

FISICA SOLARE — ANALISI SPETTRALE DELL' ATMOSFERA SOLARE
E DELLE MACCHIE ; DEL P. A. SECCHI.

La bella scoperta del sig. Joussen e Lokyer ha dischiuso un nuovo campo alla fisica solare, e noi abbiamo cercato di estenderlo oltre ai limiti che questi due dotti hanno raggiunto. Abbiamo per ciò introdotto l'uso di una immagine solare maggiore della diretta formandola per ingrandimento dell'oculare sulla fessura stessa dello spettrometro, il che dà una grande facilità di osservazione delle parti più minute e specialmente delle macchie. Vi abbiamo anche usato una forza dispersiva considerevole usando 3 prismi di flint pesante che dilatano grandemente lo spettro onde sono facilmente riconoscibili le righe di Kirchhoff quasi tutte. Finalmente usando il refrattore mosso dall'orologio possiamo seguire qualunque punto del sole lungo tempo senza grande difficoltà.

Osservando con questi perfezionamenti, non abbiamo tardato a riconoscere che non era ancora esaurito quanto mostrava quest'astro misterioso. Cercando attorno alle macchie noi vedemmo che spesso vi avea presso di loro un indizio della presenza delle protuberanze, poichè vedevasi la riga C dell'idrogeno diminuire di nerezza e quasi svanire, benchè non mai completamente. Questo delicato criterio applicato ad altre parti del disco solare ci fece riconoscere che rigorosamente parlando la superficie del

sole è lungi dall'essere omogenea, e che tutte le righe non sono in tutte le regioni sempre ugualmente intense. Cosa a dir vero da aspettarsi in un corpo così sterminato.

Analizzando poi l'interno delle macchie o le loro penombre ho trovato fenomeni ancora più importanti. Nelle penombre e sulle facule compaiono spesso nella regione del rosso delle righe debolmente sfumate corrispondenti alle righe 720 a 850 di Kirchhoff e tali che rassomigliano quelle che in questa regione appaiono pel vapor d'acqua presso al tramontare del sole. La loro apparizione avvenuta più volte per l'interposizione tra l'obbiettivo e il sole di una nube leggera mi fece accorto che esse erano realmente prodotte da questa sostanza. Ma un altro fatto ancora più importante è quello che si osserva nei nuclei i quali realmente formano bensì nello spettro una zona più scura, ma di una struttura più complessa che finora non è stata creduta. Primieramente dunque tanto dentro la penombra che al nucleo delle macchie, l'armonia dello spettro è tutta cambiata. Le righe di Fraunhofer si allargano enormemente e spesso quasi vengono a toccarsi non però completamente, sicchè de' filetti numerosi di luce attraversano il nucleo stesso. Di più mentre alcuni di questi filetti conservano tutta la loro vivacità, altri invece sono assai indeboliti e quasi svaniscono. In una parola lo spettro entro le macchie mostra una grande analogia con quello che si ha a sole cadente presso l'orizzonte, benchè non siano identiche le righe alterate.

Siamo adunque noi qui in presenza di un fenomeno di assorbimento che altera le proporzioni delle parti luminose in intensità e altera pure le righe già prodotte, mentre certi raggi sfuggono a questa azione.

Questa scoperta fa conoscere che le macchie non sono piene di materia trasparente rigorosamente, e che in esse esiste la continuazione di quello strato che produce le strie Fraunhoferiane col suo assorbimento.

Finora non è ben noto ove sia la regione in cui accade questo fenomeno di assorbimento, quindi i fatti citati possono metterci sulla strada di trovarlo. Più probabilmente ce lo indicheranno quelli che sono per esporre.

Esaminando io l'orlo solare con grande diligenza mi sono

accorto di due cose: 1.° che lo strato rosato idrogenico, o, come l'hanno cominciato a chiamare, la *cromosfera*, non è dappertutto rigorosamente contigua all'orlo solare del disco, ma ne dista di uno spazio sensibilissimo. 2.° Che in questo intervallo la luce dà uno spettro continuo senza righe, tranne alcune delle più forti, come sono C, D, F, *b*, però esse stesse indebolite sensibilmente.

Queste osservazioni però non sono facili, ed ecco le cautele da me usate per riuscirvi.

Primieramente ho creato una immagine grande del sole usando il pieno obbiettivo, e ingrandendo l'immagine focale con un oculare. L'immagine così ingrandita offre il vantaggio che è per un piccolo arco all'orlo come rettilinea, e accorciando la fessura si hanno i raggi esclusivi di un piccolo tratto inconfuso dal resto.

2.° Bisogna che l'aria sia tranquilla assai, cosa molto difficile all'orlo del sole, com'è ben noto: l'agitazione dell'aria mescolando la luce proveniente da varii strati fa tutto svanire, e confonde la luce della zona strettissima in questione coll'interna del disco e coll'esterna dell'atmosfera.

3.° Ecco il modo di fare praticamente questa osservazione. Messa la fessura parallela all'orlo del sole, bisogna regolare il moto dell'orologio che porta il refrattore in modo che lentamente venga entrando nel campo l'orlo solare; allora si vede comparire lo spettro rigato ordinario di Fraunhofer nelle regioni vicinissime, con le sue righe finissime; poi ad un tratto compariscono le righe lucide della *cromosfera*, finalmente al punto di sparire queste, si vede brillare lo spettro continuo solcato soltanto dalle righe principali del sodio e del magnesio, e soventi anche dell'idrogeno, questa continuità si verifica facilmente soprattutto nella regione più viva dal rosso fino al verde. Indi passato questo, si ha lo spettro Fraunhoferiano nuovamente distinto dalle sue finissime righe.

Il fatto è stato messo fuori d'ogni dubbio da numerose osservazioni fatte in vari giorni, e da diversi osservatori.

Facciamo riflettere dapprima che la spessezza di questo strato che dà spettro continuo, è assai piccola e potrà arrivare appena a 2 o 3" poco più. Noi manchiamo finora di misure di-

rette, perchè mettendo la fessura normale, l'irradiazione della parte lucida dell'orlo solare è tale che copre questa angustissima superficie divisoria, benchè realmente già si veda allora al limite un poco di confusione, che è originata appunto dalla zona a spettro continuo. Tale strettezza possiamo argomentarla dalla difficoltà di tenere questo limite sulla fessura, che è somma, e può dirsi che esige tutta la pratica dello strumento per riuscirvi qualche tempo.

Tali sono i fatti osservati: vediamone ora la loro importanza.

Dopo la verifica del fatto, che le righe nere di Fraunhofer sono righe di assorbimento, o di rovesciamento, il problema che restava a risolvere ai fisici era di sapere, dove e in quale zona dell'inviluppo atmosferico solare si faceva tale rovesciamento. Ora se non m'inganno la soluzione è trovata dalla nostra osservazione: lo strato da noi osservato a spettro continuo sarebbe quello precisamente in cui succede il detto fenomeno, almeno per certo numero di sostanze perchè i vapori che esistono nell'atmosfera solare non è presumibile che possano tutti arrivare alla stessa altezza. Così quelli, il cui peso atomico è minore saliranno più alto; e meno quelli che sono più pesanti.

Or la chimica c'insegna che i pesi atomici o densità di vapori, per le sostanze conosciute esistere nel sole procedono nell'ordine seguente:

Idrogeno	1
Sodio	23
Magnesio	24,4
Calcio	40
Cromo	52,5
Manganese	55,0
Ferro.	56,0
Nikel.	59
Cobalto	59
Rame.	63,5
Zinco.	65
Bario.	137,0 ovvero $2 \times 68,5$.

Per conseguenza l'atmosfera d'idrogeno deve superare tutti gli altri vapori, poscia verranno gli altri metalli sodio e magnesio, e più basso il ferro ec.

Ma oltre il loro peso si deve anche guardare alla facoltà assorbente, che non è in tutti la stessa. Efficacissima questa è nel sodio, tanto che sappiamo come pochi metri del suo vapore bastano a rovesciare lo spettro; essa è assai debole per l'idrogeno ove si richiede una spessezza molto maggiore, poichè nel sole esso ha almeno un diametro terrestre di altezza, e all'orlo noi lo vediamo per una profondità di circa 200000 chilometri.

E qui è inoltre da richiamare un altro fatto. Che tra lo strato roseo e il sole esista almeno in alcuni punti del sole una discontinuità, ciò si prova da fenomeni indipendenti dalla spettroscopia. Infatti questo intervallo ci fu dimostrato evidentemente nell'eclisse del 1860, in cui noi vedemmo sparire il lembo solare, e rimanere appresso una bianca luce, e poi succedere lo strato rosato. Sarebbe dunque questo lo strato di luce a spettro continuo.

Abbiamo detto che esso è separato in *alcuni punti*, perchè in molte regioni la massa idrogenica inviluppa talmente il sole che per la sua curvatura si proietta sul disco; i punti di cui parliamo sono quelli ove lo strato non è così denso come dove sono le protuberanze.

Questo strato a spettro continuo non è dunque altro in fondo che quello che costituisce la corona nella cui massa nuotano le protuberanze e la cui parte più lucida è stata esaminata dal sig. Rziha e vi ha trovato pure spettro continuo nell'ultima eclisse dell'Agosto 1868.

È nella parte inferiore di questa massa gassosa che devono nuotare i vapori metallici ardenti nella fotosfera e che raffreddati all'uscirne diventano assorbenti della luce solare. Finora si è supposta la fotosfera in stato di nebbia formata di particelle solide analoghe a quella delle nostre precipitazioni acquose agghiacciate nell'aria, ma ciò non è più necessario di ammettere dietro le sperienze di Frankland che ha dimostrato come certi gas incandescenti a forte pressione e ad alta temperatura possono dare spettri continui.

Ma qualunque sia l'ipotesi della fotosfera, è certo che le

masse assorbenti e producenti le righe sono sospese nell'atmosfera stessa, e hanno minor temperatura, onde è da sperare che da queste righe e da questi fenomeni possiamo arrivare a determinare questo importantissimo, ma ancora incertissimo elemento solare.

Però è evidente che questi vapori sono a varie altezze secondo il loro peso atomico. Perciò l'idrogeno è più in alto, e gli altri vapori più in basso. Quindi lo spettro di cui parliamo diventa continuo solo quando sta per sparire lo spettro dell'idrogeno.

Il sodio ed il magnesio però sembrano sussistere sopra questa zona, e anche sopra l'idrogeno onde le loro righe si vedono quando le altre sono rovesciate, benchè a dir vero molto impallidite. E questo avviene malgrado il loro peso più forte, il che pare, in contradizione colla teoria data. Ma se riflettiamo che questi metalli hanno vapori enormemente assorbenti, e che piccole quantità bastano a farli capaci di rovesciare forti luci, talchè pel sodio bastano pochi metri per rovesciare la fortissima luce elettrica, non resteremo sorpresi. Certamente un'atmosfera di sodio nel vuoto sarebbe più bassa di una d'idrogeno ma mescolate insieme, una può salire assai alta per l'aiuto dell'altra, come vediamo nell'atmosfera nostra i gas mescolarsi e salire a enormi altezze malgrado i loro diversi pesi specifici. Però questa forza elevatrice ha un limite e non sembra essere abbastanza efficace ad alzare i vapori di certi altri metalli più densi.

La difficoltà di queste osservazioni essendo grande, ed esigendosi una gran pratica dello spettro noi non osiamo finora definire l'ordine con cui abbiamo veduto sparire le righe, ma ci è sembrato che le più facili fossero quelle del calcio indi alcune del ferro, il che s'accorderebbe cogli accennati principii.

Un altro fatto che mostra qualmente lo strato più basso dell'atmosfera solare e il più assorbente è quello accennato dianzi che si verifica nell'analisi spettrale delle penombre.

La gran macchia stata visibile in Febbraio ci ha mostrato nel suo interno una completa alterazione nell'intensità relativa delle righe nere e luminose, talchè si sarebbe detto esser variato ogni rapporto d'intensità, e forse anche formarvisi nuove

righe. Sfortunatamente la difficoltà di disegnare esattamente queste cose è estrema, ma il vederne le differenze è agevole. Non può dirsi che tale alterazione relativa possa dipendere dalla minor luce, perchè riducendo l'apertura dell'obbiettivo in proporzione non si ha simile effetto, malgrado che certe deboli righe scure diventino più salienti per la diminuita luce.

Un grande studio è dunque da farsi ancora sul sole, ma i criteri da studiarlo non sono più i facili di una volta ma molto più delicati.

Questi sono il rapporto principale della varia luce delle righe e della varia loro oscurità, la quale pure trovasi in relazione coi pesi dei vapori, almeno in parte come mostrò Stoney guardando così lo spettro solare si può dire con sicurezza che esso ha delle sensibili diversità nelle varie regioni del disco.

Lo studio dello spettro solare è dunque appena cominciato; qual meraviglia pertanto che si abbiano a rettificare alcune cose anche nelle osservazioni de' più benemeriti della scienza? Ciò è da aspettarsi, sia a cagione de' mediocri strumenti finora usati, sia per la difficoltà della materia. Così a noi sembra non esatto quanto ha detto il sig. Lokyer nell'ultimo rapporto all'Accademia delle Scienze di Francia che la riga F dell'idrogeno ha dei caratteri diversi dalla C, e che essa è globulata o lanceolata. Ciò evidentemente si deve alla piccolezza dell'immagine da lui usata: noi la vediamo sempre lunga rettilinea quasi quanto la C terminata in punta è vero, ma lo è così anche la C, perchè si va assottigliando lo strato che si guarda attraverso, onde finisce la parte lucida innanzi che venga il nero assoluto del rovesciamento.

* Così pure non crediamo che dalle righe idrogeniche osservate finora si possa dedurre che la pressione sotto cui arde questo gas, sia estremamente piccola, perchè esso dà tali righe a pressioni anche eguali o poco diverse dall'atmosfera nostra, e forse anche maggiori, ove la temperatura sia proporzionata. Quindi non credo che da ciò si possa inferire essere tenuissima la densità dell'atmosfera solare, e rifiutare come tale quella che forma la corona dell'eclissi. Il sig. Lokyer sembra voler limitare l'atmosfera solare all'idrogeno, ma ciò non può essere, perchè le forme di nube delle protuberanze mostrano che l'idro-

geno nuota in un altro fluido che lo comprime, elimita, senza di che non prenderebbe forme a contorni definiti. Di più il fatto è contrario all'idea dell'astronomo inglese perchè di questa atmosfera ne abbiamo prove irrefragabili fino ad un'altezza di $\frac{1}{4}$, almeno del raggio solare nelle fotografie del 1860 colla sua *forma ellitica*, rilevata all'equatore.

Intorno alla qual tenuità dell'atmosfera solare rettificherò un altro errore commesso da diversi giornalisti, attribuendo al sig. Faye il merito di tale scoperta. Il sig. Faye ha il merito di avere indicato che certi spostamenti delle macchie da me attribuiti alla refrazione, *potevano* esser dovuti alla profondità, ma la separazione effettiva delle due influenze non risultò dalle sue indagini, ma dalle nostre misure delle macchie solari fatte con metodo da noi trovato per eliminarne la profondità. Il risultato fu favorevole, è vero, per la massima parte all'ipotesi del sig. Faye, senza però disdire completamente la nostra; ma se io volentieri a suo tempo e luogo gli ho fatto giustizia pel merito dell'idea, credo di avere qualche poco contribuito alla decisione del dubbio colla via positiva dell'osservazione, senza di che la questione non si poteva risolvere giammai.

Per ritornare però al punto da cui siamo partiti, diremo che lo strato che desiderano trovare gli astronomi, e che cercava anche il sig. Lokyer nella citata comunicazione, ci pare di averlo trovato noi nell'intervallo tra il disco e lo strato rosato, ossia alla base dell'atmosfera solare, e perciò in questa si fa il detto rovesciamento, come avea già supposto Kirchhoff. Questo però non toglie che vi possano essere sostanze che diano linee luminose dirette, come sono quelle del giallo presso al sodio, e quelle del verde da noi altrove segnalate.

Questo secondo stato è convalidato dal fatto delle stelle che hanno spettro lucido diretto come la γ cassiopèa, la variabile R de'Gemelli, la quale sul fin di Febbraio crebbe alla 7.^a grandezza, ma ora è ritornata ad essere di 9.^a in 10.^a. Nella massima fase, che si è potuta osservare, di questa stella vi abbiamo riconosciuto la F e la G lucide dell'idrogeno, le lucide del magnesio, e alcune del giallo; ma non avendo essa sorpassato la settima grandezza, e il suo massimo essendo stato contemporaneo alla luna piena non abbiamo potuto fare quello che

speravamo. Questo però è a sufficienza per quello che interessava di provare, cioè che vi possono essere nel sole delle righe lucide dirette, le quali non subiscano alcun assorbimento dallo strato atmosferico. Forse tali son que' raggi che anche nel fondo delle ombre o nuclei delle macchie arrivano a noi, e forse questi sono prodotti dalla massa gassosa interna del sole, che noi riconoscemmo fino dal principio del 1864 quando tutti vi ammettevano un nucleo solido oscuro.

