurato 454 righe nello spettro di struttura tra $\lambda\lambda 642$ e 441. Se questo spettro è costituito da serie simili a quelle osservate alle più alte temperature, dobbiamo avere (considerando che il lavoro di Hasselberg è limitato) più di $\frac{454}{17} = \pm 27$ serie o 9 gruppi di tre serie. Avremo quindi a che fare con 12 depolimerizzazioni.

Ma, per maggiore sicurezza, ammettiamo il numero sei, basandoci sul fatto che, nelle serie, le righe possono essere più numerose e che certe righe di Hasselberg possono essere dovute alle scanalature. Diventa chiaro che le masse o pesi "atomici" ai quali si arriva saranno molto piccoli. Ecco una tabella del processo:

Spettro	Luoghi in cui esistono	Serie	Masse
Spettro di righe	nel cielo	Principale	0,0019
		Secondaria	0,0039
	sulla terra	Secondaria	0,0078
		Principale	0,0156
Spettro scanalato	Gruppo B sulla terra	Secondaria	0,0312
		Secondaria	0,0625
	Gruppo A sulla terra	Principale	0,125
		Secondaria	0,25
		Secondaria	0,5
Spettro continuo		Idrogeno pesato a freddo	1

Una tale conclusione e il ragionamento da cui deriva devono valere o cadere in base a quanto la scienza potrà apprendere riguardo alle masse di questo tipo.

Devo mostrare poi che, grazie alle ricerche del professor J. J. Thomson, la scienza inizia ad apprendere molte cose sulle masse simili; il risultato di questo lavoro può essere favorevole alla teoria che fa la polimerizzazione la reale causa della complessità molecolare, almeno per gli elementi di piccolo peso atomico, se accettiamo la teoria chimica corrente.

Consideriamo il caso di elementi il cui peso atomico è maggiore. Nel primi stadi dell'evoluzione in cui abbiamo delle sostanze di peso atomico relativamente piccolo, le constatazioni fatte sulle stelle ci forniscono limiti definiti poiché gli spettri delle stelle molto calde non sono sovraccarichi di righe. Quando abbiamo superato gli stadi gassosi e protometallici, tuttavia, troviamo gli spettri riempiti di righe che vediamo alla temperatura dell'arco, spettri comprendenti i metalli al punto di fusione e pesi atomici elevati. L'ordine esatto di successione è naturalmente più difficile da seguire e il *processo* dell'evoluzione ci può sfuggire.

Kayser e Runge hanno mostrato che il punto di fusione ha una profonda influenza sulle serie. Le sostanze poco fondibili come il bario e l'oro non ci presentano serie. Vi è in genere una tale profusione di righe che è stato finora impossibile sbrogliare. Troviamo lo "spettro di struttura" dell'idrogeno riprodotto in questi metalli alle temperature dell'arco, in quello che si chiama lo "spettro d'arco".

Ho già detto che molti chimici ammetterebbero la formazione di grandi masse piuttosto per polimerizzazione che per combinazione di atomi eterogenei. Ma se consideriamo i corpi composti, l'analogia è, per il principio di continuità, tutto a favore di quest'ultima ipotesi, poiché ignoriamo il punto in cui un processo evolutivo è sostituito a un altro. La distinzione attualmente ammessa tra i corpi semplici e composti misura semplicemente la nostra ignoranza e la pochezza delle risorse dei nostri laboratori per quanto riguarda temperature necessarie a produrre maggiori semplificazioni.

Ho discusso questa questione nella mia *Chimica del Sole* nel 1887 e mostrato che l'analogia della serie completamente studiata degli idrocarburi iniziati con CH_2 suggeriva una serie elementare ipotetica:

$a b$	separati
$a + b$	combinati
$a + (b + b)$	scritti in chimica ab^2
$a + (b^2) (b^2)$	scritti in chimica ab^4 , ecc.

Nelle serie degli idrocarburi abbiamo aggiunte continue da CH_2 a CH_4 fino a una molecola di $C_{16}H_{24}$ e per tracciare facilmente la struttura di questa molecola, la possiamo immaginare semplificata da mosse successive del suo costituente CH_2 ; passiamo da una semplificazione che si può produrre per semplice raddoppiamento a un'altra che ci fornisce masse relativamente grandi e piccole.

Capitolo 24

L'evoluzione inorganica dal punto di vista fisico

Abbiamo un modo per chiarirci meglio che con la chimica ortodossa?

Con il progresso della scienza, l'idea di atomo è molto cambiata.

Inizialmente si considerava la differenza tra gli atomi da elemento a elemento come puramente chimica. Le ultime ricerche hanno portato ad una nuova concezione. Non vi è più materia che presenta differenze puramente chimiche, ma materia che, chimicamente diversa o no, *porta una carica elettrica*. Nel corso dei primi lavori fatti, i fisici, al fine di rendere conto dei fenomeni dell'elettrolisi e delle soluzioni, immaginarono sotto molecole o sotto atomi che trasportavano in un elettrolita una carica elettrica, dall'anodo al catodo.

Si chiama questo uno ione (che significa *colui che va* in greco).

Questa concezione è stata ulteriormente impiegata per spiegare i moti delle particelle materiali che producono la luce e, di conseguenza, le righe spettrali.

La sottoparticella, lo *ione*, con la sua massa m e carica elettrica e , è supposta muoversi in un'orbita ellittica sotto l'attrazione del centro.

Si supponeva dapprima che gli ioni fossero particelle elettrizzate, ma le si considera oggi come sistemi dinamici complessi i cui movimenti sono registrati dai fenomeni spettrali.

Quanto ho detto a proposito delle diverse questioni legate allo studio delle "serie" delle righe spettrali permetterà di comprendere come l'idea di "sistemi dinamici complessi" è ugualmente necessaria per spiegare i fenomeni delle serie.

Ho mostrato che l'atomo di idrogeno, pesato dai chimici, può essere costituito da centinaia di oggetti, detti come volete, di cui un piccolo numero produce nelle stelle molto calde le vibrazioni che ci manifestano l'esistenza dell'idrogeno negli spazi celesti.

Tutte queste dimostrazioni moderne tendono a giustificare l'idea che i diversi spettri sono prodotti non da diverse sostanze, ma da stati diversi della stessa sostanza.

Queste differenze di stato possono mantenere sia la carica elettrica, sia la massa dello ione o della molecola attorno alla quale circola. Il numero o il modo di disposizione di queste unità di materia presenti nello ione o nella molecola centrale possono variare.

Immaginate una serie di sostanze "chimicamente" differenti, la cui differenza intrinseca da A, la più semplice, a Z, la più complessa, consiste in realtà nel diverso numero di unità che le costituiscono.

Quando Z è semplificato dal calore, il sistema complesso, formato dal centro di forza e dallo ione con le rispettive cariche elettriche, cambierà e il risultato che ci possiamo attendere sarà la formazione di sistemi meno complessi, costruiti su un modello simile e, di conseguenza, in grado di produrre spettri. Pertanto, siamo portati a vedere gli spettri di qualche forma intermedia che, quando essi sono stabili e persistenti, possono essere stati già riconosciuti dai fisici. Possiamo chiamarli B o C, o R o S, o X o Y, come rappresentanti diversi gradi di complessità.

Più complessa sarà la forma sulla quale si sperimenta e più alta la temperatura impiegata nel laboratorio, più potremo vedere righe spettrali indicanti "elementi" chimici diversi agli stadi intermedi.

Dico in laboratorio, poiché anche nelle stelle sarà così. Là, a causa dell'effetto prolungato del calore e dell'azione dello strato di inversione che protegge contro gli effetti di una temperatura inferiore, vediamo alla più alta temperatura solo le forme A e quelle vicine ad A. Sappiamo ora quali sono queste forme.

Per prendere un altro esempio, ammettiamo che le cariche elettriche e la disposizione varino con il numero di unità di materia. In queste condizioni quando dissocieremo Z, vi sarà manifestazione spettrale solo di alcune e non di tutte le forme intermedie possibili. Vedremo, per esempio, le forme che sono nelle colonne verticali della classificazione di Mendeléef; faccio questa ipotesi perché Kayser ha mostrato che l'esistenza delle righe doppie o triple nelle serie è legata alla posizione che occupano gli elementi in queste colonne. Si avrà un esempio concreto

di questo caso con il contrasto del sodio e del cesio, che rappresentano rispettivamente le sostanze semplici e quelle complesse. Potremo sperare di vedere le righe del sodio quando il cesio si dissocerà; non potremo aspettarci di vedere le righe del cesio quando il sodio si dissocerà.

È possibile che i due casi scelti possano illustrare la differenza esistente tra gli "elementi" aventi e non aventi affinità.

La comparsa, che sembra costante, di righe caratteristiche di una sostanza di un gruppo nello spettro di altri membri di uno stesso gruppo si può spiegare così, benché lo si spieghi solitamente con impurità, come nel caso di tutte le righe lunghe comuni che si osservano negli spettri; quest'ultima spiegazione ci obbligherà ad ammettere che se i campioni più puri che si conoscono (ho lavorato su grani d'argento di Stas che non erano mai stati toccati) sono comunque impuri, alcuni decimali del loro peso atomico potrebbero essere economicizzati. Ma questa non è un semplice questione di impurità.

È possibile che alcuni dei gas, di piccolo peso atomico, che esistono nelle stelle molto calde, possano essere rappresentati da A, in opposizione ai metalli pesanti, rappresentati da Z, di cui si conosce l'esistenza solo nelle stelle più fredde.

L'emissione di gas dai metalli quando si impiega l'elettricità ad alta tensione è un fatto ben noto. Si è ammesso per spiegarlo che siano gas di intense fornaci "racchiuse" nei metalli durante la loro riduzione. Ma non sembra che questa spiegazione sia sufficiente poiché gli stessi gas si liberano dalle meteoriti. Sappiamo ora che si potrebbe produrre qualcosa di analogo se la concezione moderna della struttura dell'atomo ha qualche valore; e questi fatti non si spiegano con la chimica delle stelle più calde?

Sarebbe prematuro cercare di discutere a questo proposito gli effetti della carica elettrica, ma si può fare la seguente osservazione. Si ammetta che gli ioni portano sempre una carica elettrica; qualunque sia il modo di associazione delle unità che li compongono, si osserva che, non appena si sottopongono all'azione di una corrente voltaica o indotta, i fenomeni spettrali che accompagnano l'innalzamento della temperatura sono suscettibili di cambiare molto in certi casi e soprattutto nel caso di pesi atomici elevati. Senza alcun dubbio abbiamo un settore di ricerche che finalmente ci fornirà preziosi insegnamenti. Ho già mostrato che con i gas, come l'ossigeno e l'idrogeno, il solo calore non produce fenomeni spettrali, mentre nel caso dei metalli come il sodio, il calore ha una azione dissociatrice così efficace che l'applicazione successiva dell'elettricità non produce nuovi fenomeni.

Dobbiamo considerare infatti che gli effetti prodotti sulle diverse sostanze in condizioni identiche sono diversi e che le stelle ci spingono più lontano dei nostri laboratori. Vi sono fasi di cambiamento spettrali al di fuori del nostro potere o nel nostro potere che non rivelano un insieme di ioni o quale redistribuzione della materia a temperature diverse.

Naturalmente è possibile che la redistribuzione della materia abbia luogo nella molecola centrale stessa. Bisogna ricordare che, sia nella molecola centrale, sia nello ione, a una più alta temperatura, è associata una semplificazione dell'insieme del meccanismo.

Le ricerche del Dr Preston

Recentemente lo studio delle perturbazioni magnetiche delle righe spettrali ha portato a nuove constatazioni.

È stato provato che i fenomeni spettrali sono diversi quando la sorgente di luce esaminata è sottoposta all'azione di un campo magnetico intenso che, tra le altre cose, provoca un movimento di precessione delle orbite degli ioni di cui ho già parlato.

Per esaminare l'andamento del fenomeno, prendiamo lo spettro dello zinco, che contiene dei tripletti. Si è mostrato che indicandoli nell'ordine della rifrangibilità crescente con $A_1 B_1 C_1 A_2 B_2 C_2$, ecc., le righe A_1, A_2 , ecc., manifestano uno stesso effetto magnetico e hanno lo stesso valore del rapporto $\frac{e}{m}$. Le righe $B_1 B_2 B_3$ e $C_1 C_2 C_3$, ecc., formano altre serie e possiedono in ciascun caso per $\frac{e}{m}$ un valore comune.

Il Dr Preston, uno dei ricercatori più fortunati in questa nuova strada, dice:

"Il valore di $\frac{e}{m}$ per le serie A differisce da quello di $\frac{e}{m}$ per le serie B o C, e ciò ci porta ad ammettere che gli atomi di zinco sono costituiti da ioni che differiscono l'uno dall'altro per il valore della quantità $\frac{e}{m}$; ognuno di questi ioni produce una certa serie di righe nello spettro del metallo."

Ma non è tutto quanto apprendiamo dalle ricerche del Dr Preston:

"Quando esaminiamo lo spettro del cadmio o del magnesio, cioè gli spettri di altri metalli dello stesso gruppo chimico, non solo troviamo che gli spettri sono omologhi, che le loro righe formano gruppi simili, ma anche che le righe corrispondenti ai diversi spettri sono pure influenzate dal campo magnetico. E non solo l'effetto magnetico è lo stesso per le righe corrispondenti metalli diversi dello stesso gruppo chimico, ma l'ampiezza effettiva della rivoluzione misurata dalla quantità $\frac{e}{m}$ è la stessa per le serie corrispondenti di righe nei diversi spettri.

La tabella seguente le mostra e ci fa credere o almeno supporre che lo ione che produce le righe $A_1 A_2 A_3$, ecc., nello spettro dello zinco, è lo stesso che produce le serie corrispondenti $A_1 A_2 A_3$ nel cadmio e nei gruppi corrispondenti dei metalli di questa famiglia chimica.

"In altre parole, siamo portati a pensare che non solo l'atomo è un composto complesso o una associazione di ioni diversi, ma che gli atomi delle sostanze della stessa famiglia chimica sono forse costituiti dalla stessa

specie di ioni o almeno di ioni aventi lo stesso $\frac{e}{m}$; la differenza esistente tra le sostanze così composte dipendono piuttosto dal modo di associazione degli ioni nell'atomo che dalla differenza nelle caratteristiche fondamentali degli ioni che compongono l'atomo."

Effetto Magnetico	Assenza o tripletti complessi ⁸	Sestetti	Tripletti
Cadmio	$\lambda = 5086$	$\lambda = 4800$	$\lambda = 4678$
Zinco	$\lambda = 4811$	$\lambda = 4722$	$\lambda = 4680$
Magnesio	$\lambda = 5184$	$\lambda = 5173$	$\lambda = 5167$
Moto precessionale	$e/m = 55$	$e/m = 87$	$e/m = 100$

[Questa tabella mostra l'effetto per le 3 righe che compongono il primo tripletto naturale nello spettro del cadmio confrontate con le righe corrispondenti dello zinco e del magnesio. Si vedrà che le righe corrispondenti nei diversi spettri subiscono effetti magnetici di carattere e grandezza identici. Le righe corrispondenti 4800, 4722, 5173 sono tutte e tre risolte in sestetti e la precessione prodotta sull'orbita dello ione è la stessa ($e/m = 87$). Analogamente per le altre righe che si corrispondono.]

È un risultato di primaria importanza. Precedentemente, ho discusso ciò che si potrebbe produrre, quando il sistema che produce lo spettro di un elemento scomparirà. Ho mostrato che se si producessero sistemi meno complessi, ma disposti secondo lo stesso modello (consistente in un centro di forza e di uno ione portante la sua carica elettrica) questi sistemi sarebbero pure in grado di produrre spettri come quelli della rottura dalla quale provengono. Avremo nuovi ioni liberi di muoversi e di vibrare e nuovi spettri che potrebbero rivelarci i costituenti, cioè il modo in cui si fraziona il sistema complesso. Ma il Dr Preston va oltre. Egli mostra che lo stesso ione associato a diversi centri di forza ci dà righe di lunghezze d'onda diverse. Cioè che un certo ione che, nello spettro del magnesio dà b , esiste anche nello zinco e nel cadmio, benché non vi sia traccia di b nei loro spettri.

Se le idee date da coloro che operano in tutti questi settori si confermano, saremo portati ad abbandonare l'ipotesi che la polimerizzazione è la sola causa di una grande complessità delle molecole degli elementi; ma ci rafforzeranno nella nostra idea che tutti gli atomi chimici hanno una base comune e costruiremo, su questa base, nuove immagini mentali.

Passo, ora, dalle prove spettroscopiche a lavori effettuati in un nuovo settore.

Ricerche del Professor J. J. Thomson

Ho in precedenza ricordato il fatto che la scienza attuale è portata a considerare masse molto più piccole di quelle dell'atomo di idrogeno. Ciò deriva non solo da "serie", ma da ricerche recenti del Prof. J. J. Thomson riguardanti i raggi catodici.

Siccome i raggi catodici producono effetti luminosi, è possibile seguire la loro traiettoria e si è potuto, di conseguenza, constatare che sono deviati in un campo magnetico.

Questa deviazione dipende dalla massa di ogni particella e dalla carica che trasporta, cioè dalla quantità $\frac{m}{e}$. Il Prof. J. J. Thomson trova che questo rapporto è circa la $\frac{1}{700}$ — *esima* parte del valore corrispondente per l'ione di idrogeno nella comune elettrolisi.

Nello stesso tempo il Prof. J. J. Thomson e M. Townsend hanno trovato che la carica elettrica e è la stessa per i raggi catodici e lo ione idrogeno. Il rapporto $\frac{m}{e}$ può essere visto come indipendente dalla natura del gas. Poiché $\frac{m}{e}$ ha per l'ione dell'idrogeno un valore 700 volte più grande rispetto alle particelle catodiche, m , la più piccola massa di cui Thomson ha intravisto l'esistenza, è uguale a $\frac{1}{700}$ dell'ione idrogeno.

Thomson scrive:

"La spiegazione che mi sembra rendere conto¹ dei fatti nella maniera più semplice e più diretta, è fondata su una teoria della struttura degli elementi chimici favorevolmente accolta da molti chimici; in questa teoria gli atomi di diversi elementi chimici sono diverse aggregazioni di atomi simili...."

"In questa teoria abbiamo nei raggi catodici un nuovo stato della materia in cui la suddivisione è spinta molto più lontano che nel comune stato gassoso, dove la materia, sebbene derivata da corpi differenti, ossigeno, idrogeno, ecc., è di una stessa specie, essendo la sostanza stessa di cui sono costituiti tutti gli elementi...."

"La piccolezza del valore $\frac{m}{e}$ è, credo, dovuto anche alla grandezza di e così come alla piccolezza di m . Mi sembra che in questo vi è una prova che le cariche trasportate dal corpuscolo nell'atomo sono grandi rispetto a quelle trasportate dallo ione nell'elettrolita."

Così il problema della dissociazione progredisce in conseguenza di questo fatto che, mentre nella teoria chimica gli elementi sono formati di materie intrinsecamente diverse, m è al contrario, secondo le ipotesi del professor J. J. Thomson, costante per tutti gli elementi. Ciò richiama una delle formule generali di Rydberg per le serie in cui N° è praticamente costante per tutti gli elementi, salvo qualche piccola variazione dovuta probabilmente a errori di osservazione.

¹Phil. Mag., vol. XLIV, p. 311, ottobre 1897.

Il professor J. J. Thomson è portato alla teoria delle differenze di struttura tra l'"atomo" semplice e la "molecola" composta.

"Nella molecola di HCl , per esempio, mi rappresento i componenti dell'atomo di idrogeno come legati gli uni agli altri da un grande numero di tubi di forza elettrostatica; i componenti dell'atomo di cloro sono pure legati assieme, mentre un solo tubo lega l'atomo di idrogeno all'atomo di cloro."

I risultati del Dr Preston a proposito della perturbazione magnetica delle righe, che ho in precedenza riferito, lo portano alla stessa conclusione generale che il professor J. J. Thomson è a favore dell'ipotesi della dissociazione:

"Si può fare che gli ioni siano fundamentalmente gli stessi e che le differenze nel valore di $\frac{e}{m}$ o nel carattere della vibrazione emessa da essi o nelle righe spettrali che producono provenienti realmente nella maniera in cui sono associati per costituire gli atomi."

Le tre strade dell'Evolutione Inorganica

Attualmente ci troviamo di fronte tre ipotesi sulla strada da seguire per l'evoluzione inorganica.

Secondo la teoria chimica essa può risultare dai seguenti processi:

1. La polimerizzazione di molecole chimiche simili;
2. La combinazione di molecole chimiche dissimili;
Nelle nuove teorie fisiche, si sostituisce a tutto ciò
3. La costituzione graduale di complessi fisici con particelle simili associate in presenza dell'elettricità.

In quest'ultima concezione consideriamo il mondo materiale fin nella sua massima complessità, come costituito dalla stessa materia che obbedisce alle stesse leggi. Nell'analisi spettrale non vi sono salti bruschi tra i fenomeni presentati dai corpi semplici del chimico e quelli presentati dai corpi composti; analogamente, nella nuova teoria, non vi sono soluzioni di continuità da una parte all'altra nell'ordine dell'evoluzione della materia. Ho già riferito le opinioni espresse dal Professor J. J. Thomson e dal Dr Preston sul modo in cui i loro lavori recenti confermano le opinioni che ho esposto già anni fa.

Certamente la nuova teoria sembra in grado di spiegare molti fatti privi di spiegazione nelle vecchie teorie, qualunque fosse il modo di evoluzione che si ammette per la produzione dei corpi più complessi. La teoria ionica permette di immaginare parecchie forme primitive, di modo che la questione della *filiazione* si pone soltanto più tardi, quando si introducono i sistemi più complessi.

Queste forme primitive variano permettendo l'evoluzione lungo parecchie linee parallele così come con un numero infinito di interconnessioni. A questo riguardo non ci dobbiamo dimenticare che i costituenti lo strato di inversione di Bellatrix e del protoplasma sono all'incirca identici, mentre le forme particolari di materia di cui sono composte l'uno e l'altra non appaiono per così dire nel sole.

Considerazioni sull'accumulo di unità materiali in un centro attorno al quale lo ione gravita, portano a pensare che è la struttura dello ione che deve essere la più costante e che i cambiamenti spettrali sono dovuti per una gran parte alla massa e alla carica variabili rappresentanti il centro della forza. È possibile che le serie secondarie indichino che si possano produrre variazioni molto piccole di complessità così come molto grandi.

Gli ioni, visibili negli spettri semplici delle stelle molto calde, possono essere quelli associati ai più piccoli centri di forza. Questi sono, nei limiti delle nostre conoscenze attuali, l'idrogeno, l'elio, l'asterio, l'ossigeno e l'azoto tra i gas; il carbonio, il silicio, il calcio, il magnesio, il sodio tra i metalli sotto le forme che studiamo con l'aiuto dei loro spettri alle più alte temperature dei nostri laboratori.

Con il progressivo raffreddamento delle stelle, si possono produrre aggregati più grandi di unità materiali, nei centri di forza attorno ai quali ruotano gli ioni, e così si spiega con un processo analogo la complessità dello spettro dell'uranio e di quello del sole, stella in raffreddamento; i diversi stadi di questo processo possono essere riprodotti in senso inverso da diversi gradi di dissociazione.