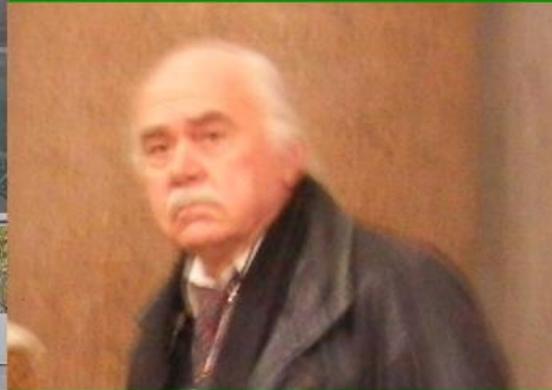


GERBERTVS accoglie lavori sul papa astronomo, docente e matematico, musico, filosofo Gerberto d'Aurillac Silvestro II e su temi di scienza medievale e didattica.



**GERBERTVS 20**

è dedicato al libro « IL SOLE » di padre Angelo Secchi (1818-1878)  
In vista dell'imminente massimo del ciclo solare XXV

Include le osservazioni quotidiane fatte dal Secchi  
al Collegio Romano tra il 1851 e il 1870.

Prelude alla versione francese del 1877, disponibile ora sul web.  
Resta una valida guida allo studio del Sole anche 150 anni dopo.

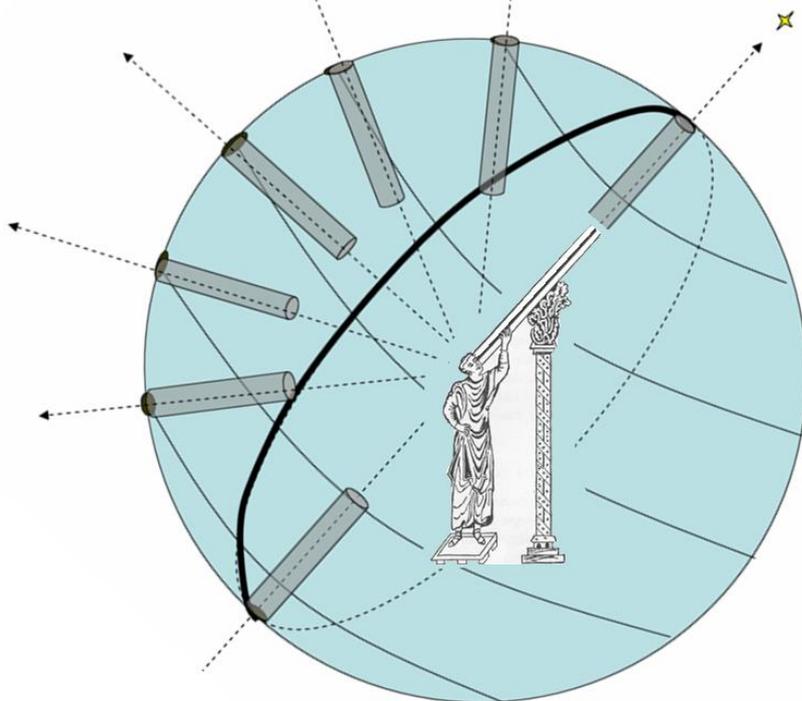
Prof. Costantino Sigismondi Editor

<http://www.icra.it/gerbertus>

2023

International academic online publication  
on History of Medieval Science and Didactic  
Vol. 20/2023

# GERBERTVS



<http://www.icra.it/gerbertus>

**International academic online publication  
on History of Medieval Science and Didactic  
vol. 20/2023**

**GERBERTVS**

# International academic online publication on History of Medieval Science

url: <http://www.icra.it/gerbertus>

## Editorial Board:

Prof. Cosimo Palagiano (Accademia dei Lincei)

Prof. Paolo Rossi (Università di Pisa)

Prof. Cesare Barbieri (Università di Padova e Scuola Galileiana)

Dr. Marek Otisk (Accademia Ceca delle Scienze, e Ostrawa Un.)

Dr. Paolo Zanna (Oxford University)

Dr.ssa Irene Sigismondi (LUISS e Sapienza Università di Roma)

## Publisher: Prof. Costantino Sigismondi

(ICRANet, Ateneo Pontificio Regina Apostolorum e  
ITIS G. Ferraris, Roma)

Via Riccardo Grazioli Lante 15/A 00195 Roma, Italia

Copertina: Busto-Mira di Angelo Secchi sul Pincio ; Serge Koutchmy a S. Maria degli Angeli 11 XII 2011 ; Eclissi di Sole del 20 aprile 2023 a Com (Timor Leste, courtesy of Institut Teknologi Sumatra ; Macchia solare al lembo AR 3262 foto 23 aprile 2023 rifrattore 80 mm f/7.5 a Roma @540±10 nm.

ISSN 2038-3657 (versione stampata)

ISSN 2038-355X (versione online)

ISSN 2038-3630 (CD-ROM)

Vol. 20– 2023

Finito di stampare nel mese di maggio 2023

Con il contributo degli  
*Amici del Morgagni*



**Prefazione** Questa edizione digitale è dedicata a Serge Koutchmy (1940-2023) che leggeva “Le Soleil” di Secchi per trarne ispirazione. L'edizione italiana del libro di Secchi dedicato al Sole è postuma con la premessa dell'autore alla prima edizione Francese del 1877.

Padre Angelo Secchi era morto a 59 anni di età il 26 febbraio 1878.

Questo testo italiano è stato sviluppato su osservazioni fatte entro il febbraio 1870, come si deduce dai dati citati lungo i capitoli (come per l'Almagesto di Tolomeo ho datato l'opera dalle osservazioni), e riemerge dall'oblio delle biblioteche proprio a 150 anni dalla sua prima stesura. L'edizione che risulta è spartana, con figure in bianco e nero, anzi bianche su sfondo nero, ma abbraccia tutta la produzione Secchiana, dalla fisica solare, a quella terrestre, fino a quella del sistema solare e stellare. Tra il 1870 e il 1878 Secchi avrebbe continuato senza posa le osservazioni astronomiche diurne e notturne, continuando ad aggiungere tasselli importanti alla definizione della nuova scienza che aveva portato a battesimo: l'astrofisica.

Il libro italiano dedicato al Sole è ripartito in tre parti che riguardano il Sole, il suo sistema, e le stelle. Del Sole quindi tratta l'aspetto e lo spettro, la luce con la sua triplice natura visibile, calorifica (infrarossa) e chimica (ultravioletta), le macchie e la loro periodicità appena accertata. Sull'aspetto del Sole durante le eclissi dedica un intero capitolo, sviluppato attorno all'osservazione accurata dell'eclissi del 1860 dal *Desierto de las palmas*. Sei minuti di eclissi che hanno consentito di stabilire senza equivoco che le protuberanze appartengono al Sole, dai confronti tra le fotografie del padre Secchi e quelle di Warren de la Rue, che venne al Collegio Romano più volte in visita scientifica.

Lascia stupiti la capacità di Secchi di ricordare e fissare numerosi effetti osservati e sperimentati durante questa eclissi, preparata con estrema cura e sagacia, osservata con il suo telescopio rifrattore dotato di lente da 25 cm di diametro, che è stato smontato dalla cupola del Collegio Romano, e trasportato fino in Spagna. Per chi ha fatto delle missioni osservative per osservare le eclissi e i transiti planetari di Venere e Mercurio, leggere il resoconto fatto da Secchi significa capire subito la statura scientifica di quest'uomo e la sua capacità organizzativa oltre che gli obbiettivi scientifici che aveva dichiarato e che ha conseguito. L'attenzione ai dettagli è una caratteristica del lavoro di Secchi: non c'è nulla da trascurare di

quello che si osserva. La sua abitudine al disegno astronomico, fatta di acume, attesa della calma del seeing e precisione, aiuta.

Una lezione per il mondo distratto di oggi.

Nella parte dedicata al sistema solare, che è un abrégé del suo *Prospetto del Sistema Solare*, pubblicato a Roma nel 1859, Secchi offre un resoconto aggiornato dello stato dell'arte a 23 anni dalla scoperta guidata dai calcoli matematici del pianeta Nettuno. Un ruolo importante lo gioca la spettroscopia, mediante la quale Secchi arriva a delle conclusioni sulle atmosfere dei pianeti in gran parte confermate dai dati moderni. Il libro vuole essere divulgativo, pertanto i disegni degli spettri sono privi dei dettagli sulle lunghezze d'onda, che compaiono solo in qualche tavola in appendice, tuttavia le descrizioni che egli fa sono riscontrabili anche al giorno d'oggi all'osservazione diretta o mediante la consultazione di cataloghi, ed anche archivi di spettri sul web.

Nel sistema solare Secchi si fa portavoce della meccanica celeste, che aveva appena trionfato con la scoperta di Nettuno, citando i lavori di Daniel Kirkwood (1814-1895) sulle risonanze dei satelliti e discutendo su temi ritornati in auge, in particolare, quando le sonde Voyager hanno visitato i sistemi di Giove e Saturno negli anni '80 del novecento. Urano e Nettuno pure furono visitati dal Voyager II in quel decennio, durante il quale la sonda Giotto si avvicinò alla cometa di Halley. Secondo il padre Secchi le comete, come le stelle cadenti, parenti stretti di esse, visitavano il sistema solare dall'esterno, e solo poche di esse vi appartenevano. Invece, la prima cometa interstellare certa, stando al Minor Planet Center di Harvard che monitora i corpi minori del sistema solare è la 2I/Borisov, osservata nel 2019. L'asteroide Ouamumuia 2017 U1 era stato identificato, invece, su orbita parabolica.

Secchi presenta i risultati più recenti della discussione scientifica con grande competenza. È in grado di affiancare oltre alle citazioni e alle spiegazioni delle nuove acquisizioni anche le proprie osservazioni, al *bel canocchiale* di 25 cm del Collegio Romano.

Spesso, parlando di osservazioni, Secchi rimarca che un *buon strumento* consente di vedere dettagli che altrimenti andrebbero persi, sia nell'immagine che nello spettro. Queste considerazioni ritornano anche nel capitolo finale dedicate agli altri soli, le stelle, delle quali propone 5 classi spettrali, le stelle *bianche*, come Sirio, quelle *gialle* che presentano uno spettro simile al Sole, quelle

*arancio-rosse* variabili, come Betelgeuse e Mira Ceti, e quelle *rosso sangue*, contenenti carbone. A queste aggiunge le stelle con l'*idrogeno* dominante, come  $\gamma$  Cassiopeae. Sono le prime classificazioni spettrali, e Secchi afferma di averne osservate moltissime, fino alla 7a e all'8a grandezza.

Sorprendentemente Secchi aveva già identificato delle righe del Carbonio nelle comete, e si chiede quale debba essere lo stato di dissociazione del carbone in questi astri, prevenendo l'astrofisica moderna, che ha inviato la sonda Rosetta con il lander Philae sulla cometa CG67 nel 2015.

La classificazione spettrale di Harvard per le stelle, fatta con personale, strumenti e mezzi più potenti si ispirerà al lavoro di Secchi, che dall'America e dall'Inghilterra aveva preso l'ispirazione di intraprendere la spettroscopia in astronomia, adatta allo strumento piccolo, ma eccellente, di cui disponeva al Collegio Romano.

I commenti che Secchi aggiunge ad alcune osservazioni spettrali mostrano tutta la sua competenza in spettroscopia da laboratorio: dalle righe di emissione, a quelle di assorbimento, alla fluorescenza, al comportamento di vari materiali (dai nomi esotici) e gas nel saggio alla fiamma: le esperienze nel tubo di Geissler, inventato appena nel 1857, con i gas rarefatti... tutto ciò era da lui conosciuto e sperimentato direttamente.

Come da lui era conosciuta anche la vita marinara, non solo dalle citazione del capitano Maury che lo introdusse alla meteorologia, ma anche da come riporta l'osservazione di un tramonto nel Mediterraneo fatta da Pietro Tacchini. Nell'aprile-giugno 1865 infatti Secchi aveva trascorso due mesi a bordo della Pirocorvetta *Immacolata Concezione*, con studi sulla trasparenza dell'acqua di mare a largo di Civitavecchia. Questa esperienza è tradita dal commento che fa del colore di Nettuno, verde come l'acqua del mare. Sono tantissimi gli spunti che nascono dalla lettura di questo libro, ed è impossibile fissarli tutti. Bisogna leggerlo.

L'unificazione delle forze fisiche, che è una delle opere più futuribili del padre Secchi, si vede tratteggiata nella discussione a proposito della *gravitazione*.

Tutti sanno cosa fa la gravità, ma nessuno sa perché. È ancora di piena attualità.

Altro elemento presente nella fisica della seconda metà dell'ottocento è l'etere. Tutti lo danno per esistente, ma nessuno ne conosce le reali

proprietà in interazione con la materia. Farà attrito? Nel capitolo sul sistema solare ritorna spesso questo tema.

La Fisica meccanica, con le sue forze vive (energia cinetica), idealmente per Secchi serve a spiegare tutti i fenomeni conosciuti. Alle vibrazioni meccaniche indotte dalla luce si può risalire per rappresentare i fenomeni osservati. Le trasformazioni chimiche sono delle vibrazioni in grado di scomporre dei composti che si sono legati per “affinità”.

La meccanica statistica di Boltzmann è ancora di là da venire (fine secolo XIX) ma già nella Fisica di Secchi può intravedersi, mentre fa un resoconto dettagliato della statistica stellare, che con William Herschel (1738-1822) aveva avuto un avvio possente a inizio secolo. Per gli astronomi del XIX secolo la Via Lattea non è ancora un sistema stellare attorno a cui il Sole rivolge, e benché sia peregrino cercare un *centro dell'Universo*, come lui stesso afferma nel capito dedicato alle Stelle, i moti peculiari dell'apice verso la costellazione dell'Ercole vengono discussi come risultati dell'astronomia di posizione che i grandi osservatori astronomici del tempo avevano pubblicato insieme alle prime parallassi stellari.

L'unificazione del mondo fisico nelle leggi della meccanica, a cui anche il magnetismo e l'elettricità e la luce stavano affluendo -da una parte- e la complessità del sistema planetario con i suoi equilibri e interrelazioni, specialmente tra Sole e Terra -dall'altra- portano il padre Secchi a vedere come il tutto non può essere nato dal caso, e che il Creatore abbia fatto in modo che tutto si dipani con straordinaria precisione, *un principio antropico ante-litteram*.

I cenni che Secchi fa all'atmosfera terrestre e ai suoi fenomeni su scala planetaria, oggi noti come celle di Hadley, mostrano che il suo trattato di Fisica Terrestre, anche questo manoscritto che non fece a tempo a pubblicare, era già tutto in testa. La fisica planetaria viene interpretata in primis a partire dai fenomeni che lui aveva osservato, o registrato e studiato da altri, sulla Terra.

Nel capitolo sulla luce zodiacale cita pure il *Gegeschein* osservato dal sig. Heis, o comunque l'estensione di quella luce fino allo zenit: al padre Secchi le luci di Roma già non consentivano più di osservarla e quindi di verificarla.

Nei tanti campi in cui Secchi è anticipatore abbiamo quello della *relazione tra Sole e Terra*. Con prove incontrovertibili mostra che le tempeste geomagnetiche hanno origini solari, avendo egli dotato il

Collegio Romano di bussole magnetiche capaci di registrare variazioni nei tre assi dello spazio. Le descrizioni che Secchi fa di queste tempeste e delle variazioni giornaliere dovute al Sole mettono i fenomeni avanti alla teoria. Secchi rigetta la teoria settecentesca di Jean-Jacques Dortous de Mairan (1678-1771) che aveva supposto l'atmosfera solare estesa fino alla Terra, forse per l'osservazione fatta della corona durante l'eclissi, ma allo stesso tempo non nega che ci sia una correlazione tra eventi magnetici sulla Terra ed attività solare, indagando anche sui dati degli antichi. Nel linguaggio di fine ottocento, in cui qualche fenomeno fisico ha denominazioni diverse da quelle attuali, dobbiamo riconoscere che Secchi rappresentava lo stato dell'arte della fisica solare. La riconoscenza che mostrò George E. Hale (1868-1938) nei suoi confronti, in occasione del 25° dalla morte di Secchi, nel 1903 è forse dello stesso tipo di quella che nel 2018 ha tributato per il 150° Serge Koutchmy (1940-2023) della Sorbona e Institut de Astrophysique de Paris: questi astronomi si sono formati sui lavori di Secchi, grazie alla precisione dei dettagli osservativi e delle spiegazioni fisiche che il gesuita del Collegio Romano sapeva fornire. Hale provò il magnetismo solare, con l'effetto Zeeman sulle righe spettrali del Sole, ma questo lavoro era stato preparato nel dettaglio da Secchi, che al capitolo sulle macchie solari dichiara espressamente che al momento non siamo in grado di misurare il campo magnetico sul Sole, ma è indubbio che sia questa la causa di queste variazioni. In altre parole Secchi *“paved the way”* alla spettroscopia di precisione sul Sole e alla magnetografia. Koutchmy studiò con le eclissi i dettagli del magnetismo solare. La riconoscenza a Secchi da parte degli scienziati della NASA ha fatto sì che a lui fosse intitolata la missione Stereo con cui due sonde Stereo A, B in orbita terrestre osservano contemporaneamente il Sole da un lato e dall'altro. Questa missione è attualmente (2023) in funzione, mentre la Parker Solar Probe si sta avvicinando fino a 6.5 milioni di Km dal Sole nel 2024, e il Solar Orbiter dell'ESA studiando studiando il Sole da 42 milioni di Km di distanza, entrando nel vento solare, quella parte di atmosfera solare che effettivamente investe anche la Terra...ritornando all'intuizione di Mairan, perfezionata proprio da Eugene Parker (1927-2022). Insieme a SOHO, SDO e Stereo/Secchi il Sole viene tenuto d'occhio di concerto da entrambe le agenzie spaziali. Entro tre mesi da ogni registrazione i dati delle missioni solari ESA e NASA diventano

disponibili sugli archivi pubblici: <http://soar.esac.esa.int/soar/> e <http://sweap.cfa.harvard.edu/Data.html>, ma il coinvolgimento personale dell'astronomo non tornerà mai più quello che aveva il padre Secchi, quando saliva sopra il tetto di S. Ignazio, nelle cupole dell'Osservatorio del Collegio Romano, e di giorno, e di notte, per scandagliare il cielo. Questo coinvolgimento è intimo tra le facoltà mentali e quelle dei cinque sensi, addestrati a cogliere ogni dettaglio del mondo circostante. Oggi l'astrofisica se non prescinde dalle osservazioni, le fa comunque in modo da evitare una qualsivoglia commistione soggettiva. L'occhio al telescopio non è più il rivelatore principale, anzi non si pubblica quasi più nulla osservato con l'occhio. La scienza ha ormai i suoi protocolli, anche le scoperte sono in lista d'attesa...l'epoca dei pionieri come Galileo e Angelo Secchi (che avevano in comune anche il talento per il disegno, un mezzo indispensabile per l'astronomia da Terra, soggetta alle turbolenze atmosferiche) sembra finita per sempre...a meno che la scuola non permetta ai giovani di ripercorrerne le tappe necessarie per un pieno sviluppo della conoscenza, anche se ciò viene messo da parte nell'epoca del virtuale a tutti i costi. Riscoprire l'opera di Secchi nella lingua Italiana può rivitalizzare la scienza a tutti i livelli, e ringrazio il dottor Luigi Bordoni per avermi incoraggiato in questa impresa, e il prof. Paolo De Bernardis, Accademico dei XL come Secchi, per lo stimolo a riprendere il padre Secchi così com'è, senza modifiche di stile, e senza appesantire con note.

*Per padre Angelo Secchi e la sua opera:*

*Nel Sole pose sua tenda  
l'Altissimo e buon Creatore  
Fissa nel cielo le stelle  
che fisse non sono ma movensi  
Leggi in esse il messaggio  
che letter non sono ma numeri  
Calcola l'orbe terraqueo  
ch'è numero, peso e misura  
Mira alle vette più alte  
ove gelo e ardore s'abbracciano  
Cerca nei tesori antichi  
maestri, strumenti ed idee  
Con essi andrai lungo mare  
ne' forti meriggi, all'ocaso*

*Angelo Secchi*

# IL SOLE

ESPOSIZIONE DELLE PRINCIPALI SCOPERTE MODERNE  
SOPRA LA SUA STRUTTURA, LA SUA INFLUENZA  
NELL'UNIVERSO E LE SUE RELAZIONI COGLI ALTRI CORPI  
CELESTI

Del P. ANGELO SECCHI d. C. d. G.

Direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano,  
Ufficiale della Legione d'onore,  
Corrispondente dell'Istituto di Francia.

Prima traduzione italiana illustrata da 45 incisioni  
Firenze Tipografia della Pia Casa di Patronato  
via Oricellari, 14

---

1884

Questa edizione del 2023 è protetta dalla  
Licenza Creative Commons BY 4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>  
per proteggere la diffusione libera di lavori culturali

# INTRODUZIONE

## **Premessa dell'Autore alla prima edizione Francese**

Che cosa è il Sole? Che è mai quest'astro raggianti e pieno di possanza, che dissipa le tenebre della notte, diffonde sulla Terra la luce del giorno, c'inonda di calore, di splendore e di vita, e al tempo stesso, colla sua attrazione misteriosa, ritiene attorno a sé il sistema dei pianeti, contribuendo così attivamente a mantenere l'ordine della creazione? Tal'è la domanda che fa a se stesso chiunque ama di riflettere sui grandi fenomeni della Natura, invece d'imitare gli esseri senza ragione, i quali si nutriscono dei frutti che trovano sul terreno, senza levar mai i loro sguardi verso l'albero che li produce.

Alcuni popoli dell'antichità adoravano il Sole, errore meno umiliante forse di molti altri, perché quest'astro è l'immagine più perfetta della Divinità, l'strumento di cui si serve il Creatore per comunicarci quasi tutti i suoi benefizi nell'ordine fisico. Quantunque ai nostri occhi, esso non sia che una semplice cosa creata, il suo studio è pur sempre uno dei più alti, a cui lo scienziato possa darsi, e la storia delle conquiste fatte in questo campo inesauribile, sarà sempre uno degli oggetti più degni della nostra attenzione, e meglio adattati a confortarci.

Disgraziatamente, la scienza è lontana dall'altezza del suo soggetto. Non sono né le ricerche, né le speculazioni che fanno difetto. Le difficoltà inerenti alla natura stessa di questo studio paralizzano i nostri sforzi e, malgrado l'attività che spieghiamo, *vincit natura latendi*: la Natura vuole ancora restar nascosta. Però la nostra generazione, che ha smentito queste parole, scoprendo le sorgenti del Nilo, riuscirà forse un giorno a strappare al Sole i segreti, ch'esso nasconde sì abilmente, non involuppendoli di tenebre, ma illuminandoli di una luce che acceca.

La storia c'insegna che tutte le scoperte della scienza, tutti i perfezionamenti introdotti nei metodi di osservazione, sono stati immediatamente applicati allo studio del Sole: la Fisica solare ha fatto un passo avanti tutte le volte che la Fisica generale ha fatto una conquista. La scoperta dei canocchiali palesò dapprima il movimento di rotazione del Sole, l'esistenza, la struttura e le variazioni delle sue macchie, e il modo con cui la luce è distribuita alla sua superficie.

L'uso dei vetri colorati, che seguì da vicino la scoperta del telescopio, merita anch'esso onorata menzione.

Fu in grazia loro che il padre Scheiner poté darsi, con tanto frutto, a uno studio che privò della vista lo sventurato Galileo.

Questi primi mezzi di osservazione ebbero ben presto tutto ciò che se ne poteva aspettare. Ne risultò un periodo di sosta nel progresso delle nostre cognizioni ed una indifferenza profonda per tal genere perfino di questo ramo dell'astronomia, allorquando W. Herschel si pose all'opera, cogli strumenti che aveva costruiti egli stesso. Lo studio del Sole fece con lui dei grandi progressi, ma le sue scoperte ed i suoi metodi restarono a lui personali, come i suoi strumenti; egli non ebbe imitatori, e dopo lui, cominciò un secondo periodo di sosta.

L'Ottica frattanto faceva progressi; i grandi strumenti divenivano più numerosi e preparavano scoperte nuove; ma non facevano che preparale, perché quegli strumenti sì perfezionati restarono inutili per lungo tempo. Fu solamente ai nostri giorni che si trovarono dei metodi, i quali permisero di usare, per lo studio del Sole, gl'ingrandimenti enormi a cui si prestano le lenti più forti.

Ma ciò che sopra a tutto ha fatto progredire la Fisica solare, è stato il perfezionamento della teoria matematica dei movimenti celesti. Quando, nel calcolo di un'eclisse, si pervenne a determinare in modo preciso, in quali luoghi doveva passare la linea centrale della totalità, soltanto allora gli astronomi poterono riunirsi in gran numero in quei luoghi privilegiati, portando strumenti di ogni grandezza e di ogni genere, ciò che permise loro di fare le più inattese scoperte.

La fotografia non poté mancare di venire in soccorso allo studio del Sole: essa ci ha fornito dei disegni che rappresentano, con la più assoluta precisione, le macchie in ogni loro particolare, e le differenti fasi delle eclissi; e ci ha reso immensi servigi in quei brevi istanti delle eclissi totali, in cui l'occhio si trova sorpreso e resta incerto. È stata essa che ci ha dato il mezzo di risolvere, in alcuni istanti, questioni che si agitavano da molti anni. La perseveranza, con cui sono state osservate le macchie, ha permesso di constatare la periodicità di questo fenomeno, e in questo studio si è tratto un gran partito da opere altra volta screditate e poste in ridicolo; ma che contenevano, malgrado ciò, dei documenti preziosi.

Paragonando questi periodi di vicende solari con altri fenomeni, che non hanno con esse alcuna relazione apparente, si è potuto stabilire che il Sole non agisce soltanto come centro di attrazione e come sorgente di luce, ma che esercita un'azione incontestabile sopra i fenomeni magnetici.

Finalmente l'analisi spettrale ha aperto un'immensa carriera, che altrimenti avremmo creduta chiusa per sempre. Essa ci ha fatto conoscere la natura chimica delle sostanze che compongono l'atmosfera solare, ed anche approssimativamente la temperatura di questa atmosfera. Si è potuto far così l'analisi qualitativa dell'astro del giorno e si è anche appreso recentissimamente a studiare, in ogni tempo, certi fenomeni che in addietro non potevano osservarsi che nella durata delle eclissi totali. È stato così che la Chimica, alla sua volta, è venuta in aiuto all'Astronomia.

La bella scoperta della dissociazione, e la teoria meccanica del calore ci hanno mostrato finalmente in che consiste la potenza calorica del Sole, e ci hanno spiegato come questa potenza abbia modo di restare la stessa per tanti secoli malgrado l'irradiazione continuo, che sembra doverla affievolire in poco tempo.

Nello stato in cui trovasi attualmente la scienza, ho creduto che fosse tempo di riunire in alcune pagine l'insieme di queste maravigliose scoperte, che fanno tanto onore agli scienziati del nostro tempo, e che hanno il vantaggio di unire il piacevole all'utile.

Per seguire l'ordine dell'idee, esporrò da prima i lavori degli antichi, ma brevemente, senza occuparmi di questioni inutili, né di risultati ipotetici. Di più, per rendere quest'opera accessibile a un maggior numero di persone, entrerà, qualche volta, in particolari, che non sarebbero necessari per gli scienziati; ma che mi verranno perdonati, in considerazione dello scopo che mi sono proposto.

La contemplazione delle opere di Dio, è una delle più nobili occupazioni dello spirito, e lo scopo principale dello studio della Natura; e questo studio ci conduce sovente a de' risultati utili, che non sono da dispreggiarsi. Lo studio del Sole non sembra presentare, per il momento almeno, questo vantaggio. Qualunque siano le nostre ricerche, e le cognizioni che potremo acquistare, non sarà mai in

poter nostro regolare l'influenza del Sole. Tuttavia, l'azione di questo astro è troppo intimamente legata con i fenomeni della vita, del calore e della luce, perché sia inutile il procurare di conoscerne la natura. E d'altra parte, chi sa che non vi sia una relazione intima fra certi fenomeni solari, e certi fenomeni terrestri, che a noi importerebbe tanto poter prevedere con qualche certezza?

Sarebbe però uscire fuori dal nostro soggetto il considerarlo da questo lato: le meraviglie della creazione non debbono essere esclusivamente studiate dal miserabile punto di vista dell'utilità del momento. Sappiamo per esperienza che ciò che sembra non essere oggi che un'oziosa speculazione, può diventare domani una sorgente di ricchezza. Dopo tutto, l'uomo non vive solamente di pane, e deve pure, per mantenere la vita dell'anima, far sue le verità astratte sensibili, il cui insieme costituisce per la nostra in parola del Creatore.

Entriamo dunque in questo importante soggetto, al quale abbiamo, per più anni, consacrato tutte le nostre cure e tutte le nostre ricerche. Noi non ci limiteremo ad esporre i nostri propri lavori; ma prenderemo il vero ed il bello ovunque lo troveremo.

Però non enunceremo alcuna opinione, senza avere verificato da noi stessi i fatti, sui quali essa riposa, e non esporremo alcuna teorie senza averla constatata quanto lo comporta la natura stessa del soggetto.

Quest'opera che pubblichiamo oggi, per la prima volta, era stata composta in italiano da molti anni; e ne abbiamo dato in un saggio in una conferenza fatta nel 1867, agli allievi della Scuola di Santa Genovieffa e riprodotta negli *studi religiosi*. Sospinti da molti dei nostri amici, l'abbiamo scritta in francese, abbreviandola un poco. Il Rev. padre Larcher, professore di Fisica e prefetto degli studi alla Scuola di Santa Genovieffa, si è compiaciuto di ritoccare il nostro manoscritto, anche lo stile non lasciasse niente a desiderare dal lato della correzione e dell'eleganza. Egli ha tradotto il nostro pensiero con la più grande esattezza, conservando quasi sempre le espressioni che avevamo usate noi stessi, e non potremmo mai ringraziarlo troppo della pazienza e dell'abnegazione, di cui ha dato prova in questo lungo e penoso lavoro. Quantunque questa precauzione non fosse necessaria, abbiamo riviste tutte le prove, per evitare gli errori

che s'introducono tanto facilmente nelle opere così composte. L'editore e l'incisore nulla hanno trascurato per assicurare la perfezione tipografica ed artistica, ed abbiamo quindi motivo di sperare che i lettori saranno soddisfatti. Pubblicando quest'opera in francese, l'autore è lieto di poter pagare alla Francia una tenue parte del tributo di riconoscenza, che le deve per l'accoglienza piena di simpatia, ch'egli ha ricevuto durante l'Esposizione universale.

Possa questo lavoro essere utile al lettore, con l'istruirlo e con l'invitarlo a rendere omaggio a Colui che ha posto nel Sole la sua tenda. *In Sole posuit tabernaculum suum Altissimus.*

**PARTE PRIMA**  
**STRUTTURA DEL SOLE**  
**CAPITOLO I**  
**ASPETTO GENERALE DEL SOLE,**  
**MACCHIE E LORO LEGGI PRINCIPALI**

**§ I. *Aspetto Generale del Sole***

Il Sole si presenta ai nostri occhi come un disco rotondo che sottende un angolo di 32 minuti, cioè d'un poco più di mezzo grado. Se noi teniamo conto della distanza, questo diametro apparente suppone dimensioni enormi, di cui è difficile formarci un'idea esatta.

La distanza media che separa il Sole dalla Terra è uguale a 23150 raggi terrestri, cioè a 148 milioni di chilometri, Il diametro del Sole è 108 volte il diametro del nostro pianeta, cosicché il suo raggio è quasi il doppio della distanza dalla Luna alla Terra. Il suo volume è quindi quasi uguale a quello di otto sfere, aventi un raggio uguale alla distanza che ci separa dalla Luna. Esso è 1259712 volte più grande della Terra.

Un arco di un secondo, visto dalla Terra al centro del disco solare, corrisponde a 715 chilometri; la Terra intiera, vista sopra al Sole, non sottenderebbe che un angolo di 17".82; il suo raggio dunque sottenderebbe 8".91, che è il valore della parallasse equatoriale del Sole, attualmente adottata, e sulla quale riposano tutti i nostri calcoli. Questi numeri ci serviranno presto per apprezzare le dimensioni degli oggetti che vediamo sul disco solare, e per valutarne i movimenti.

Gli antichi non conoscevano alcuna delle particolarità relative alla costituzione fisica del Sole. Si erano, è vero, segnalate, di tempo in tempo, alcune macchie nere, che potevansi distinguere ad occhio nudo, quando il Sole era presso l'orizzonte; ma prendevansi per pianeti in congiunzione, o per fenomeni, di cui s'ignorava la causa. Tali sono le macchie che furono osservate, l'una a tempo di Carlo Magno, l'altra nel 1588.

Fabrizio osservava il Sole, introducendone un raggio luminoso per una stretta apertura, in una stanza oscura completamente; e fu così che nel mese di dicembre 1610, riuscì a vedere una macchia considerevole, e a studiare il suo movimento in modo tanto preciso, da poterne concludere il movimento di rotazione del Sole. Però questa osservazione non fu pubblicata che più tardi, quando altri osservatori, armati di canocchiale, ebbero ottenuto de' migliori risultati.

Le macchie solari si presentano ordinariamente come punti neri di forma rotonda; bene spesso tuttavia, esse sono aggruppate per modo da formare, col loro insieme, delle figure irregolari. La parte centrale e nera; si chiama, il nucleo o l'ombra: il contorno è formato da una mezza tinta, che chiamasi la penombra. I contorni dell'ombra e quelli della penombra sono nettamente delineati, almeno nella maggior parte de' casi. Estremamente variabili sono le dimensioni delle macchie. Alcune si presentano come semplici punti neri, che chiamansi pori; se ne vedono frequentemente alcune che sottengono angoli di 30 a 40 secondi. Le grandi macchie sono rare, e risultano d'ordinario da molte macchie aggruppate. Si sono veduti dei gruppi simili, che avevano parecchi minuti di diametro: la loro superficie era dunque più grande di quella della Terra, e più grande pure di quella del pianeta Giove. La figura I rappresenta l'aspetto che aveva il Sole qualche momento avanti l'eclisse del 18 Luglio 1860, e può dare un'idea del numero e della grandezza relativa delle macchie.

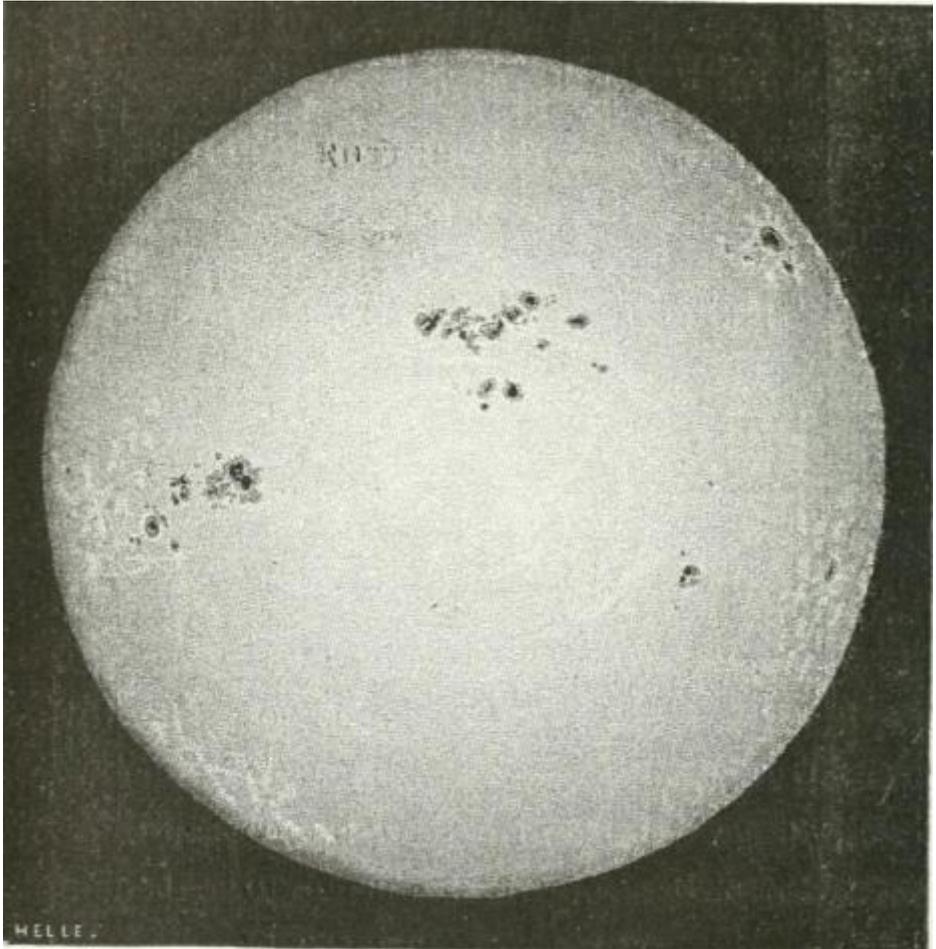


Fig. I

Sugli orli del disco, si vedono delle piccole macchie bianche, che gli astronomi chiamano facole, e che noi studieremo ben presto. Tutte queste macchie cambiano di posto e di forma, secondo leggi che impareremo a conoscere. Finalmente gli orli dell'immagine sono sempre molto meno luminosi del centro, ed è facile conoscerlo, servendoci d'un forte ingrandimento, e conducendo alternativamente il centro della proiezione all'orlo e al centro del disco solare.

## **§ II. Scoperta delle macchie solari. Mezzi per osservarle.**

La scoperta delle macchie è una di quelle che possono dirsi fatte da un'epoca e non da un uomo. Avendo molti scienziati a loro disposizione dei canocchiali, essi dovevano, tosto o tardi, dirigerli verso il Sole. La sola difficoltà consisteva nel proteggere gli occhi dell'osservatore. Così Galileo mostrava le macchie ai letterati di Roma, nel giardino Bandini, ma solamente quando il Sole era presso l'orizzonte; e nel medesimo tempo (marzo 1611), Scheiner le osservava a Ingolstadt con l'aiuto di un vetro bleu, collocato dinanzi all'oculare: Questa scoperta è stata fatta dunque simultaneamente da molti scienziati; e noi sappiamo che Fabricio era andato avanti a tutti.

Sembra che Galileo abbia preceduto Scheiner nelle osservazioni delle Macchie; ma le studiò interrottamente, e non ne comprese l'importanza che dopo la pubblicazione di tre lettere pseudonime, indirizzate dal gesuita tedesco a Marco Velsler, borgomastro di Asburgo, in data 12 dicembre 1611. Scheiner parlava in queste lettere, del numero delle macchie, della variazione delle loro forme, e del loro movimento apparente sul disco solare. Egli parla egualmente delle penombre, delle facole e dei mezzi di osservazione; ma mette avanti una spiegazione infelice, attribuendo questo fenomeno a pianeti vicinissimi al Sole.

Queste lettere eccitarono vivamente l'attenzione di Galileo, che riconobbe subito l'interesse e le difficoltà del soggetto. Egli dunque si mise all'opera, e dopo alcuni mesi di osservazioni, fu in grado di darne la teoria vera. Riconobbe che le macchie sono aderenti al corpo solare, e che la loro traslazione apparente è dovuta al movimento di rotazione di questo astro medesimo. Era allora difficilissimo arrivare a siffatta conclusione, perché il canocchiale di Galileo, il solo conosciuto a quel tempo, non permette l'uso del micrometro.

Non potevansi quindi prendere le posizioni che in modo molto inesatto, e le misure non divennero precise che al tempo, in cui cominciarono a studiarsi le immagini proiettate sopra un diaframma, coll'aiuto del canocchiale.

Disgraziatamente, la storia di questa bella scoperta sarebbe incompleta, se non dicessimo una parola della polemica ch'essa sollevò relativamente alla controversia della priorità. Lo abbiamo già detto, quella scoperta doveva farsi necessariamente, e non era che una questione di tempo e di combinazione. Ma in seguito, apparteneva al genio lo scoprirne la teoria vera, alla pazienza indagatrice e perseverante lo studiarne i fenomeni.

Sotto il rapporto del genio, Galileo è senza rivale; ma sotto il rapporto delle osservazioni, Scheiner ha ben meritato della scienza. Più tardi, nell'ardore della controversia, gli si è data l'accusa di plagio; ma la testimonianza di Galileo è più che sufficiente per rispondere a quest'accusa. Si deve alla perseveranza veramente tedesca dello Scheiner un lungo seguito di osservazioni piene di particolari interessanti, che in questi ultimi tempi sono stati apprezzati nel loro giusto valore.

Egli, per il primo, si servì di vetri colorati e del sistema di proiezione col cannocchiale; perfezionò questo metodo sui consigli del padre Grienberger, e costruì così un apparato che è la prima forma dell'equatoriale moderna.

L'osservazione delle macchie per via di proiezione è così comoda ed esatta che merita se ne dia una descrizione. All'imposta di una camera oscura si fa un'apertura della grandezza dell'obbiettivo; si colloca il cannocchiale nella direzione dei raggi solari, e si sposta l'oculare fino a che l'immagine sia ben terminata a' suoi orli. Le macchie, se ve ne sono, non tarderanno a comparire molto nette e ben definite.

Gli osservatori adoperano adesso, per queste proiezioni, dei grandi strumenti che servono egualmente a fotografare il Sole. Quando le proiezioni si fanno su grande scala, bisogna non omettere nelle misure una correzione che può divenire importante. L'immagine solare si forma realmente sopra una superficie sferica  $ab$  (fig. 2) che ha il suo centro in  $O$ , mentre il disegno si produce sopra un piano tangente  $mn$ , o piuttosto sul piano  $ab$ , se si mette al punto l'orlo del Sole. La differenza fra la corda  $ab$  e la tangente  $mn$  non è da trascurarsi, e questa causa di errore non era fuggita allo Scheiner.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Vedasi la *Rosa ursina* e le opere di Galileo. La *Rosa ursina* contiene molte

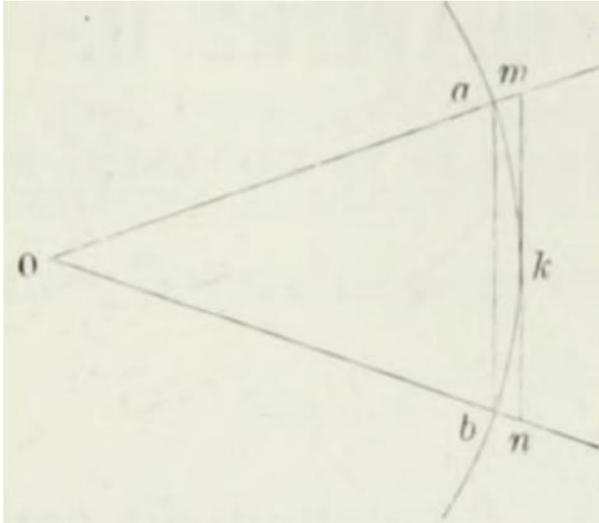


Fig II

Del resto, questo metodo non può servire che per ricerche generali: quando si vogliono ottenere dei particolari con precisione, bisogna adoperare le misure micrometriche.

### ***§ III. Leggi fondamentali del movimento delle macchie.***

I° In generale, le macchie si presentano sull'orlo orientale del Sole, attraversano il disco, seguendo linee oblique rapporto al movimento diurno e al piano dell'eclittica, e dopo 14 giorni circa, spariscono all'orlo occidentale: Non è raro che una stessa macchia dopo essere stata invisibile per un periodo di 14 giorni, appaia di nuovo all'orlo orientale, per fare una seconda, e qualche volta una terza ed anche una quarta rivoluzione; ma più generalmente esse perdono la loro forma, e finiscono col disciogliersi avanti di uscire dal disco, o mentre sono dal lato opposto.

II° Quando sul disco solare compariscono simultaneamente più macchie, esse descrivono nel medesimo tempo delle traiettorie simili e sensibilmente parallele. Bisogna concluderne che non sono indipendenti, come se fossero satelliti; ma che trovansi sulla

---

cose inutili; ma che non si perdona a Kepler? Era colpa del tempo e del paese.

superficie del Sole, e sono trascinate nel suo movimento di rotazione. Inoltre, se le macchie fossero astri indipendenti, bisognerebbe dire altrettanto delle facole, che vanno soggette al medesimo movimento di traslazione; ipotesi assurda, perché, come diceva benissimo Galileo, non può supporre che si abbiano intorno al Sole astri più fulgidi del Sole stesso.

III° Se notasi, giorno per giorno, sul medesimo disegno la posizione delle macchie, si vede che il loro movimento apparente più rapido vicino al centro, mentre diviene lentissimo agli orli del disco solare. Diamo nella figura 3, le traiettorie di due macchie osservate da Scheiner, dal 2 al 16 Marzo 1627. I luoghi punteggiati indicano delle lacune dovute alla presenza delle nubi. Le macchie sono nettamente terminate, le ombre e le penombre delineate perfettamente. Dalle loro corde si può giudicare della incurvatura delle traiettorie. Si vede facilmente ch'esse non hanno sempre descritto il medesimo spazio in tempi eguali.

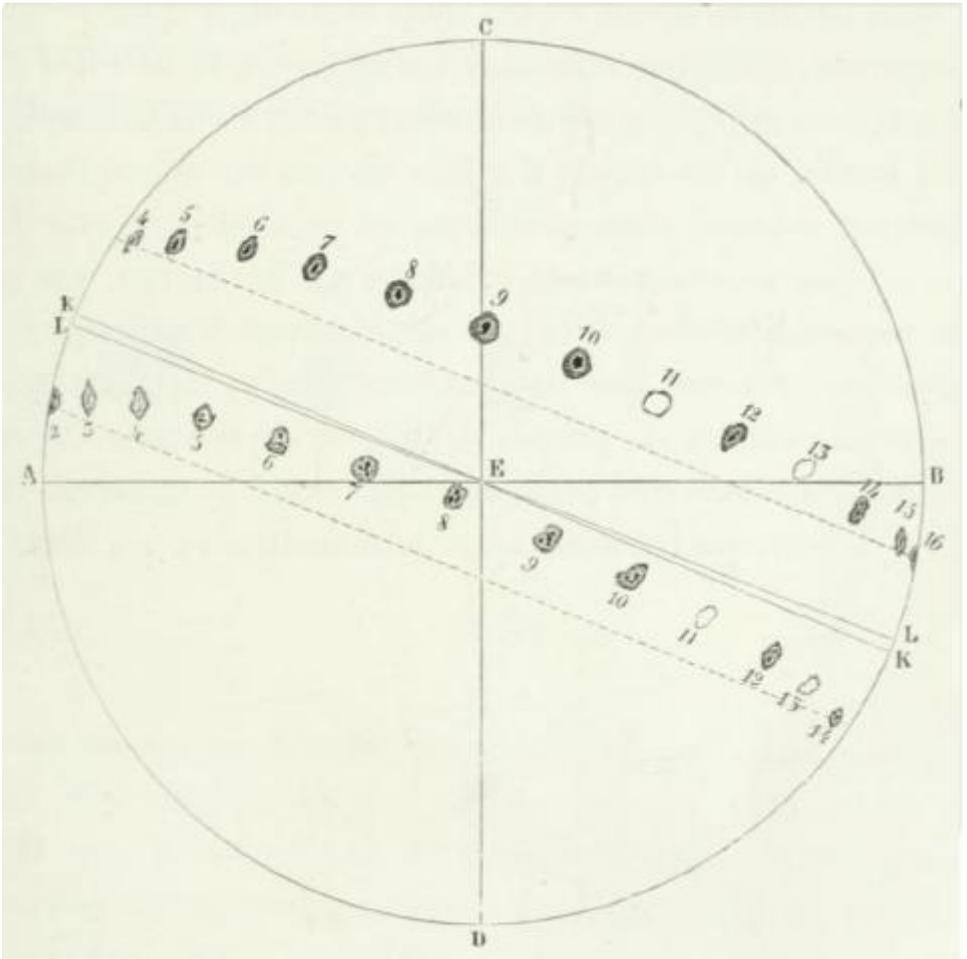


Fig. III

Però queste differenze non sono che apparenti, e risultano da questo, che il movimento sembra a noi effettuarsi sopra ad un piano, mentre in realtà avviene sopra un cerchio parallelo all'equatore solare. Noi proiettiamo questo parallelo, e con esso le posizioni successivamente occupate dalle macchie, sopra un piano perpendicolare al raggio visuale. Per rappresentare il fenomeno, tracciamo una mezza circonferenza, dividiamola in un certo numero di parti eguali, e da ciascuna di queste divisioni, abbassiamo delle perpendicolari sul diametro *AB* (fig. 4).

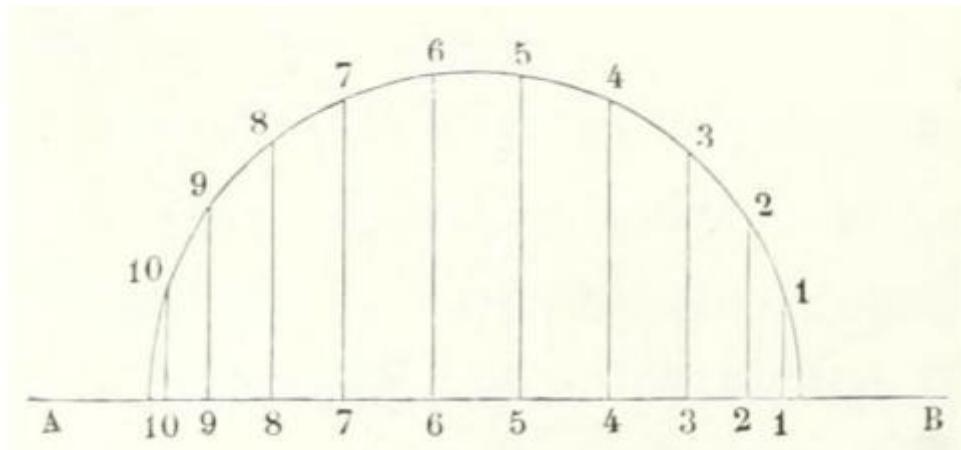


Fig. IV

Divideremo così il diametro in un certo numero di parti ineguali, ma che sono pur sempre le proiezioni di archi eguali fra loro; e queste proiezioni sono tanto più piccole quanto gli archi corrispondenti più si avvicinano all'estremità del diametro. Impiegando una costruzione consimile, Galileo mostrò che le macchie non possono essere corpi staccati dal Sole e lontani dalla sua superficie, perché il raggio del parallelo solare era il solo che soddisfacesse al calcolo delle traslazioni diurne.

IV° Le macchie avvicinandosi all'orlo perdono la loro forma rotondeggiante diventando ovali, poi si restringono in modo da divenire quasi lineari; e se ne può giudicare dalle quattro figure ingrandite, che qui riproduciamo (fig. 5).

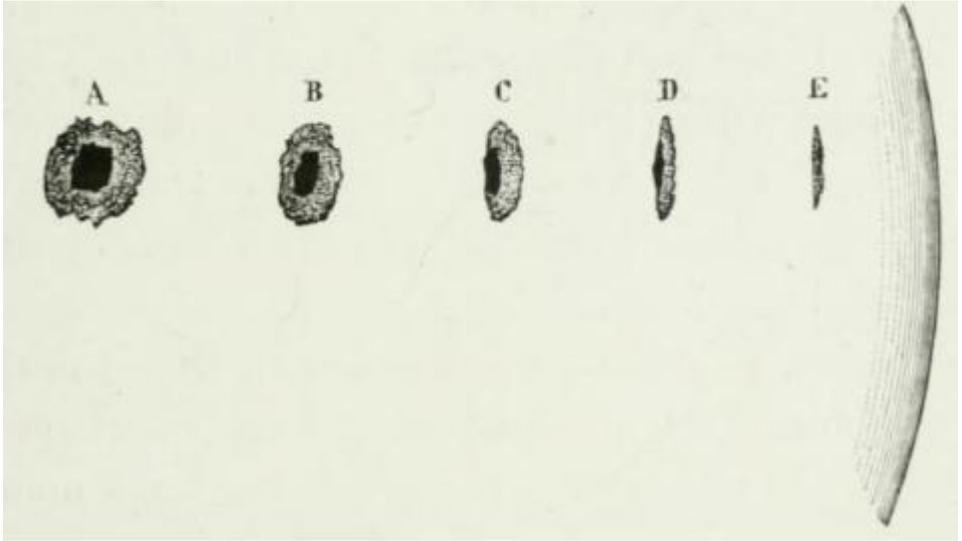


Fig. V

Siffatti cangiamenti sono anch'essi semplici apparenze, dovute ad un effetto di prospettiva, e si spiegano al modo stesso del rallentamento apparente. Ma questo fenomeno prova esso pure che le macchie sono aderenti alla superficie del Sole; perché, nell'ipotesi contraria bisognerebbe attribuirle a corpi molto schiacciati, il che sarebbe contrario a tutto ciò che sappiamo della forma propria ai corpi celesti. Galileo le paragonò a delle nubi; più tardi Scheiner le considerò come cavità. Vedremo ben presto che cosa dobbiamo pensarne.

V° Oltre questi cambiamenti apparenti, ve ne sono dei reali. La forma delle macchie cangia qualche volta in maniera notevolissima, non solamente da un giorno all'altro, ma nello spazio di alcune ore. Talvolta più macchie si confondono in una sola, talvolta una macchia si divide in molte altre; e noi ne vedremo ben presto degli esempi sorprendenti.

Questi cambiamenti di forma influiscono molto sul movimento; la regolarità geometrica indicata qui sopra, ne è scossa profondamente, ed è ciò che impedì ai primi osservatori di determinare con precisione la durata della rotazione solare.

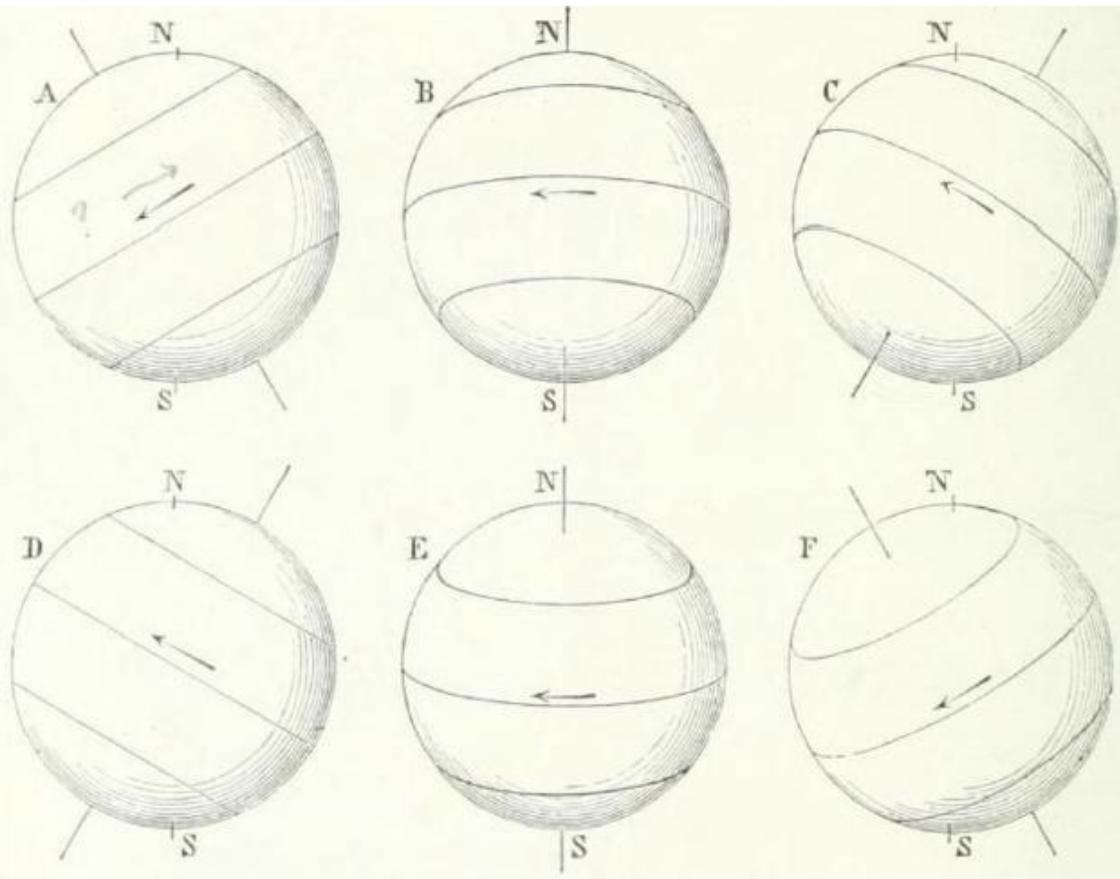


Fig. VI

VI° Le traiettorie descritte dalle macchie variano con la stagione: nel mese di marzo, sono ellissi allungatissime che volgono la loro convessità verso il nord mentre il grande asse dell'ellisse è quasi parallelo all'eclittica (fig. 6, B).

In seguito, l'incurvatura delle ellissi diminuisce gradatamente, e in pari tempo esse si inclinano sopra l'eclittica come nella (fig. 6, C), di maniera che nel mese di giugno, esse trovansi trasformate in linee dirette come nella (fig. 6, D). Dal giugno al settembre, le curve ellittiche ricompariscono, ma la loro posizione, è inversa alla

precedente (fig. 6, E). Poi, seguendo fasi inverse, ripassano per la curva allungata (fig. 6, F), e prendono la linea diritta (fig. 6, A), per ritornare infine, al termine di un anno, alla forma B.

Il punto N è il polo nord dell'eclittica. In questa figura le curvature sono state un poco esagerate, per farne meglio comprendere le variazioni.

Tutte queste forme di traiettorie apparenti non sono che effetti di prospettiva. In realtà, le macchie descrivono de' paralleli all'equatore solare; e sono questi paralleli che noi delineiamo ad ogni momento sopra un piano perpendicolare al raggio visuale, che passa per l'occhio dell'osservatore e il centro del globo solare. Queste proiezioni debbono necessariamente cambiare di forma a misura che l'osservatore si sposta, e ci appariscono sotto aspetti differenti, secondo la posizione che la Terra occupa in rapporto all'equatore solare. Quando essa è ad uno dei suoi nodi; cioè ad uno dei punti in cui l'eclittica incontra l'equatore solare, tutti i paralleli si proiettano seguendo delle linee diritte, e le traiettorie apparenti delle macchie sono rettilinee. Ciò accade quando la longitudine del Sole è di  $74^{\circ}30'$  e  $254^{\circ}30'$ , cioè il 4 giugno ed il 6 dicembre. Quando al contrario la Terra si trova al disopra o al disotto dell'equatore solare, le traiettorie si proiettano seguendo delle ellissi, e queste curve sono tanto più pronunziate, quanto più noi siamo lontani da quel piano. Il massimo della curvatura avrà luogo per delle longitudini che differiscono di 90 gradi da quelle che abbiamo indicate per i nodi.

VII° Le macchie non si mostrano indifferentemente su tutti i punti del disco. Esse sono poco numerose in vicinanza immediata dell'equatore, e rarissime nelle latitudini superiori ai 35 o 40 gradi. Si mostrano in più gran quantità nelle due zone simmetriche, che sono state chiamate *Zone Reali*, comprese fra 10 e 30 gradi latitudine eliocentrica.

VIII° Il numero delle macchie è variabilissimo. Qualche volta esse sono numerose in modo che si può, con una sola osservazione, riconoscere le zone che le contengono abitualmente. Qualche volta, al contrario, sono così rare, che un anno intero può volgere senza che se ne veda una sola. È stata costatata una rimarchevole regolarità nel modo con cui si succedono questi periodi.

IX° Quando si cerca di determinare la durata della rotazione solare col ritorno delle macchie, si trovano delle grandi anomalie la cui spiegazione è rimasta lungamente sconosciuta. Si trova, in media, che una macchia ritorna almeno in apparenza, alla sua posizione primitiva nel termine di circa 27 giorni; ma in siffatto calcolo vi è una causa di variazione, di cui bisogna tener conto. Durante questo tempo la terra non è rimasta immobile; ha descritto sulla sua orbita un arco di circa 25 gradi; nel senso medesimo della rotazione solare. Al momento, in cui una macchia termina la sua rotazione apparente, ha dunque descritto un cerchio completo, e, da quasi due giorni cominciato una seconda rivoluzione. Facendo la correzione richiesta da questa costanza, si troverà che la durata vera della rotazione solare è di circa 25 giorni e mezzo.

Però questa pure è un'approssimazione considerata come insufficiente dagli scienziati. Il contorno apparente del Sole, non taglia sempre in due parti uguali il cerchio che descrive una macchia; e quindi una nuova irregolarità nel movimento apparente. Dalla combinazione di questi movimenti risulta che, invece di descrivere un'ellisse semplice, un punto della superficie del Sole osservato dalla Terra, descrive un'ellisse, le cui assi variano costantemente di grandezza e di posizione. Di là l'origine di un problema complicato, del quale i geometri hanno dato molte soluzioni utili e interessanti.

#### ***§ IV Ipotesi che sono state emesse sulla natura delle macchie.***

Scheiner aveva da prima considerato le macchie come dei satelliti che girassero attorno al Sole: opinione insostenibile, ben presto abbandonata dal suo autore, e che pur si è tentato di far rivivere.

Dopo aver lungamente serbato un prudente silenzio, Galileo le attribuì a nubi che si aggirassero nell'atmosfera solare, ed era questa la migliore conclusione che si potesse trarre dalle osservazioni poco precise che eransi potute fare. Questa opinione fu a lungo approvata, e generalmente, ed è anche stata ripresa ai nostri giorni da scienziati rispettabilissimi. Noi non crediamo tuttavia che sia possibile sostenerla, e fino dai primi tempi le si facevano delle obiezioni serissime. Negli ultimi anni della sua vita, Scheiner dichiarò che le macchie erano collocate al di sotto del livello generale della

superficie solare, ma senza far conoscere con indicazioni sufficienti, i fatti sui quali riposava questa opinione.

Alcuni astronomi credettero, al contrario, che fossero delle montagne, i cui fianchi più o meno dirupati avrebbero prodotto il fenomeno della penombra: opinione inconciliabile col movimento proprio che le macchie hanno qualche volta in modo ben pronunziato.

Finalmente, furono pure riguardate come degli ammassi di scorie, che ondeggiassero sulla superficie dell'oceano di fuoco che costituiva il Sole.

Ciò non pertanto un secolo non era ancora passato, quando un astronomo inglese, Wilson, fece una scoperta memorabile. Egli mostrò con evidenza che le macchie sono dovute a delle cavità, e dette per il primo un'idea esatta del modo con cui è composta la fotosfera.<sup>2</sup> Svilupperemo più tardi le sue osservazioni: basti ricordare, in questo momento, ch'esse sono state il punto di partenza dei grandi lavori di Herschel, de' quali ci rimane a parlare. Non ne diremo che qualche parola, perché il tempo di quest'astronomo è vicinissimo a quello in cui diventa impossibile seguire l'ordine cronologico nell'indicazione delle scoperte.

### ***§ V. Lavori d'Herschel.***

W. Herschel era un uomo di genio, ed era per di più un osservatore eccezionale. Egli vide tanti fenomeni, con l'aiuto di potenti strumenti, che aveva costruiti con le proprie mani, descrisse sì minutamente le meraviglie che gli erano state per tal modo rivelate, che lasciò molto poco a fare ai suoi successori. Soltanto, essendo i suoi strumenti, per così dire, a lui personali, altrettanto fu del linguaggio che dovette cercare per esprimersi.

Quel linguaggio non venne sempre compreso, ed oggi soltanto, con l'aiuto di strumenti comparabili ai suoi, possiamo giudicare della grandezza delle sue scoperte.

L'idea capitale di Herschel riposava sulla scoperta di Wilson. Egli rimarcò giustamente, come aveva fatto quest'astronomo, che se le

---

<sup>2</sup> Si chiama così lo strato luminoso che avvolge il Sole.

macchie fossero delle cavità, la materia luminosa non potrebbe essere, propriamente parlando, né liquida né gassosa, perché allora essa si precipiterebbe con una spaventevole rapidità, per riempire il vuoto, ciò che renderebbe impossibile la persistenza delle macchie, che noi vediamo durare qualche volta per più rivoluzioni. D'altra parte, i movimenti propri delle macchie provano che la fotosfera non è solida: non si può dunque paragonarla che alle nebbie e alle nubi, e deve essere sospesa in una atmosfera simile alla nostra. Tale è la sola ipotesi che possa spiegare le rapide variazioni, di cui siamo testimoni.

Nella sua seconda memoria, Herschel continuò questo studio con una perspicacia degna del suo genio. Disgraziatamente egli si lasciò sedurre dall'idea che il Sole potesse essere abitato. Gli occorse quindi un nucleo solido, su cui potessero posare i suoi abitanti, ed un mezzo qualunque proteggesse contro gli irradamenti della fotosfera. Suppose perciò al disopra del nucleo, uno strato di nubi sempre contiguo alla fotosfera che lo circonda, strato che si apre simultaneamente ad essa, per lasciare scorgere il nucleo: ipotesi arbitrarie, che non hanno alcun fondamento nell'osservazione, e che conducono a risultati, che sono in completo disaccordo con i principi della Fisica moderna.

Tuttavia i lavori di Herschel contengono tante cose positive, tante idee giuste, che hanno fatto fare dei grandi progressi alle nostre nozioni sulla vera costituzione del Sole.

E noi lo prenderemo spesso per guida in ciò che andremo esponendo.

Non abbiamo detto nulla dei lavori degli antichi astronomi, Hevelius, Cassini, Huyghens, ecc. Le loro osservazioni, per quanto laboriose siano state, hanno reso pochi servigi alla scienza. Non può dirsi altrettanto dell'epoca moderna, e dovremo spesso citare Sir John Herschel, Mr. Carrington, Mr. Warren de la Rue, Mr. Faye, Mr. Sporerer, Mr. Wolf; Mr. Schwabeen. Contentiamoci di citare questi nomi, che troveremo di frequente nello svolgimento del nostro lavoro.



## CAPITOLO II

### NUOVI METODI DI OSSERVAZIONE

#### **§ I. Oculari Elioscopici**

La grande intensità della luce del Sole è stata sempre la difficoltà principale, da vincersi nell'osservazione dei fenomeni, che avvengono alla superficie di questo astro. L'uso di vetri fortemente colorati è un mezzo prezioso per i canocchiali ordinari; ma nei grandi strumenti essi si rompono o si fondono con la più grande facilità. Per riparare a questo inconveniente, si sono usati per lungo tempo dei diaframmi destinati a rimpicciolire l'apertura dell'obiettivo; ma perdevasi così una parte dei vantaggi che presentavano i grandi strumenti, e in pari tempo diminuivasi molto la nitidezza delle immagini. Quest'ultimo risultato deriva da un fenomeno di diffrazione, che è tanto più sensibile, quanto più l'apertura del diaframma è ristretta. Ogni punto si trova rappresentato da un circolo d'una certa estensione, e tutti questi circoli distendendosi gli uni sugli altri, ne risulta un'immagine piatta e confusa, nella quale diventa impossibile distinguere i particolari.

Herschel aveva riconosciuti questi inconvenienti, e perciò amava meglio impiegare dei vetri fortemente colorati, e conservare tutta l'apertura del suo telescopio. Provò molti altri mezzi, e particolarmente dei liquidi colorati in più modi, per esempio dell'acqua mista all'inchiostro; ma il calore produceva in questo liquido dei movimenti tumultuosi, e ne risultava una gran confusione nelle immagini. Suo figlio John propose d'impiegare uno specchio concavo, fatto con vetro non stagnato. Sarebbersi così ottenuta, in grazia della tenue potenza del vetro, un'immagine pur sempre tanto viva da non potersi esaminare ad occhio nudo, e in pari tempo debole in modo da potersi osservare con un vetro colorato, malgrado l'apertura considerevole dell'apparecchio. Il Sig. Chacornac ha recentemente usato questo procedimento con un telescopio Foucault non argentato.

Foucault invece ha proposto d'argentare la superficie anteriore degli obbiettivi dei canocchiali, e di guardare il Sole attraverso questo tenue strato di metallo. Assicurasi che le immagini sono bellissime e piacevolissime all'occhio; ma questi diversi metodi

esigono un strumento destinato in special modo al Sole, e pochi astronomi senza dubbio si decideranno a sacrificare così il loro migliore obbiettivo.

Era dunque importante trovare un mezzo che potesse facilmente adottarsi a tutti gli strumenti. L'astronomo inglese Dawes propose di mettere il diaframma, non all'obbiettivo, ma all'oculare; e con ciò riceveva l'immagine sopra una placca d'avorio, foderata di metallo, e guardava per un foro piccolissimo. Io mi sono spesso servito di una semplice carta di visita, coperta di biacca, e con un foro di spillo. Invece di bruciare, essa non si annerisce neppure, malgrado la gran quantità di calore, che si concentra nel foco di un largo obbiettivo. Il solo inconveniente è che il campo della visione diviene strettissimo.

Questo inconveniente non manca tuttavia di compensi, perché, rimanendo nascosta la maggior parte del disco, l'occhio ha migliore agio di studiare i particolari.

Ciò nonostante, anche con piccoli diaframmi, bisogna sempre adoperare un vetro colorato. I migliori sono quelli che si chiamano vetri graduati, formati con due pezzi tagliati a guisa di cuneo; l'uno è bianco, l'altro è bleu: si sovrappongono semplicemente, perché tutte le sostanze che potrebbero servire ad unirli, si gonfiano per il calore, e formano delle bolle. Mettendo questo vetro graduato sopra una montatura che scorre dinanzi all'oculare, si può regolare a piacere la intensità della luce, ciò che presenta grandi vantaggi.

Però il mezzo migliore è stato proposto da Sir John Herschel. Esso consiste nel servirsi della luce riflessa. Si è procurato di produrre questa riflessione alla superficie di una lamina di vetro, molto fortemente colorata. Si evitava così la riflessione sulla seconda faccia, e per conseguenza una causa di turbamento nella formazione dell'immagine. Ma allora i raggi che non sono riflessi vengono assorbiti; il vetro si scalda, perde la sua forma, e finisce col rompersi. Herschel ha evitato tutti questi inconvenienti, adottando la disposizione seguente. Un prisma rettangolare di cristallo è disposto in maniera che il raggio incidente *OI* (fig. 7) venga a riflettersi sulla sua ipotenusia;

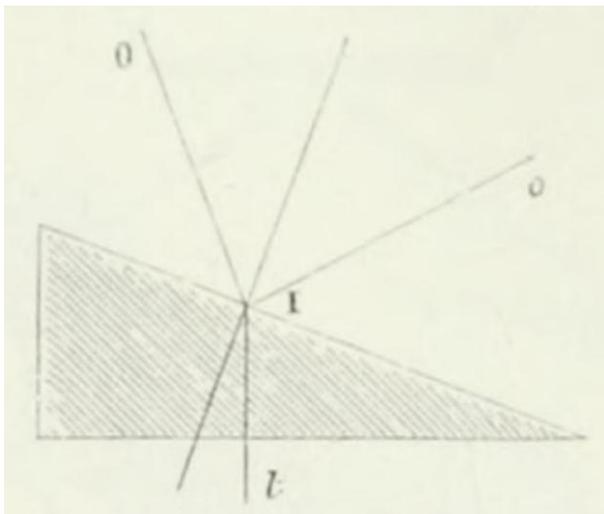


Fig. VII

i raggi che penetrano nel cristallo escono perpendicolarmente alla seconda faccia, seguendo la direzione  $It$ , e si evitano così le riflessioni interne, che darebbero fastidio. Il prisma è fissato sopra un apparecchio a montatura aperta, per evitare l'elevazione della temperatura. Così disposto, l'apparecchio si scalda pochissimo, e la luce è talmente affievolita che si può esser contenti d'un vetro colorato sottilissimo. Tuttavia, il vetro colorato rimane sempre e impedisce di vedere il Sole nel suo vero colore. Questo inconveniente sparisce nell'oculare polarizzatore, immaginato dal padre Cavalieri di Monza. Noi ci serviamo di uno di questi elioscopi, costruiti a Milano dai Signori Porro e Dall'Acqua.

La luce è ricevuta dapprima sopra un prisma  $PP'$ , simile a quello di Herschel (fig. 8). Solamente l'incidenza ha luogo sotto l'angolo di 36 gradi, sotto il quale il vetro polarizza la luce. Di là i raggi vengono a cadere sopra uno specchio di vetro nero  $AB$ , parallelo al prisma. Quest'incidenza ha luogo dunque anch'essa sotto l'angolo di 36 gradi.

Finalmente la luce viene a subire un'ultima riflessione in  $CD$ , seguendo sempre l'angolo di polarizzazione. Il prisma e il primo specchio sono fissati in una posizione invariabile, l'uno rapporto all'altro. Ma lo specchio  $CD$ , è montato in un tubo che gira liberamente, di maniera che si può metterlo in tutti gli azzimuti possibili rispetto al raggio riflesso.

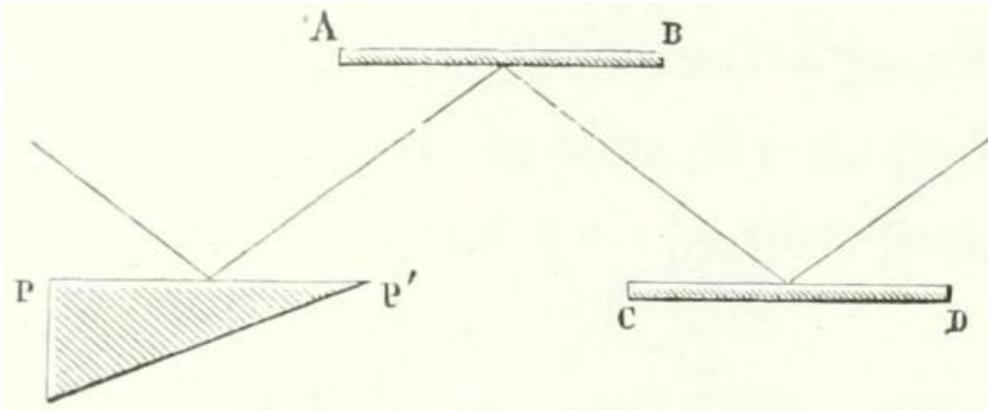


Fig. VIII

Disponendo *CD* perpendicolarmente al piano di polarizzazione, si affievolisce la luce in modo che l'occhio può sopportarla senza inconveniente, anche quando il Sole è alla sua più grande altezza. La luce non vi sparisce completamente; ma ciò sarebbe inutile.

Il signor Merz ci ha inviato, un oculare costruito secondo i principi stessi, nel quale l'estinzione della luce è completa; in grazia di un quarto riflettore. Le superfici sono perfettamente piane, ma il prisma è surrogato da un vetro colorito, ciò che fa temere che il calore lo possa rompere. Questa disposizione d'altra parte ha un grande vantaggio, cioè che il raggio esce parallelamente all'asse del canocchiale, il che è impossibile, nell'altro sistema.

Questi elioscopi sono costosissimi, ma presentano molti vantaggi, ed in particolare quello di moderare a piacimento l'intensità della luce. Ciò non ostante, malgrado tutte le precauzioni che si prendono per garantire la vista degli osservatori, e ottenere buone immagini, sussiste un inconveniente che non può evitarsi, ed è il riscaldamento degli obiettivi e quello della massa d'aria contenuta nei tubi. Ne risultano delle irregolarità sensibilissime nelle refrazioni; e perciò a capo di alcuni minuti, le immagini non presentano più la medesima nitidezza, e si è obbligati d'interrompere l'osservazione per qualche tempo, affinché la temperatura possa diminuire. Il Signor Nashmyth ha proposto d'usare canocchiali senza tubi; come quelli d'Huyghens. Questo sistema potrebbe riuscire per i grandi riflettori: per i refrattori potrebbero adottare dei tubi a montatura aperta.

L'aria circolando liberamente, si scalderebbe molto meno.

Raccomandiamo agli osservatori di evitare i vetri rossi ed i neri, perché lasciano passare molto calore, ed il loro calore stanca la vista. Le tinte verdi, gialle o neutre sono le migliori.

## **§ II. *Fotografie solari. Disegni.***

La fotografia ha reso grandissimi servigi, sia nell'osservazioni ordinarie del Sole, sia nelle eclissi. Si ottengono le prove fotografiche col medesimo apparecchio che serve per le proiezioni: soltanto si mettono al foco della lente due fili incrociati che servono ad orientare l'immagine.

La durata dell'esposizione deve essere talmente corta, che bisogna usare, per regolarla, un apparecchio speciale. Esso consiste in una placca metallica, che scorre in una scannelatura, ed ha una fessura strettissima, di cui può farsi variare a piacimento la grandezza. Al momento dell'operazione, si fa scattare un grilletto; la placca obbedisce all'azione della molla, e la fessura passa rapidamente attraverso il cono luminoso.

Si calcola ad un centesimo di secondo in più, il tempo necessario per ottenere una buona prova; ma ciò dipende da molte circostanze. Se l'esposizione è stata troppo prolungata, le macchie spariscono, e gli orli mancano di nitidezza. Il diametro dell'immagine dipende esso stesso dalla durata dell'esposizione. Se il tempo è troppo corto, gli orli sono tracciati male, si riconosce apertamente la forma sferica del Sole, e si può giudicare del forte assorbimento che esercita la sua atmosfera.

L'oculare e la placca debbono essere chiusi in una cassetta oscura sul prolungamento del canocchiale, formando con esso un sol corpo; ovvero, con l'aiuto di una stoffa nera molto grossa, si trasforma la cupola in una camera oscura, per evitare la diffusione della luce. È raro che il foco ottico coincida esattamente col foco chimico; e perciò bisogna cercarlo con una serie di esperienze preliminari. I disegni delle macchie sono difficilissimi, quando esse hanno una forma complicata, e tuttavia non è possibile farne di meno, perché sono l'unico mezzo per ottenere con esattezza certi particolari, che la fotografia riproduce difficilmente. Questi particolari cangiano in

modo tale, che qualche volta bisogna, per così dire, prenderli a volo. Sarebbe dunque importante di avere un mezzo che permettesse agli osservatori di stabilire questi ricordi, anche non essendo artisti perfetti. Il metodo migliore che abbiamo trovato, consiste nel disegnare su carta nera con bianco di piombo. Il bianco che noi impieghiamo, conosciuto in commercio sotto il nome di *paillard* è in pani piccolissimi, e chiamasi bianco d'argento. Adoperando pennelli molto fini, giungiamo a riprodurre i più piccoli particolari. A far ciò, noi cominciamo dal prendere, col canocchiale, una proiezione molto ingrandita della macchia. Due fili di ragno, di cui si è determinata la distanza angolare, proiettano simultaneamente la loro immagine sul diaframma, ciò che serve di punto di riscontro per le misure da effettuarsi, e quindi terminiamo quello schizzo. È in questa maniera che noi abbiamo eseguito, coi padri Ferrari e Cappelletti, la maggior parte dei disegni che conserviamo nell'Osservatorio.

Terminate queste figure, siccome sono state fatte a bello studio sopra una grande scala, così si riducono a proporzioni minori colla fotografia. Per tal modo abbiamo riprodotte in questo libro, e sopra a tutto quelle che rappresentano i particolari delle penombre. Anche le incisioni sono state fatte sulle riduzioni fotografiche.

## CAPITOLO III STRUTTURA GENERALE DELLE MACCHIE SOLARI

### *§ I. Aspetto generale della fotosfera.*

Quando si esamina il Sole con istrumenti, che hanno una grande apertura ed una gran forza d'ingrandimento, si vede che la sua superficie, lungi dall'esser liscia ed uniforme, presenta un aspetto irregolare ed ondulato, come un mare agitato dalla tempesta. Quando viene proiettata sopra un diaframma bianco, con l'aiuto d'un oculare potente, vi si riscontra una quantità d'increspature e di anfrattuosità che non è possibile descrivere minutamente.

Talvolta, in special modo presso l'orlo, ed in vicinanza delle macchie, si scorgono qua e là delle masse più luminose che chiamansi facole. Esse occupano spesso uno spazio assai considerevole, ed è raro che siano molto vive ed isolate. Ove si voglia conoscerne la struttura in modo più preciso, bisogna rinunziare alle proiezioni, ed esaminare direttamente il Sole, con un oculare di molta forza, e in un momento, in cui l'atmosfera sia perfettamente tranquilla. Vedesi allora che la superficie è coperta da una moltitudine di piccoli granelli, aventi quasi tutti le medesime dimensioni, ma forme differentissime, tra le quali sembra che domini l'ovale. Gli intervalli molto sottili, che separano quei granelli formano un reticolato oscuro, quantunque non completamente nero. Ci sembra difficile trovare un oggetto conosciuto che dia un'idea di quella struttura: si ottiene qualche cosa di analogo, guardando col microscopio del latte un poco rappreso, i cui globuli hanno perduto la regolarità della loro forma.

Quei granelli si riuniscono qualche volta in piccoli gruppi, e formano allora una massa più brillante. La loro forma ovale gli ha fatti paragonare, a chicchi di riso. Il Signor Nashmyth gli aveva chiamati foglie di salcio (salice); ma la loro forma ricorda piuttosto quella dei chicchi di riso, quantunque in realtà sia irregolarissima.

Tale struttura non ha potuto essere rimarcata che con istrumenti a larga apertura, perché avendo quei granelli dimensioni tenuissime, la diffrazione produce necessariamente, nell'ampliarli e nel farli

addossare gli uni sugli altri, una confusione generale. Le dimensioni reali di quei granelli non sono facili a determinarsi, a causa della difficoltà di porli individualmente sotto il filo del micrometro. Non vi si può riuscire che paragonando i loro diametri a quelli dei fili micrometrici, e vengono calcolati a un 1/4 o un 1/3 di secondo.

Si possono misurare direttamente, quando si accumulano attorno ai pori o a piccolissime macchie. Allora non sono più rotondi ma sembrano allungarsi e prendere la forma di piccole foglie, che abbiano il loro grande asse diretto verso il centro dell'apertura. Tale è il caso della piccola macchia osservata il 10 Agosto, 1865.

Quella macchia era quasi rotonda, aveva un diametro di 6" e 38; il suo perimetro conteneva da 24 a 32 di quelle piccole foglie, ed era difficile contarle in una maniera più precisa. La loro larghezza era dunque in media da 0.6" a 0.8"; e se teniamo conto dello spazio che separa le une dalle altre, spazio molto eguale al terzo di ciascuna di esse, rimane per la loro larghezza, un terzo, di secondo, o un mezzo secondo.

Questi numeri sono certamente esagerati, perché i granelli sono sempre più piccoli delle foglie, e di più il loro diametro è sempre amplificato dalla diffrazione. Ogni punto luminoso produce qui un fenomeno analogo a quello che presentano le stelle. L'angolo ch'esse sottendono, è realmente nullo, e per conseguenza dovrebbero presentarsi a noi come punti semplici; e tuttavia i migliori canocchiali ce le mostrano come piccoli cerchi, le cui dimensioni sono molto apprezzabili. Lo strumento che adoperiamo, dà loro un diametro apparente, che valutiamo a un 1/3 di secondo, perché due stelle di grandezza media, molto vicine, in luogo di separarsi, si confondono in una sola immagine di forma ovale.

Per quanto può giudicarsi dalle osservazioni fatte fino ad ora, quei granelli sono dei veri punti luminosi, e si possono considerare come vertici di altrettanti coni, aventi alla base dei diametri da 240 a 260 chilometri.

I granelli sono animati da movimenti sensibili, ma difficilissimi a determinarsi in mezzo alla massa brillante della fotosfera. Il fenomeno può constatarsi con maggior comodo presso ai pori. Sull'orlo di quelle aperture, si vedono i granelli allungarsi, muoversi e modificare completamente il contorno dei pori.

W. Herschel aveva notato quelle granulazioni; dava loro il nome di corrugazioni o di rughe, espressione poco esatta forse, ma con la quale designava lo stesso fenomeno di cui parliamo, come mostrano ad evidenza le sue descrizioni. Aveva notato pure il reticolato oscuro, che separa i granelli, e lo designava colla parola indentatura. Ben presto egli formò una teoria per spiegare quelle apparenze. Per lui, i punti brillanti *a* (fig. 9) erano i vertici dei coni di fiamme, di cui il Sole sarebbe coperto, mentre la penombra *b*, del reticolato oscuro, sarebbe spiegata dalle nubi planetarie, di cui egli ammetteva l'esistenza: *c* è il nucleo solare oscuro. La figura è quella ch'egli ha data nelle *Philosophical Transactions* (1802), per spiegare la sua idea.

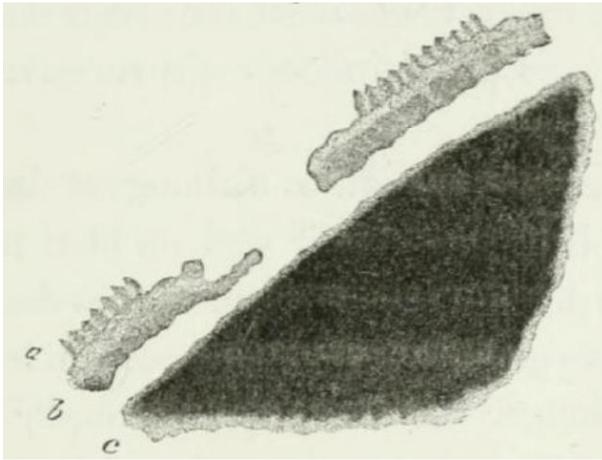


Fig. IX

Siffatta spiegazione non può essere ammessa, che nella prima parte, la quale è naturalissima, tranne che sembra supporre una regolarità, che noi non abbiamo sempre osservata. Infatti, abbiamo detto che la materia luminosa del Sole è analoga alle nebbie o alle nuvole; è quindi ben naturale ammettere che i granelli, sono i vertici delle papille arrotondate, le quali terminano quelle masse vaporose, che ondeggiano come i nostri cumuli nell'atmosfera solare. Niente è più comune, anche sulla Terra, che il vedere dalla sommità di una montagna, delle nebbie e delle nubi produrre un simile effetto.

Le dimensioni enormi di quei corpi solari, presentando un'estensione di più centinaia di chilometri, non possono che rendere tale

spiegazione più plausibile. In tutti i casi, si deve avere per certo che i granelli sono le cime di prominente relativamente piccole, che coprono la superficie del Sole, perché non si scorge bene quella struttura che verso il centro del disco, come Herschel aveva già osservato. Essa sparisce presso gli orli, perché quelle masse coniche si celano a vicenda, ciò che impedisce di vedere l'intervallo, a cui si deve il reticolato nero.

Abbiamo detto che i granelli si allungano in vicinanza dei pori. È reale questo fenomeno, o non è che un'apparenza? Ciascuna di queste due ipotesi può sostenersi. Forse quei granelli, pigiati dagli altri che li circondano tendono ad allungarsi realmente, per riempire lo spazio lasciato vuoto, come vediamo qualche volta fare alle nubi che ondeggiando nella nostra atmosfera; fors'anche i coni luminosi s'inclinano verso l'apertura vicina, senza realmente allungarsi. Torneremo presto su questa questione, per trattarla con nuovi particolari.

La superficie del Sole è qualche volta così piena di tali granulazioni, il reticolato è talmente pronunziato, che si crederebbe quasi di vedere dappertutto dei pori e dei principi di macchie, ma questo aspetto non è costante, e bisogna cercarne la causa, non soltanto nelle variazioni della nostra atmosfera, che rendono qualche volta difficili le osservazioni, ma anche nelle modificazioni a cui il Sole va soggetto. Del resto, bisogna riconoscerlo, queste piccole granulazioni sono le particolarità più difficili ad osservarsi, a causa del riscaldamento molto rapido dell'obiettivo e del tubo. Il signor Nashmyth assicura che, sopprimendo il tubo del suo canocchiale, distingueva molti particolari, che gli sfuggivano senza questa precauzione.

## § II. *Formazione delle macchie.*

Il tempo necessario alla formazione di una macchia è estremamente variabile, e riesce impossibile scoprirvi alcuna legge. Talune si formano lentissimamente, altre appaiono quasi d'improvviso. Tuttavia, se si osserva il Sole tutti i giorni, con molta cura, si riconosce che quella formazione non è mai completamente istantanea, per quanto rapida possa essere. Il fenomeno è annunciato sempre qualche giorno avanti. Si scorge nella fotosfera una grande agitazione, che si manifesta ora con facole, ora con pori, e con un assottigliamento dello strato luminoso, che li separa. Questi pori cambiano di posto da prima con rapidità; poi uno essi sembra prendere il disopra, e si trasforma in una larga apertura. Sui primi istanti della formazione, non vi è penombra nettamente definita: essa si sviluppa progressivamente, e diviene regolare a mano a mano che la macchia prende anch'essa una forma rotonda.

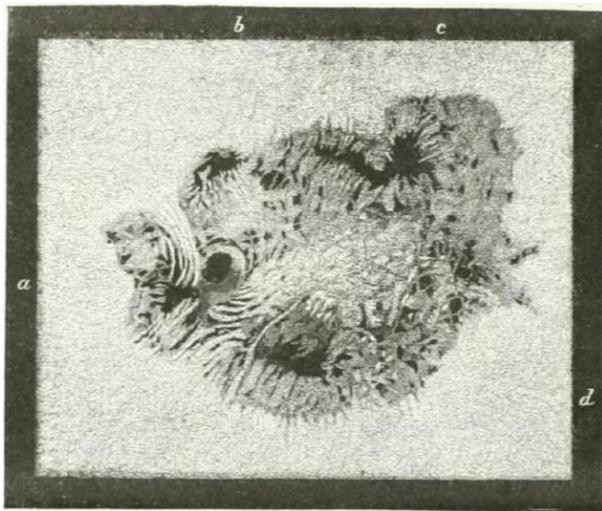


Fig. X

Questa formazione tranquilla e placida non si realizza che nei periodi in cui la calma sembra che regni nell'atmosfera solare. In generale però, il suo sviluppo è più tumultuoso e più complesso. Ne diamo alcuni esempi soltanto; ma potremmo moltiplicarli all'infinito, e gli

osservatori, che vorranno applicarsi a questo genere di ricerche, non tarderanno a trovarne essi stessi un grandissimo numero, tutti capricciosissimi e differentissimi gli uni dagli altri.

Sceghieremo, per primo esempio, la macchia che comparve il 30 luglio 1865. Il 28 luglio, non si scorgeva in quel punto niente di straordinario, né pori, né facole. Il 29 vi erano semplicemente tre punti neri. Il 30, a ore 10½, fummo sorpresi di trovare una macchia enorme, corrispondente quasi al centro del disco. Il diametro medio della parte turbata era di 76 secondi, cioè circa quattro volte e mezzo il diametro della Terra. (fig. 10) Nel centro, scorgevamo una massa di materia luminosa che sembrava muoversi a turbine e intorno alla quale eransi prodotte numerose aperture. In mezzo a questo caos, potevansi distinguere quattro centri principali di movimento. A sinistra, in a, presentavasi una vasta apertura: attorno ad essa delle lingue di fuoco agitavansi in differenti sensi, e in mezzo a quelle lingue, distinguevansi nettamente dei veli per metà luminosi, che circondavano una cavità più nera. Al di sotto, in b, trovavasi un secondo centro, più piccolo del primo, il cui orlo superiore era nettamente tagliato; ma che nella parte inferiore, aveva un gran numero di piccole lingue di fuoco, analoghe alle precedenti. A dritta, in c, una larga spaccatura presentava rozzamente, la forma di un S; ed era sparsa di lingue di fuoco e di linee luminose, staccate. Finalmente, dalla parte inferiore, al livello del punto d, si vedeva un'altra spaccatura allungata e ricurva, che presentava all'occhio un disordine impossibile a descriversi.

Fra queste quattro cavità, eravi un ammasso di facole e di materia luminosa, che presentava l'aspetto di una massa in ebollizione. Tutto questo insieme era animato da movimenti disordinati ed estremamente rapidi. Se ne fece il disegno al più presto possibile; ma non era ancora terminato, che la prima parte aveva cambiato completamente di forma. La sera, si fece un secondo disegno; ma non somigliava al primo, che per il carattere fondamentale: al centro, una materia fotosferica agitattissima; intorno una corona di voragini spalancate, quattro delle quali, le più notevoli, sussistevano ancora, occupando sensibilmente il medesimo posto.

L'indomani l'aspetto era completamente cambiato. La (fig. 11) dà un'idea della nuova disposizione.

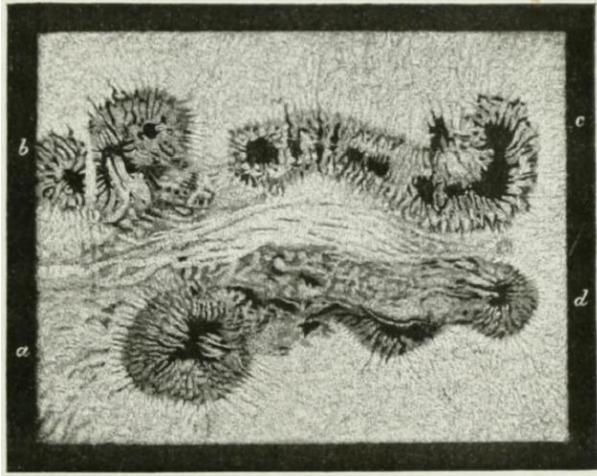


Fig. XI

Si riconoscono ancora i quattro centri principali; ma sono come allineati a due a due, e riuniti da spaccature sinuose. La cavità *b* è già ben marcata, e separata dalla spaccatura, maggiore per mezzo di un istmo composto di materia fotosferica allo stato normale. I due punti inferiori, *a* e *d*, sono ancora riuniti; ma meglio disegnati; la massa, intermediaria e come stirata; e il suo aspetto richiama quello di un fiocco di cotone cardato, che si allungasse, tirandolo dalle due estremità. Questo paragone è il solo che possa esprimere le apparenze, che abbiamo procurato di riprodurre disegno. In 24 ore, le dimensioni eransi notevolmente modificate, e la lunghezza quasi raddoppiata: essa era di 147 secondi. I giorni seguenti, la massa che separava le quattro aperture, si trasformò in una quasi penombra, in cui vedevansi sparsi dei granelli luminosi.

Ci duole di non poter dar qui la serie completa dei disegni che abbiamo eseguiti, giorno per giorno, con molta cura, ma torneremo più tardi sopra alcuni particolari interessanti e molto istruttivi. Due parole solamente, per terminare la storia di questa macchia. I centri s'isolarono e si pronunziarono sempre maggiormente; l'intervallo che li separava, restò coperto di piccole macchie isolate. Il 27 agosto, cioè dopo una rotazione completa del Sole, la grande apertura in forma di S, sussisteva ancora al punto *c*; i centri *a* e *b* erano ancora nettamente disegnati nella parte anteriore. Sembra che quel giorno, vi fosse stata una recrudescenza nella perturbazione; fra i centri *a* e *b* e i

due altri e e d, eravi una distanza di molti minuti.

Il 17 settembre, dopo una nuova rotazione, vedevansi semplicemente dei pori e delle facole. Finalmente, dopo una terza rotazione, non restava più traccia di questa immensa perturbazione, che aveva agitato l'atmosfera solare.

Citiamo ancora un esempio. Il 29 maggio 1865, abbiamo osservato una macchia, le cui dimensioni non avevano niente di straordinario: misurava circa 50 secondi. Essa presentava, disposti attorno ad una massa centrale, un gran numero di orifizi separati gli uni dagli altri per mezzo di piccoli fili luminosi, la cui disposizione rassomigliava a quella dei raggi di una ruota che partendosi dall'asse si dirigano verso la circonferenza.

Quei nuclei erano seminati di veli e di piccoli granelli staccati, alcuni dei quali disposti a spirale. La sera alcuni raggi erano spariti, e la spirale era diretta in senso contrario.

Il 30 non restavano che tre raggi. Il 31, non vi era più materia fotosferica al centro. Ne rimanevano soltanto alcune liste ricurve in forma di anse, che non riunivansi al centro.

Nei giorni seguenti, la massa si divise, e il 3 giugno, eransi formate definitivamente due macchie isolate, che avevano forme arrotondate, ma poco regolari. Questi fenomeni sono interessantissimi, e noi possiamo già trarne una conseguenza, cioè che la forma rotonda è per così dire la forma normale, a cui per vengono tutte le macchie, quando sono completamente formate. Dopo esser passate per questa forma, esse sono invase da fili brillanti che chiamansi ponti, e dalla materia luminosa, che parte dagli orli e gettasi al centro. Però questo fenomeno è assai complicato: basti a noi, in questo momento, indicarlo, riservandoci di studiarlo minutamente più tardi.

La descrizione letta poco avanti, mostra che il fenomeno delle macchie non è puramente superficiale: esso ha la sua sede nelle profondità della massa solare, che commuove e sconvolge in un'estensione talvolta considerevolissima. Vedremo alcuni di questi movimenti estendersi quasi ad un quarto del diametro del disco solare!

Tutte le perturbazioni non producono il medesimo effetto, e possono talvolta manifestare la loro esistenza con semplici facole. Le macchie non sono dunque che le conseguenze di una forte agitazione della materia che compone il Sole, e se noi vogliamo trovare la causa di queste crisi, bisogna cominciare dallo studiare il fenomeno in se stesso, e le leggi che presiedono alle sue manifestazioni.

### **§ III. Le macchie sono cavità.**

È circa un secolo che Wilson, con osservazioni ben dirette e bene interpretate, fece conoscere la vera natura dalle macchie, mostrando che esse sono dovute a dei vuoti, di cui egli poté anche misurare la profondità. Egli rese conto di queste osservazioni nelle *Transactions philosophiques* di Londra, tomo LXIV, anno 1774.

Il 22 novembre 1769, il dottor Wilson osservò sul disco solare, una bella macchia rotonda, contornata di una penombra egualmente circolare, concentrica al nucleo. Egli seguì questa macchia fino al suo dileguarsi, e notò ben presto che la penombra cessava di esser simmetrica. La parte volta verso il centro del Sole, divenne sempre meno larga, e incominciò a sparire completamente, mentre la parte opposta conservava quasi le medesime dimensioni.

Rigorosamente parlando, questi cambiamenti potevano non essere che apparenze. Le macchie sono così capricciose nelle loro variazioni, che nessuna teoria può fondarsi sopra un fatto isolato. Tuttavia Wilson aveva supposto là dentro qualche gran legge della natura, e, per non essere tratto in errore, attese il ritorno della medesima macchia, che ricomparve infatti, al termine di 14 giorni, sull'orlo orientale. Egli osservò allora di nuovo il medesimo fenomeno, le medesime fasi si riprodussero, dall'orlo del disco solare fino al suo centro, dove la penombra si mostrò di nuovo simmetrica in rapporto al contorno del nucleo.

Ormai il dubbio non era più possibile: la macchia aveva sensibilmente conservato la medesima forma nel suo movimento, e i cambiamenti osservati erano pure apparenze, risultanti da un effetto di prospettiva, facilissimo a spiegarsi. Sia *abcd* (fig. 12) una cavità avente la forma di un tronco di cono, *ab* e *bc* i diametri delle due basi.

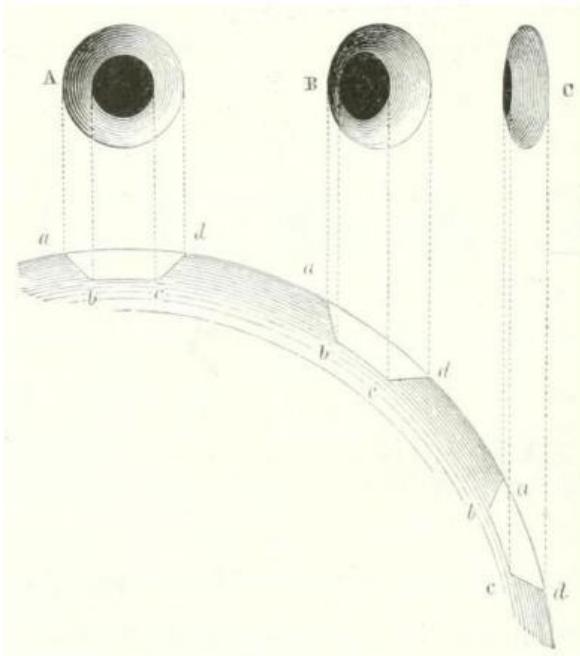


Fig. XII

Vista in una direzione perpendicolare a  $ad$ , questa cavità presenterà un contorno simmetrico  $A$ ; ma se si riguarda obliquamente, come in  $B$  il lato  $ab$  si restringerà nella proiezione, allargandosi un poco il lato  $cd$ , o restando sensibilmente costante, se la cavità è poco profonda. Finalmente, aumentando l'obliquità, l'orlo  $cb$  si proietterà sul fondo  $bc$ , come si vede in  $C$ , e potrà anche ricoprirlo completamente. Queste differenti fasi saranno tanto più sensibili, quanto più la cavità sarà profonda; ma se essa è molto superficiale, il fondo non andrà a scomparire che in forza di una obliquità molto grande, ciò che nel Sole non avrà luogo che in sull'orlo. Allora l'osservazione sarà difficilissima, ed esigerà molto buoni istrumenti. Si comprende tuttavia che sia possibile, e se ben fatta, potrà servire a determinare quanto siano profonde queste cavità, sulle dimensioni relative della penombra e il momento in cui essa tocca il nucleo.

Sia  $CS$  (fig. 13) il raggio visuale diretto verso il centro del Sole;  $Oab$  il raggio che rasenti al tempo stesso l'orlo della cavità e quello del nucleo, al momento in cui la penombra sta per scomparire;  $CZ$  una

retta, che passi per il centro del Sole, e per l'orlo esteriore della penombra. Si può sempre conoscere l'angolo  $SCZ$ , e dedurne il valore dell'angolo  $bae$ , che ne è il complemento. Quando siasi misurata la larghezza della penombra  $ae$ , il piccolo triangolo  $abe$  farà conoscere la profondità  $be$  della macchia.

Wilson trovò per tal modo che questa profondità non eguaglia il raggio della Terra.

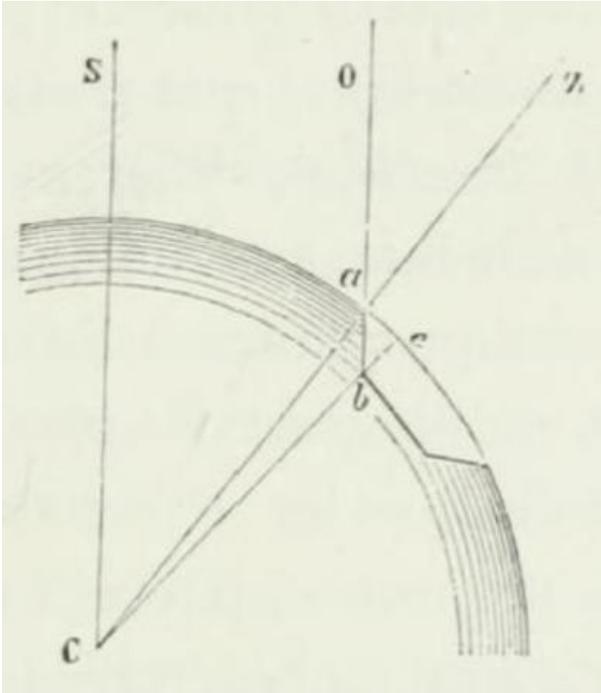


Fig. XIII

Tutti gli astronomi posteriori a Wilson hanno ripetuto queste osservazioni con eccellenti istrumenti, e sopra un grandissimo numero di macchie. Herschel ne parla sovente, e noi abbiamo avuto, come molti astronomi che vivono tuttora, occasione di confermare questa scoperta colle nostre proprie osservazioni. I risultati numerici che abbiamo trovato, come quelli del Signor Tacchini, differiscono appena da quelli di Wilson.

Il Sig. Warren de la Rue, astronomo inglese, discutendo le osservazioni fotografiche fatte a Kew, ha trovato che sopra 89

macchie, 72 danno dei risultati conformi alla idee di Wilson, mentre le altre 17 ne danno de' differenti.

Questa proporzione non ha nulla di strano, quando si pensi alle variazioni considerevoli che le macchie subiscono realmente nelle loro forme. Il Signor de la Rue ha immaginato un mezzo assai semplice per mostrare che le macchie sono cavità.

Si prendono due fotografie del Sole, fatte in due punti distanti circa 15 gradi; si collocano in un stereoscopio, e si vede perfettamente la cavità interna, i cui orli sono rilevati al di sopra della fotosfera circostante, come riconosceremo più tardi. È dunque impossibile dubitare di questa struttura. Quando una macchia formata da una cavità si presenta sul contorno apparente del Sole, si dovrebbe scorgere sull'orlo del disco una incavatura tanto più facile ad osservarsi, quanto la cavità è più profonda. In realtà quest'osservazione è resa difficile da un certo numero di circostanze, e soprattutto dalla piccolezza relativa di queste cavità. Tuttavia per le macchie considerevoli, si sono potute accertare delle depressioni sensibili, e quindi la scoperta di Wilson deve essere considerata come un acquisto per la scienza. Non vi può essere difficoltà che per la maniera precisa d'interpretarla.

Wilson suppose che, essendo le macchie evidentemente delle cavità, la loro penombra fosse formata dal ciglione delle cavità stesse. Egli immaginava che la materia luminosa del Sole essendo fluida, discendesse come una lava in quella specie di voragine, i cui orli inclinati formassero la penombra. E per confermare la sua interpretazione, ricordava il fatto seguente. Il contorno della penombra è generalmente parallelo a quello del nucleo: tuttavia, qualche volta presenta all'interno degli angoli rientranti, che corrispondono a degli angoli sporgenti del contorno esteriore, come se una frana del ciglione avesse fatto cadere nella voragine una parte della materia luminosa.

Quest'osservazione delicata di Wilson è esatta, e viene spesso verificata. Però non si può ammettere che la sola inclinazione del ciglione basti a spiegare la penombra.

L'intensità luminosa della penombra è quasi la metà di quella che si osserva nel rimanente del disco. Ora una differenza così grande sarebbe appena possibile, se si trattasse di una superficie rischiarata

da un corpo estraneo. A più forte ragione è impossibile in un corpo luminoso di per se stesso.

Presto completeremo la teoria di Wilson, e vedremo che poco vi mancava. Gli fu impossibile, coi suoi strumenti, studiare la struttura della penombra, e da questo appunto dipendeva la soluzione del problema.

#### **§ IV. *Struttura delle macchie.***

Abbiamo veduto che la forma delle macchie è variabilissima. In generale, esse vanno a terminare rotonde; ma è, per così dire, una forma limite, che non conservano a lungo. Ben presto si restringono, riprendono l'apparenza di pori, e non tardano a chiudersi completamente. Prima di sparire, alcune si dividono, ed allora si osserva spesso una recrudescenza d'azione, che allarga l'apertura, o ne forma in prossimità qualche altra. Entriamo nell'esame particolareggiato di questi fenomeni, e per comprenderne il meccanismo, studiamo innanzi tutto la struttura interiore.

Cominciamo dal periodo di tranquillità. Allora le macchie presentano la figura tonda od ovale, che abbiamo già indicata. Faremo qui alcune osservazioni:

1) La penombra ha una larghezza quasi uguale al terzo della macchia; ma è lungi dall'essere uniforme nella sua struttura, e dall'avere il suo contorno esteriore parallelo a quello del nucleo, come mostrano i disegni che trovansi nella maggior parte dei libri.

Questa penombra è tutta a raggi, ma i raggi hanno delle forme irregolari e, alcuni somigliano a correnti sinuose e vanno allargandosi a misura che si allontanano dal centro. Sono, per la maggior parte, composte di foglie certi nodi allungati, posti l'uno di seguito all'altro, in modo da simulare una corrente quasi continua. Questa struttura raggiante della penombra è costantissima, ed era stata già notata da Capocci, da Pastoro e da sir John Herschel. L'osservazione esige talvolta uno strumento potente a larga apertura; però, quando l'aria è calma, si vede d'ordinario senza difficoltà;

2) Queste correnti sono meno condensate, meno luminose, e sembrano meno spesse nella regione esteriore della penombra, al punto dove si staccano dalla fotosfera; mentre, in vicinanza del

nucleo, si stringono, si condensano e diventano più brillanti; donde risulta che la parte interiore è notabilmente più illuminata. Questa regione raggiunge talvolta un tale splendore che si può paragonarla alla fotosfera; e la macchia sembra allora formata di due anelli concentrici egualmente brillanti. Non è questo un effetto di contrasto, ma una condensazione reale della materia luminosa. Questo fatto è importantissimo, e i fisici non l'hanno notato abbastanza, quantunque gli osservatori l'abbiano esattamente rappresentato nei loro disegni. Noi ne troviamo un 'altro esempio nella macchia del 16 luglio 1866;

3) Il contorno della penombra è circondato da un anello più brillante del resto della fotosfera, e questo fenomeno già molto sensibile al centro del disco solare, quando si osserva con un elioscopio graduato, diviene estremamente rimarcabile allorché le macchie si avvicinano all'orlo. Si vede allora una specie di corona luminosa dalla quale, ordinariamente, partono delle ramificazioni irregolarissime, che rassombrano a vere prominente, e formano una specie di cercine ben disegnato. Una di queste macchie disegnata a Palermo, dal. Sig. Tacchini, il 3 dicembre del 1865, rassombrano, nei suoi particolari, ad un cratere lunare; ed è perciò che chiameremo *crateri* queste macchie rotonde, senza tuttavia annettervi, pel momento, alcuna idea che, richiami l'eruzioni vulcaniche.

Il 14 marzo 1866, una gran macchia rotonda avvicinavasi all'orlo. Era circondata da una bella facola donde partivano molte ramificazioni raggianti, due delle quali formavano quasi un secondo cratere. Quando quelle due ramificazioni furono sull'orlo del Sole, videsi nettamente una prominente di circa un secondo, disegnarsi sul contorno del disco. Il medesimo fenomeno si ripete il 29 giugno seguente.

È dunque impossibile dubitare che queste facole, le quali frequentemente si vedono intorno alle macchie, specialmente quando trovansi in vicinanza dell'orlo, siano vere prominente. All'orlo interno della penombra, la testa della corrente è d'ordinario proiettata sul fondo nero del nucleo; ma spesso vi hanno de' veli che vi passano sopra, e coprono una parte del nucleo stesso. Però nella parte più lontana dal nucleo, le correnti composte di granelli luminosi, si disegnano sopra un fondo velato e rischiarato per metà.

Si vedono egualmente questi granelli isolati e staccati sul fondo nero del nucleo. Quei veli si trovano pure nel centro *a* della gran macchia osservata il 30 luglio 1865 (fig. 10). Le correnti composte di granelli o di foglie che invadono il centro, non tardano a dissolversi: bastano poche ore, ed anche pochi minuti. Così, malgrado questo affluire continuo di materia luminosa, il nucleo resta sempre nero, e persiste lunghissimo tempo.

Il fenomeno del dissolversi delle foglie è assai frequente, e noi potremmo darne luminosi esempi. Del resto, non è speciale alle foglie che compongono le correnti; ma ha luogo talvolta per una gran parte della mossa circostante. Vi è poi un fatto che prova una certa forza di attrazione, esercitata dalle macchie, ed è l'assorbimento delle piccole, fatto dalle grandi. Si vedono a poco a poco avvicinarsi alla cavità principale, in cui presto spariscono. Questo fenomeno ha alcuni rapporti con quello del movimento proprio delle macchie, di cui parleremo più tardi.

I crateri presentano qualche volta nel loro interno, un movimento turbinoso, rapidissimo, simile a quello che si scorge al punto *a* della macchia del 30 luglio 1865, (fig. 10). Questo movimento è pronunziatissimo in una macchia del 5 maggio 1854, che osservammo a Roma, mentre il Signor Fearnely l'osservava a Cristianità. Vedevasi un gran numero di fiamme a spirali roteare nel suo nucleo, e al termine di due ore, erano completamente disciolte.

Una macchia fu osservata il 25 settembre 1865, nella quale le correnti mostravano, con la loro disposizione, di essere animate da un movimento rotatorio, pronunziatissimo; ma in una parte della penombra soltanto, perché, in tutta la parte a destra, erano dirette come d'ordinario, in modo da convergere al centro. In realtà questi vortici non si osservano che in sul principio e nel periodo di formazione, come abbiamo già notato a proposito della macchia del 30 luglio 1865. Si è creduto spesso vedere dei vortici in fenomeni, che sono semplici cangiamenti di forma, senza alcun movimento di rotazione.

Nella figura che della macchia del 25 settembre 1865 fu fatta trovasi la struttura, che l'astronomo Dawes ha chiamata *Tatchedstraws*, copertura di paglia, a causa dei fasci di filetti paralleli, che rappresentano molto bene un tetto di capanna. Questa similitudine

non è delle più felici: però esprime assai bene la disposizione dei fili. In generale sono un poco tortuosi, rigonfi ad una estremità, in forma di clava, o piuttosto come correnti di lava, ritardate nel loro movimento dalla resistenza del mezzo che le circonda. Abbiamo cercato di determinare lo spessore di questi fili, ed abbiamo trovato che l'estremità rigonfia ha una larghezza di  $1/2$  o  $1/3$  di secondo, ciò che equivale a 200, o 300 chilometri. Il resto dello stelo può avere da 100 a 200 chilometri di larghezza.

È da notarsi che nella macchia del 25 settembre 1865, fu osservata una specie di coda, composta di una quantità di piccole macchie irregolari, miste a materia luminosa ed irregolarmente disposte nelle penombra. Queste code sono frequentissime, e si trovano sempre in ciò che noi chiameremo la parte posteriore della macchia, cioè nella parte che si trova indietro, in rapporto al movimento di rotazione del Sole.

Talvolta il nucleo si prolunga nella parte posteriore in modo notevole ed eccezionale. Ordinariamente esso è chiuso; ma in addietro si vede sempre una coda composta ora di piccole macchie isolate, ora di facole. Il Sig. de la Rue ha esaminato 1137 macchie fotografate a Kew; 584 presentavano le facole a sinistra, cioè nella parte posteriore, 508 avevano le facole regolarmente disposte nel loro contorno: 45 solamente avevano una specie di coda verso la dritta; cioè nella parte anteriore.

Questa disposizione non è certamente accidentale. Vedremo che le macchie hanno una tendenza pronunziata a spingersi in avanti, nel senso della rotazione del Sole. Le facole quindi corrisponderebbero alla regione sconvolta, che la macchia ha abbandonata, e che si trova alla sua sinistra.

L'estremità dei fili non è spesso solamente rigonfia, ma è anche leggermente ricurva in forma di uncino, ciò che sembra confermare l'idea di una resistenza al movimento.

Il nucleo è coperto di un velo assai sensibile; che lascia una traccia nera dalla parte della coda; mentre una parte della regione anteriore è coperta di veli rosa. Quest'insieme fa sì che la figura presenta molto bene l'aspetto di una torpedine.

Quando la macchia del 30 luglio fu arrivata presso l'orlo solare, noi

la sorvegliammo con cura ma la prima parte disparve la sera del 5 agosto, e l'aria era allora così agitata, che ci fu impossibile osservar nulla. L'indomani l'aria era calma, e il cielo perfettamente puro: la macchia fu disegnata simultaneamente da tre osservatori. Il Signor Tacchini di Palermo era allora al nostro osservatorio, e fece egli stesso il disegno.

Erano le 9: uno dei *crateri* era presso l'orlo, e vedevasi nettamente il suo contorno formare una prominenza al disopra del disco solare, lasciando due incavature, una da ciascun lato. Da parte vedevasi una vasta facola. Questa porzione del contorno era depressa al disotto della superficie generale del Sole, in una regione, dove poco tempo avanti distinguevasi una vasta penombra.

Alle 10 e 20 minuti il cratere era sensibilmente ristretto e presentava molte punte acutissime. Se ne distingueva una, che tutti gli osservatori notarono a causa delle sue dimensioni e della sua forma ricurva.

Alle 10 e 32 l'interno del cratere era ridotto ad una linea sottilissima, che disparve alle 11: il contorno del Sole conservava ancora la sua struttura addentellata.

L'insieme di questi fenomeni ricorda perfettamente quelli che presenta la Luna, quando è quasi piena, e un cratere si presenta all'orlo del suo disco. Dobbiamo riconoscere che raramente si trovano circostanze favorevoli a simili osservazioni, perché per ottenere la depressione di un secondo sul contorno del disco, è necessaria una macchia che abbia un'ampiezza eliocentrica di 3 gradi, e una differenza di livello di 720 chilometri. Perciò quando le macchie non sono vastissime, è impossibile veder nulla; la depressione rimane coperta dai suoi propri orli, e le ondulazioni del lembo solare, e l'indecisione dei suoi contorni mascherano i particolari delle prominenze ordinarie. Per la stessa ragione, è difficile rilevare sul contorno della Luna, delle scabrosità, che sono relativamente molto più considerevoli.

I particolari in cui siamo entrati, ci conducono ad ammettere come dimostrate le proposizioni seguenti:

1° Le macchie sono cavità, o lacune dovute a degli strappi, che si producono nella fotosfera. Questi strappi da prima irregolari,

finiscono col prendere una forma rotonda e regolare;

2° Il centro di queste cavità è la sede di una forza d'aspirazione, che attira le masse circostanti, le assorbe e le dissolve. Per spiegare questo fenomeno importante, si possono ammettere due ipotesi: 1a L'azione di assorbimento sarebbe prodotta da una corrente di gas, uscente dall'interno del Sole, e più calda della fotosfera. L'aspirazione laterale della corrente basterebbe per determinare il richiamo delle masse vicine, e siccome le materie fotosferiche sono in uno stato di vapori condensati, così entrando in quella corrente, la cui temperatura è più alta, esse riprenderebbero il loro stato di fluido elastico, e diverrebbero invisibili, facendosi trasparenti. 2a Potrebbe ammettersi che il nucleo della macchia è analogo ai nostri cicloni: vi sarebbero al centro un abbassamento di temperatura, e la materia fotosferica perderebbe il suo splendore nel raffreddarsi, e così diventerebbe invisibile. Gli astronomi non sono d'accordo su questa questione, e noi non potremo giudicarla, che dopo avere studiato la distribuzione del calore nel Sole. Possiamo tuttavia fin d'ora, considerare la prima opinione come la più probabile: il modo di formazione delle macchie sembra indicare un'eruzione dell'interno verso l'esterno; di più, come ammettere che l'interno del Sole possa contenere dei gas più freddi della fotosfera? Come ammettere un abbassamento di temperature, capace di rendere invisibili masse così brillanti e così considerevoli?

Però non bisogna credere che tutte le macchie che appaiono rotonde con un debole ingrandimento, abbiano sempre una struttura così semplice come quella di cui abbiamo parlato. La gran macchia del 30 luglio, presentava il 23 agosto 1865, due cavità che sembravano rotonde ambedue; ma che avevano strutture ben differenti. In una, la penombra era piena di una quantità di frammenti ricurvi, nell'altra la penombra era sostituita, in un lato, da una faccia enorme.

Dobbiamo aggiungere tuttavia che questa fase appartiene al periodo in cui la macchia era sul punto di chiudersi, e la regolarità del fenomeno non sussisteva più. Bisogna ben distinguere il periodo finale dal periodo di formazione. Quando una macchia è sul punto di sparire, la materia luminosa ch'essa attira, non è più diretta regolarmente verso il centro, e sembra che si precipiti confusamente nella cavità per colmarla.

**§ V. Nuovi particolari relativi alle macchie. Veli rosei all'interno.**

I fenomeni che abbiamo studiati, ci hanno mostrato che la profondità delle cavità fotosferiche, che formano le macchie, è relativamente poco considerevole. Secondo le misure di Wilson, e quelle che abbiamo fatto noi stessi, essa non sorpasserebbe la lunghezza del raggio terrestre, cioè 6377 chilometri. Tuttavia questi risultati appaiono assai incerti: da un lato forse sono esagerati, perché la cavità, la cui profondità si misura, trovasi aumentata dal cerchio di facole, che la circonda, e da un'altra parte, forse son troppo deboli, perché noi non possiamo né misurare, né valutare l'elevazione dello strato fotosferico, che forma il contorno del nucleo, e limita internamente la penombra.

Proveremo più oltre che queste cavità non sono vuote, ma che sono piene di vapori, i quali, assorbendo energicamente i raggi luminosi, emanati dal fondo della macchia stessa, producono quell'oscurità che costituisce il nucleo. Per adesso, contentiamoci di studiare le loro forme in particolare.

Se la fotosfera ha una costituzione analoga a quella delle nubi, se ella consiste, come diceva Wilson, in una nebbia luminosa (e noi vedremo che le scoperte moderne non si oppongono a questa maniera di giudicare) dobbiamo aspettarci di trovare nella sua struttura tutti gli aspetti così molteplici, che presentano le nubi e gli strappi, a cui sono dovute le macchie, dovranno presentare le forme più varie. Queste deduzioni sono confermate dall'osservazione, come ci prepariamo a dimostrare. I più antichi osservatori avevano già notato che le macchie, che si formano molto prontamente, spariscono in pochissimo tempo. Alcune hanno probabilmente una causa affatto superficiale, mentre altre sono dovute a movimenti che provengono dalle profondità del Sole. Queste ultime durano più a lungo, ma vanno soggette a grandi variazioni, e si possono accertare dei momenti di recrudescenza nell'azione che le produce. Nel 1866, abbiamo osservato non poche macchie che hanno fatto sino 3 e 4 rivoluzioni; e molte volte, al momento in cui erano sul punto di sparire, abbiamo verificato questa recrudescenza nel modo più

evidente.

Quasi sempre questo fenomeno è accompagnato da un cambiamento di posizione. Talvolta ancora, abbiamo veduto una macchia formarsi nel luogo, in cui la prima era sparita qualche tempo avanti. Il Sig. Carrington ha riconosciuto vero il medesimo fatto. Assai di frequente le macchie sembrano dividersi. Questa divisione può non essere che apparente, formandosi un nuovo nucleo presso l'antico, e separandosene di più in più per un movimento rapido verso la parte anteriore; ma spesso pure la divisione è reale, ed allora essa si forma molto semplicemente: la materia luminosa si precipita dagli orli, invade l'interno, forma dei ponti, e divide il nucleo in più parti. Questi ponti hanno uno splendore assai vivo e paragonabile a quello della fotosfera, La macchia del 25 settembre mostrava una di queste linee luminose, che la separava in due parti: una era composta da una quantità di piccoli nuclei, l'altra formava una sola massa nera senza divisione.

Due giorni dopo, questa linea era più grossa, le piccole macchie erano disciolte, e vi erano allora due nuclei, Quattro giorni più tardi, il ponte disparve, i due nuclei si confusero, e non restò che una macchia semplice.

Gli antichi attribuivano questo fenomeno alla rottura delle croste solide che, secondo essi, formavano le macchie. Per sostenere una simile teoria, bisognava ignorare la vera struttura della fotosfera, e quella delle parti interne delle macchie. La divisione dei nuclei precede ordinariamente la loro dissoluzione e la loro sparizione. Ma oltre la divisione propriamente detta, dovuta a dei ponti, la cui materia possiede uno splendore paragonabile a quello della fotosfera, presentasi di frequente un altro fenomeno, che abbiamo già avuto occasione di notare, che domanda uno studio speciale.

Intendiamo parlare dei veli, frequentemente colorati, che appaiono nell'interno delle macchie. Essi sono frequenti molto, e se dagli osservatori che ci hanno preceduti, non sono stati notati, ne hanno colpa i vetri colorati che adopravano e che mascherano completamente il colore degli oggetti. Però con un elioscopio polarizzatore abbiamo quasi sempre potuto verificare la loro esistenza nelle grandi macchie, specialmente sul loro periodo di formazione. Ma ciò che più importa è di studiare la loro origine e il

loro modo di svilupparsi. Nel mese di febbraio 1866, apparve una macchia enorme, che abbiamo seguita con molta cura. Un'agitazione considerevole si manifestò dapprima in una vasta regione, che occupava in longitudine  $5/22$ , cioè un po' meno del quarto del diametro solare, e quindi il fenomeno era visibile a occhio nudo. Si sarebbe detto un immenso crepaccio, che presentasse le forme più bizzarre, fra le quali sembrava dominare una curva in forma di S. In mezzo a questo caos, osservammo una regione in cui apparivano grandi masse di veli rossi. La parte più notevole era un ponte in forma di arco o di ferro da cavallo, composto di una materia estremamente brillante, e all'interno, una specie di promontorio luminoso, simile a una facola. L'indomani 17, trovammo l'arco rotto: il tronco era terminato in una punta sottile e affilata; la porzione scomparsa era sostituita da un velo rosso, e altri veli, rossi e bianchi, coprivano il resto della macchia. Dall'altra parte del nucleo, la grande corrente che esisteva il giorno innanzi, era quasi completamente sparita, ed era stata surrogata da una traccia rossa. Avevamo appena finito il disegno, quando l'uncino che trovavasi a sinistra, sparì, la base sola era ancora visibile, e al resto era subentrato un velo di tinta rosea. Una domanda sorgeva allora spontaneamente. V'è in questi fenomeni una trasformazione reale di archi brillanti in veli rossi, oppure bisogna vedervi una sovrapposizione puramente accidentale? Per risolvere questo importante quesito, abbiamo per lungo tempo, e con molta cura, sorvegliato e studiato le macchie, ed abbiamo potuto assicurarci che le correnti luminose si trasformano talvolta in veli rosei.

Il 23 gennaio 1866, esaminavamo una macchia in forma di  $\infty$ : due getti di lingue luminose lanciavansi da una parte e dall'altra, e sembravano doverla dividere con un ponte.

Uno di questi fasci di fiamme fu visto a 10 ore e 45. Cinquanta minuti più tardi, le lingue di fuoco eransi affilate alla loro estremità. Dopo 10 minuti, rimettendo l'occhio al canocchiale, si videro trasformate in veli rosei. Finalmente i veli si dissiparono; e ad 1 ora e 45 minuti non restava che un fascio di fiamme più corte che sul principio. Non potrebbesi dunque dubitare della realtà di questa trasformazione. Un fenomeno di tal natura non può spiegarsi con delle pretese illusioni, prodotte dagli elioscopi, perché noi dobbiamo queste scoperte agli elioscopi polarizzatori, che non potrebbero

colorire una parte del campo, senza colorirlo intieramente. Di più, bisognerebbe essere molto cattivo osservatore per confondere, come è stato preteso che noi facessimo, i colori che presentano i veli con le apparenze che resulterebbero da un difetto di acromatismo del canocchiale.

Terminiamo citando un'ultima osservazione. Il 23 settembre 1866, il Sole che trovavasi in un periodo di tranquillità, presentava una delle più belle macchie nucleali, che abbiamo mai viste. Il suo nucleo, osservato con un debole ingrandimento, rassomigliava ad un ovale, o piuttosto ad un rombo, i cui angoli fossero smussati. Vi si riconosceva la struttura a raggi, che possiede ordinariamente la penombra. Il mezzo era tutto pieno di veli rosei e bianchi, che s'incrociavano in ogni direzione. Se il colorito avesse dovuto attribuirsi ad un difetto dell'apparecchio come spiegare che esso fosse visibile nella parte centrale, dove le tinte sono più deboli, e non nei punti dove la luce è più viva? Arriviamo dunque a questa conseguenza, che sulla superficie del Sole vi sono degli ammassi di veli rosei, analoghi alle fiamme che si scorgono intorno al disco della Luna, durante le eclissi solari, e che conosconsi col nome di *protuberanze rosse*. Di più, questi veli ci sembrano analoghi ai *cirri*, mentre i granelli possono essere paragonati a dei *cumuli*. Niente ci prova che questi cirri formino uno strato continuo, più basso dei cumuli: noi vediamo queste masse mescolate le une colle altre, ed è ben difficile determinare la loro posizione relativa. Possiamo soltanto affermare che le penombre non sono esclusivamente composte di veli, come lo supponeva Herschel; ma che contengono ancora dei granelli e delle correnti che *sembrano* sovrapposte ai veli.

I ponti si presentano talvolta quasi archi sospesi al di sopra del nucleo, come videsi in una macchia osservata il 14 aprile 1869, a ore 10. Il ponte principale era formato da una doppia fila di granelli; l'altro sembrava sospeso al di sopra della cavità. Però non può provarsi che questa differenza di livello esista proprio realmente. Certo è che i veli non formano, come supponeva anche W. Herschel, uno strato continuo che si strappa sempre parallelamente agli strappi della fotosfera, perché abbiamo veduto assai di frequente lingue di fuoco proiettarsi molto al di là dei veli, anche quando questi formavano il fondo della penombra. Devesi dunque respingere l'idea di un doppio strato distinto, quantunque l'esistenza delle due specie di nubi sia perfettamente accertata.

## § VI. - *Conclusioni relative alla struttura delle macchie.*

Stando a ciò che abbiamo veduto, le macchie sono semplicemente delle soluzioni di continuità in quello strato di nebbie, o di vapori luminosi che formano la fotosfera. Queste nubi differiscono dalle nostre in due punti: sono composte non di vapore acqueo, ma di sostanze metalliche; e, grazie alla loro temperatura elevata, sono luminose di per se stesse. Quanto all'aspetto esteriore, è il medesimo affatto: la Terra intieramente coperta di nubi offrirebbe ad uno spettatore, collocato al di fuori di essa, una struttura bernoccoluta analoga a quella del Sole, e un fenomeno consimile, si può spesso osservare dalla sommità delle montagne. In molte circostanze, ma soprattutto nelle burrasche, si vedono, come nel Sole, delle nubi in forma di cumuli, che si allungano verticalmente, o si stendono orizzontalmente, seguendo la direzione delle forze che agiscono sopra di loro.

Spesso anche si trasformano in cirri o veli vaporosi, e ciò completa l'analogia. Questa teoria spiega, senza ricorrere a velocità favolose, la rapidità con la quale avvengono certi cambiamenti di forma nelle macchie. Lo spostamento apparente di una nube può spiegarsi, senza supporre che la materia abbia percorso lo stesso spazio del contorno della nube medesima. Basta a ciò un cambiamento di temperatura, che produca da un lato la condensazione, e dall'altro la dissoluzione del vapore sopra una superficie molto estesa.

E perciò che, in tempo di calma, vediamo il cielo coprirsi quasi istantaneamente di nubi, ovvero rischiararsi con la stessa rapidità, mentre le correnti dell'aria, hanno velocità incomparabilmente più deboli che quella del movimento apparente delle nubi. Una nube può anche sembrare immobile, malgrado un vento impetuoso, che dovrebbe trasportarla, e la spinge realmente con una grande rapidità. Ne abbiamo un esempio nelle nubi dette parassite delle nostre montagne. Traversando l'aria una regione freddissima, il suo vapore vi si condensa per dissolversi un poco più lungi, dimodoché la regione stessa è sempre piena di vapore condensato, che si rinnova a mano a mano che sparisce. Nel modo stesso, dalla stabilità di alcune macchie, non si avrebbe diritto di trarre per conclusione l'immobilità della materia solare.

Dopo i particolari, in cui siamo entrati, relativamente alla struttura

delle macchie, ci sembra impossibile di trovarne la spiegazione in un abbassamento di temperatura, bastante ad oscurare una di quelle nubi luminose. Bisognerebbe innanzi tutto, come abbiamo fatto notare, che quelle nubi fossero sempre sovrapposte due per due, in maniera che i loro contorni fossero simmetrici; ipotesi inammissibile, emessa la prima volta da Galileo, e rinnovata in questi ultimi tempi dal Signor Kirchhoff. D'altra parte, la temperatura del Sole è talmente elevata, e presto lo vedremo, che per produrre delle nubi oscure, bisognerebbe supporre un raffreddamento enorme, che nessuna circostanza potrebbe spiegare.

Le difficoltà presentate da una questione non dipendono spesso che dalla maniera con cui essa è stata formulata. Quanto a noi, ci sembra che la questione relativa alla natura delle macchie debba esser posta nel modo seguente: le macchie sono esse dovute ad materia oscura, che si diffonde al disopra della materia luminosa, ovvero la materia luminosa che invade uno spazio oscuro?

La questione posta così nettamente dev'essere risolta con l'osservazione, e con lo studio particolareggiato dei fenomeni, che presentano le penombre e le correnti fotosferiche. Ora tutti i fenomeni che abbiamo descritti, non ci sembrano spiegabili che con la seconda ipotesi.

Donde viene quello spazio oscuro? Come mai si trova nella massa incandescente del Sole?

È questa un'altra questione che discuteremo più tardi. Per il momento, ancora una volta accertiamo una cosa, che cioè nelle macchie esiste una materia luminosa, la quale si muove ed invade uno spazio meno brillante. Per sostenere il contrario, bisognerebbe rinunciare ad ogni evidenza e ad ogni analogia fisica. Si potrà, volendo, chiamare nube la parte oscura; ma non sarà meno vero che quella che cerca di penetrare in questa parte oscura è la parte luminosa. Così procedendo, noi mettiamo da banda la questione delle parole, e non resta che la questione fisica, posta assai nettamente, e risolta in parte soltanto, giacché restano indecise le questioni relative alle temperature proprie delle varie parti, e allo stato e alla natura delle sostanze, che riempiono le cavità.

Del resto, la densa nebbia che forma la fotosfera non si muove nel vuoto, e a nessuno può accadere di credere che le macchie non contengano alcuna materia ponderabile; ma esse debbono contenere

una sostanza trasparente meno fulgida della fotosfera, e di natura gassosa.

La nostra atmosfera presenterebbe il medesimo aspetto ad uno spettatore che fosse al di fuori di essa, per esempio, nella Luna. Le nubi rischiarate dal Sole, gli sembrerebbero brillanti, mentre vedrebbe delle macchie nere nei punti dove l'aria fosse trasparente.

Ancora una parola per intenderci. Noi non adoperiamo la parola *nucleo* per designare la massa interna del Sole, perché sotto la penna di Herschel, questa espressione significa una massa *solida*, e di una temperatura relativamente bassa. Niente impedirebbe tuttavia di servirsene, purché si avesse cura di porre da banda, usandone, le idee che Herschel vi annetteva, e che ormai non si possono ammettere. Così, dopo aver rimossa la questione delle parole, ci applicheremo alla soluzione dei problemi che abbiamo enunciati, ma cercheremo innanzi tutto di farci un'idea esatta dei movimenti generali, che si osservano sulla superficie del Sole.



## CAPITOLO IV MOVIMENTI PROPRI DELLE MACCHIE. ROTAZIONE DEL SOLE.

### *§ I. Importanza della questione.*

Alla fine del capitolo precedente, abbiamo accennato molte questioni che non si possono risolvere senza sapere se le macchie son fisse sul corpo solare, o se possiedono un movimento proprio di traslazione. Facil cosa è riconoscere che esse non sono assolutamente fisse, a giudicarne dalle loro trasformazioni e dalle suddivisioni di cui abbiamo dato parecchi esempi. Ma trattasi di sapere se, oltre quei movimenti accidentali, non vi è un movimento sistematico, che le trascina tutte in una direzione costante. Questo movimento proprio, se esiste, concorda col movimento di rotazione del Sole, e non potendo quest'ultimo essere studiato che per mezzo della rotazione stessa, si comprende che la questione che ci occupa, presenta una difficoltà affatto speciale.

I primi osservatori riconobbero delle ineguaglianze nel movimento delle macchie, e le valutarono dalla differente durata delle loro rivoluzioni. Secondo le osservazioni di Scheiner, quella durata variava da 25 o 27 ed anche 28 giorni. Galileo suppose che si fosse ingannato; ma neppure egli riuscì meglio in quella determinazione. Egli stabilì la rivoluzione del Sole a un mese lunare circa, calcolo ben poco preciso, di più non riconobbe l'inclinazione dell'equatore solare sull'eclittica.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Abbiamo spesso citato l'opera Scheiner come facente autorità. Questo libro è stato talmente screditato mentre viveva il suo autore, che crediamo dover qui notare l'opinione di un giudice assai competente. Lalande, nel terzo volume della sua *Astronomia* numero 3227, dice queste memorabili parole: «Comunque possa pensarsi di colui, al quale il caso ha fatto di veder le macchie per la prima volta, è certo che nessuno le osservò così bene e ne dette la teoria in modo così completo come Scheiner. La sua opera ha 774 pagine sopra questo argomento, ciò basta per dimostrare con quale assiduità

Per eliminare l'influenza del movimento proprio, non può adoperarsi che un mezzo solo: determinare la durata della rotazione solare, sul movimento di un grandissimo numero di macchie; giacché se si tien conto di una sola osservazione, i risultati conteranno necessariamente un errore eguale appunto al movimento e se si calcola la rivoluzione, tenendo conto di più osservazioni, ma in piccol numero, gli errori certamente non scompariranno giacché essi non si compensano perfettamente gli uni con gli altri che in una lunga serie.

Nel secolo passato, i geometri si sono occupati molto di determinare la rotazione solare sopra tre osservazioni di una medesima macchia; ma le loro soluzioni ingegnose ed eleganti dal punto di vista geometrico, non hanno potuto essere di alcuna autorità reale per una questione così complicata. Ciò ha fatto dire a Delambre che questo problema era più curioso che utile, e che un astronomo doveva occuparsene tutto al più una volta nella sua vita, per vedere se questa rotazione resta costante (*Astronomie* III, pag. 59). Fortunatamente il suo consiglio non è stato ascoltato, e in questi ultimi tempi, abili scienziati hanno trattato di nuovo il problema in modo più razionale, e sono riusciti ad un risultato soddisfacente.

Una delle difficoltà più serie risulta dai cambiamenti di forma, a cui van soggette le macchie. Variando il loro contorno da un giorno all'altro, non si è mai sicuri di avere sempre in mira il medesimo punto nelle osservazioni successive. Si evita in gran parte questo inconveniente, studiando di preferenza macchie rotonde, regolari e crateriformi, l'esperienza prova che esse variano poco, e che fanno di frequente più rivoluzioni consecutive. Tuttavia, anche con questa precauzione, non si è mai esenti da dubbi.

Per farsi un'idea della precisione che bisognerebbe portare in queste osservazioni, basta ricordarsi che un arco di un secondo, anche al centro del disco, corrisponde un angolo eliocentrico di 5' 37", e che questo valore aumenta a mano a mano che ci si allontana dal centro, talché presso l'orlo, un arco di un secondo corrisponde a circa tre gradi.

---

egli se ne occupò e come estese le sue ricerche. Evelio lo cita col più grande elogio: *Incomparabilis et omnigenae eruditionis... ut in omnibus palmam quasi praeripuisse dici posset.* (Selenographia pag. 82.)» È ben doloroso che non siamo riusciti a trovare i suoi manoscritti che abbiamo cercati sulla richiesta del signor Wolf di Zurigo.

Il miglior mezzo di osservazione consiste nel misurare direttamente la distanza della macchia all'orlo del disco, e in secondo luogo l'*angolo di posizione*, cioè l'angolo che forma il raggio del disco, passando per il punto osservato col circolo orario, che passa per il centro del disco medesimo.

Sia  $C$  il centro del disco (fig. 14),  $Ct$  la direzione della macchia.  $NCS$  il circolo orario condotto sul centro del Sole. L'angolo di posizione sarà  $NCt$ . Quando si conosce quest'angolo e la distanza  $Ct$ , si possono calcolare la longitudine e la latitudine eliografiche della macchia, cioè fissare la sua posizione assoluta, come si vedrebbe dal centro del Sole.

Ciò si fa con formule conosciute.

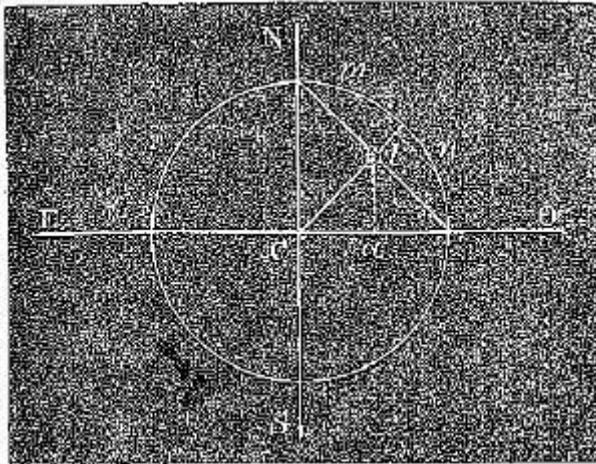


Fig. XIV

Essendo impossibile prendere esattamente la direzione del centro, si dispone il micrometro in modo che uno dei suoi fili sia perpendicolare, l'altro tangente all'orlo. Meglio è che il secondo filo s'inoltri un poco sul disco, come vedesi in  $mn$ , si giudicherà per l'eguaglianza dei due segmenti  $m$  e  $n$ , che il reticolo è convenientemente disposto. Si ottengono così dei risultati eccellenti; ma bisogna convenire che questo metodo è laborioso, e che male si presta ad una lunga serie di osservazioni. Il metodo delle proiezioni è da preferirsi; ma bisogna fare le correzioni, che abbiamo indicate nel capitolo primo. Si possono evitare proiettando il filo del reticolo, o meglio ancora proiettando, come fanno i signori Spörer e Heis, una

reticella di linee rettangolari, collocata nel fuoco stesso dell'obiettivo. In questa maniera le trasformazioni sono le stesse per l'immagine del Sole e per quella del reticolo. Il signore Carrington ha adoperato un altro metodo in una gran serie di osservazioni. Nel piano focale dell'obiettivo egli collocava due fili d'oro o meglio due fili di ragno rettangolari fra loro, e inclinati 45 gradi sul circolo orario. Poi proiettava quel reticolo in un diaframma, e osservava gl'istanti, in cui l'orlo del Sole, e le macchie venivano successivamente a traversare le proiezioni dei fili. Fatte queste osservazioni, poteva calcolare facilmente la distanza dal centro del disco e l'angolo di posizione. Però, quando le macchie sono presso all'orlo, questo metodo è assai difficile ad usarsi, e non dà risultati molto precisi.

In una serie d'osservazioni delicatissime, di cui parleremo quanto prima, abbiamo adoperato semplicemente il metodo micrometrico; ma abbiamo riscontrato che disegni eseguiti sulle proiezioni, quando si fanno loro subire le correzioni convenienti, formano dei dati assai sufficienti per i calcoli ordinari, e si può perfettamente usarli per la maggior parte delle ricerche che rimangono a farsi.

Qualunque sia il mezzo che viene usato, bisognerà sempre combinare un gran numero di osservazioni per rendere i risultati indipendenti dalle cause d'errore, che abbiamo segnalate, ciò che costituisce un lavoro molto considerevole. Il signor Carrington, dopo un esame coscienzioso della sua grande serie di osservazioni, che fu in gran parte calcolata e stampata a spese del governo inglese, concluse che, per far progredire le nostre cognizioni più di quanto egli abbia fatto nella sua opera, occorrerebbe una spesa di 5000 sterline almeno (125000 franchi).

Questo punto di vista puramente finanziario potrà sembrare che meglio si addica ad un mercante che ad uno scienziato; ma è certo, e i nostri lettori ne saranno presto convinti, che tenendo conto del lavoro e dell'assiduità che esse esigono, le ricerche relative al Sole non possono essere l'opera di un amatore né di un scienziato lasciato solo.

## **§ II. Risultati ottenuti relativamente alla rotazione del Sole.**

La determinazione della rotazione del Sole racchiude tre elementi: 1° la durata della rivoluzione; 2° la posizione dei nodi dell'equatore solare in rapporto alla linea degli equinozi; 3° l'inclinazione dell'equatore solare sul piano dell'eclittica.

Gli antichi astronomi determinavano separatamente ciascuno di questi elementi, sciogliendo osservazioni fatte in circostanze adatte. Per valutare la durata della rivoluzione, misuravasi il tempo che impiegava una macchia a tornare nel medesimo punto del disco, per esempio al centro. Questo metodo, come si capisce facilmente, non è applicabile che in un piccolissimo numero di casi. Non è possibile contentarsi di osservare il tempo che una macchia pone a passare davanti al disco, perché la sua traiettoria è divisa in parti ineguali dal contorno apparente del Sole, che chiamasi spesso *l'orizzonte delle macchie*. Dopo uno studio lungo e minuzioso, Scheiner poté valutare a 27 giorni la durata della rivoluzione sinodica. Si chiama così la rivoluzione apparente, nella quale la macchia torna al medesimo punto del disco in rapporto all'osservatore. Se ne deducono 25 giorni e  $\frac{1}{3}$  per la durata della rivoluzione siderale, ossia per il tempo impiegato da un punto del Sole a descrivere un circolo intiero.

Determinavasi la posizione del nodo coll'osservare il tempo, in cui le macchie sembrano descrivere delle rette, trovandosi allora osservatore nel piano stesso; nel quale si muovono le macchie. Scheiner riscontrò per la sua longitudine 69, o 70 gradi.

Infine, deducevasi l'inclinazione della grandezza del piccolo asse dell'ellisse che descrivono le macchie all'epoca del maximum dell'incurvatura. Scheiner avendo trovato sempre i suoi risultati compresi fra 6 e 8 gradi, adottò 7.5, per valore approssimativo.

Cassini dette dei risultati poco differenti da quelli di Scheiner, egualmente dedotti da un gran numero di osservazioni. Questi risultati presentano una grande importanza, li ricordiamo per riconoscere l'estensione delle variazioni che tali elementi hanno potuto subire. In seguito si ebbe la disgraziata idea di non servirsi che d'un piccolo numero di osservazioni, e allora le anomalie manifestaronsi in modo evidentissimo, come è facile acquistarne la

convinzione dal quadro seguente:

<i>ASTRONOMI</i>	Durata della rotazione in giorni solari medi	Inclinazione dell'equatore solare sull'eclittica	Longitudine del nodo ascendente	<i>Epoche</i>
<i>Scheiner . . .</i>	25,33	7°30'	da 69° a 70°	1675
<i>Cassini . . . .</i>	25,58	7,30	70 10'	1678
<i>Lalande . . . .</i>	25,42	7,20	78	1778
<i>Delambre . . .</i>	25,01	7,19	80 17	1775
<i>Bianchi . . . .</i>	25,35			1839
<i>Langler . . . .</i>	25,34	7,9	75 8	1840
<i>Petersen . . .</i>	»	6,51	73 29	1841
<i>Böhem . . . .</i>	25,52	6,57	76 47	1833
<i>Kysaeus . . . .</i>	25,09	6,38	76 38	1841
<i>Carrington . .</i>	»	7,15	73 40	1850
<i>Spoerer . . . .</i>	25,234	6,57	74 36	1866

*Tab. I*

Vi è fra tutti questi risultati una discordanza che colpisce. Il signor Carrington la notò, e ciò lo sospinse a fare una serie continua di osservazioni secondo il metodo che abbiamo indicato.

Prima di esporre i risultati, a cui egli pervenne, facciamo osservare che non si riscontra alcuna variazione considerevole nella posizione dell'equatore solare. Scheiner dava come posizioni del nodo ascendente 69 o 70 gradi, ciò che fa attualmente 72°55', tenendo conto della precessione degli equinozi. Questo risultato concorda in modo sufficiente con quello del signor Carrington, considerata la poca precisione delle osservazioni antiche.

Il lavoro del signor Carrington, cominciato nel novembre 1853,

continuò fino al marzo 1861. I dati dell'osservazione sono stati discussi con un'analisi saggia e minuziosa, che le dà una grandissima importanza.

Nella sua discussione, egli prendeva come punto di partenza il valore degli elementi di rotazione solare, presunto più esatto e servivase per calcolare anticipatamente le differenti posizioni che doveva occupare una medesima macchia. Determinava quindi le differenze fra le posizioni calcolate e le posizioni osservate, e queste differenze servivano a calcolare le correzioni destinate a rettificare i numeri primitivamente adottati. I risultati si pubblicarono a Londra nel 1863, in una grande opera arricchita di belle incisioni.

Il signor d'Anclam, ha fatto egualmente una lunga serie di osservazioni, ch' egli continua ancora, ed è arrivato dal canto suo, a conclusioni simili a quelle del signor Carrington.

Abbiamo così discusso un certo numero delle nostre proprie osservazioni. La nostra serie cominciata nel 1859, può far seguito a quella del signor Carrington, e noi la continuiamo tuttora.

Si hanno finalmente le fotografie di Kew, che si potranno adoperare con profitto. Però, siccome tutte queste osservazioni non sono state ancora discusse, così citeremo soltanto i risultati dei signori Carrington e Spörer.

La prima legge segnalata da questi osservatori è la conferma di un fatto già notato dagli antichi, cioè che le macchie sono rarissime al di là dei 30 gradi di latitudine eliocentrica. Nel mese di giugno 1846, il signor Peters osservò a Napoli una macchia che aveva per coordinate 134° di longitudine, e 50 gradi di latitudine Nord. Questa macchia è la più lontana dall'equatore fra quante ne sono state mai osservate. Essa possedeva un movimento proprio pronunziatissimo; ma in senso inverso dalla rotazione solare. In questo movimento essa percorreva quotidianamente - 64 minuti in longitudine e + 11 minuti in latitudine. È stato pure osservato che le macchie son rare sull'equatore, e che si mostrano in maggior quantità in due zone situate simmetricamente, al Nord e al Sud, fra il 10° e 30° grado di latitudine.

La seconda legge è più importante: «La rotazione solare non ha la medesima durata su tutti i paralleli. »

$$\begin{aligned}\xi &= 14^{\circ}25' && - 16' \sin^2 \lambda \\ \xi &= 12^{\circ} && - 186' \sin^2 \lambda \\ \xi &= 16^{\circ},8475 && - 3^{\circ},3812 (\sin \lambda + 41^{\circ}13')\end{aligned}$$

*Tab. II*

*La velocità è più grande all'equatore che al polo, e per conseguenza l'arco percorso in un giorno diventa massimo sull'equatore. Si è cercato di esprimere in un modo empirico questa rotazione diurna. Noi diamo tre formule che son dovute, la prima al signor Carrington, la seconda al signor Faye, la terza al signor Spörer. ( $\xi$  rappresenta la rotazione diurna, e  $\lambda$  la latitudine.)*

È dunque certo che la velocità angolare di rotazione non è la stessa per tutti i paralleli. Noi non conosciamo la velocità di rotazione presso i poli, e soltanto per analogia possiamo generalizzare la legge. Al di là del 50° parallelo, non sono mai state osservate macchie, e conseguentemente non si può studiare la maniera, con cui si eseguisce la rotazione di questi punti. Il solo fenomeno che potesse servire di base a questo studio, sarebbe quello delle facole; ma esse son sì variabili nelle loro forme, che non vi si può avere nessuna fiducia.

Per dare un'idea del modo con cui varia le velocità di rotazione secondo le latitudini, riprodurremo il quadro seguente, tolto dall'opera del signor Carrington, aggiungendovi un'ultima colonna estratta dalla medesima opera per i movimenti in latitudine.

<i>Latitudine delle macchie</i>	<i>Rotazione diurna in arco</i>	<i>Peso secondo il numero delle osservazioni</i>	<i>Movimenti in latitudine</i>
+ 50 N.	787	1	- 17
35	806	18	+ 14
30	824	59	+ 14
25	831	116	+ 5
20	840	151	- 1
15	851	127	- 5
10	859	142	- 12
5	863	85	+ 10
Equatore	867	- 5	- 21
- 5	865	31	- 21
10	856	218	+ 4
15	845	98	- 2
20	839	200	+ 14
25	827	75	+ 15
30	814	67	+ 6
35	805	19	- 10
40	729	2	

La seconda colonna mostra la maniera con cui varia la rotazione. La terza contiene una valutazione numerica dell'importanza che può darsi ai risultati, visto il numero delle macchie, che hanno servito a calcolarli; ed è ciò che noi esprimiamo colla parola *peso*. Questa colonna mette in evidenza le zone, in cui si producono i massimi delle macchie. Se si potesse basarsi sopra un numero così limitato di anni, potrebbesi dire che vi sono quattro zone di massimi corrispondenti alle latitudini:

+20    +10    -10    -20,

i cui massimi osservati sono

151    142,    218,    200.

È facile notare che queste posizioni corrispondano approssimativamente a quelle, in cui i movimenti in latitudine cambiano di segno. Questa coincidenza è importante, perché sembra indicare una relazione fra movimenti in latitudine e gli archi che servono di limiti alle differenti zone, in cui si producono le macchie. terzo luogo, le latitudini delle macchie sono egualmente variabili; ma la legge non è così semplice come per le longitudini. L'ultima colonna del quadro precedente, estratta da un quadro più particolareggiato del signor Carrington, mostra che la legge è un poco confusa, perché senza dubbio insufficiente è il numero, delle osservazioni. Tuttavia quel quadro, per quanto sia imperfetto, ci permette di fare le considerazioni seguenti:

1° Da 5 a 20 gradi N. e da 10 a 15 gradi S. il movimento è negativo, cioè diretto verso l'equatore;

2° Da 20 a 35 gradi N. e da 15 a 30 gradi S. il movimento è diretto verso i poli: per i punti più lontani è impossibile stabilire una legge; le macchie sono troppo poco numerose, e i risultati troppo discordanti perché si possa trarne alcuna conclusione;

3° I più pronunziati cangiamenti di segno corrispondono ai punti prossimi a quelli, in cui il numero delle macchie passa per un *maximum*, o per un *minimum*.

4° Paragonando i movimenti in longitudine e in latitudine, si vede che l'equatore solare non divide le zone delle macchie e le loro traiettorie in due parti uguali. La linea di mezzo sembra coincidere col parallelo di 5 gradi Nord, fatto importante che, noi ricorderemo nel paragrafo seguente, quando accerteremo che l'equatore termico non coincide neppure coll'equatore geometrico.

Le leggi che abbiamo esposte, risultano dalla discussione delle medie; ma nei casi particolari, vi sono grandissime divergenze. Per riconoscerle, basta fare una serie assai lunga di misure, e calcolare le longitudini giorno per giorno.

Nell'anno 1866, abbiamo voluto esaminare seriamente questa questione, e abbiamo discusso sulle traiettorie di tutte le macchie che sono apparse dal primo gennaio alla fine di luglio. Altre occupazioni ci hanno impedito di proseguire questo lavoro più a lungo; ma ecco qui le conclusioni alle quali siamo arrivati:

Gli elementi determinati dal signor Carrington, paragonati con le nostre osservazioni, lasciano a desiderare: essi danno delle differenze sistematiche, che debbono provenire dalla loro inesattezza. Il signor Spörer, ha combinato le nostre osservazioni con le sue, e ne ha avuto dei risultati che scriviamo qui sotto, di fronte agli elementi dati dal signor Carrington. Tutti i numeri sono ricondotti alla stesso anno 1869.

ELEMENTI	CARRINGTON	SPOERER
Nodo. . . . .	73° 57'	74° 37'
Inclinazione. . . . .	7° 15'	6° 57'
Rotazione diurna . .	14° 18'	14. 2664
Durata della rotazione. . . . .	25g.38	25g. 2340

Tab. IV

Queste due serie di risultati debbono essere riguardate come preferibili a tutte quelle che sono state date fino ora. La loro differenza è assai sensibile; ma non dev'essere attribuita a difetti nelle osservazioni.

Quando sono usati a calcolare posizione delle macchie, si trova tutta una serie di macchie che differiscono dalle posizioni teoriche per

eccesso, mentre altre ne differiscono per difetto. Se ne deve concludere che siamo in presenza di movimenti reali; ma per dare ordine a questi, occorrerà un lavoro lunghissimo e molto accurato.

Esaminando un gran numero di macchie calcolate col più grande rigore, siamo arrivati alle conclusioni seguenti, che si trovano pure verificate nella grande serie del signor Carrington, come abbiamo riconosciuto in seguito:

1° Tutte le volte che una macchia si divide, o che subisce un cambiamento considerevole nella forma, si osserva sempre un movimento brusco, una specie di salto che si fa invariabilmente verso la parte anteriore, cioè nel senso ove crescono le longitudini.

2° Le grandi macchie, anche quando hanno una lunga durata, non vanno esenti da quei movimenti bruschi, e si notano di tempo in tempo, delle recrudescenze d'attività nella forza, o nel movimento che produce. (Esempio: macchia dal 14 al 26 marzo, dal 12 al 23 aprile, dal 1° al 12 giugno, dal 28 giugno al 9 luglio).

3° Le macchie rotonde crateriformi mostrano una stabilità più grande che macchie, i cui orli sono tagliuzzati, e i nuclei multipli e irregolari esse fanno spesso parecchie rotazioni.

4° Le macchie piccole e superficiali hanno movimenti irregolarissimi. Lo stesso dicasi delle grandi macchie, sia all'epoca della loro formazione, sia al momento in cui sono sul punto di sparire.

5° Tutte le volte che una macchia cambia di forma, o che se ne produce un'altra prossima a lei, si osserva una perturbazione o uno spostamento.

6° Le grandi macchie, dopo essersi disciolte, ricompariscono spesso a una piccola distanza dalla loro posizione primitiva, ma sempre verso la parte anteriore.

Per dare al lettore un'idea di questi movimenti, porteremo qui alcuni esempi di macchie che hanno durato per più rotazioni, e che sono state calcolate sopra misure micrometriche, fatte al grande equatoriale del Collegio Romano, sul sistema delle formule dei signor Carrington.

Questi fenomeni dimostrano che è impossibile di non riconoscere nelle macchie dei movimenti propri di trasporto sulla superficie del Sole.

Tab. V

DATA CIVILE	GIORNO dell'anno e frazione	ANGOLO di posizione	DISTANZA DALL'ORLO		VALORE DI P	LATITUDINE eliografica λ	LONGITUDINE elio-grafica λ	NOTE
			LATO interno	LATO esterno				
<b>Macchia osservata nel maggio 1865. 1°no nucleo.</b>								
Magg. 8	127,9097	69.° 6'	455,70	»	31° 17' 43"	—	3° 48' 3	Irregolare
10	129,8819	83. 28	698, 16	»	15,23,26		7, 9, 0	»
11	130,8923	146. 9	895, 53	»	3,22,4		6,16,3	Divisa in 2
12 S.	132,0833	235. 34	648, 89	»	18,27,47		6,43,0	»
13	132,8888	240. 48	684, 20	»	29,16,39		6, 7, 9	»
15	135,1891	243. 48	111, 139	»	60,21,48		5,24,6*	»
16 S.	135,9651	243. 15	49, 87	»	71, 6,34		6,28,0	Dia. 20° 59'.
17 S.	147,0694	342. 24	1, 064	»	87, 1, 36		6,47,9	»
<b>La medesima. 2° nucleo.</b>								
Magg. 1	129,8819	77.° 5'	598,° 87	»	21,° 41,31"		6,° 22,2	»
61	130,8923	87. 15	805, 06	»	8, 49, 22		6, 51, 3	»
12 S.	132,0833	218. 30	816, 57	»	8, 6, 54		6, 50, 2	Traccia di piccola macchia
13	132,0833	235. 6	643, 30	»	18, 48, 19		6, 52, 6	»

Tab. VI

DATA ORILE	GIORNO dell'anno e frazione	ANGOLO di posizione	DISTANZA DALL'ORLO		VALORE DI $\rho$	LATITUDINE eliografica. $\lambda$	LONGITUDINE eliografica. $\lambda$	DIAMETRO apparente eliografico	
			Lato interno	Lato esterno					
Giugno 1	151,9330	79° 52' 48"	32, 231	46, 308	73° 12' 55"	—	5° 13, 6	107,673	3° 5'
2	152,9012	81.16.30	114, 378	134, 319	59.59.5		5.41,7	108,193	2.41
3	153,8905	81.46.48	227, 008	256, 008	47.57.30		4.59,1	107,171	2.32
4	154,8681	84.15.36	402, 200	433, 433	33.51.20		4.53,9*	108,461	2.16
5	155,8876	90.31.12	602, 202	632, 889	20.17.43		5.5,8	108,243	1.59
8	158,9048	240.39.0	595, 293	628, 777	20.38.27		5.29,9	108,386	2.9
9	159,8463	248.28.12	416, 176	441, 078	33.3.18		4.38,4	108,834	1.47
10	160,9174	250.0.6	232, 435	250, 690	47.55.5		4.49,8	109,725	1.39
11	161,9004	252.48.12	110, 899	124, 487	61.6.32		4.40,9	109,20	1.42
12	162,9033	253.54.0	26, 882	39, 249	74.37.35		4.39,6	110,185	0.52

Seconda rotazione della precedente; dal 1 al 12 giugno.

Tab. VII

DATA CIVILE	STORNO dell'anno o frazione	ANGOLO di posizione	DISTANZA DALL'ORLO		VALORE DI $\rho$	LATTITUDINE eliografica $\lambda$	LONGITUDINE elio- grafica $\Lambda$	DIAMETRO apparente eliografico	
			Lato interno	Lato esterno					
Giugno 28	178,8717	92° 10' 12"	28", 447	37", 997	74° 25' 43"	—	4° 12' 2"	110,247	1° 56' 19"
29	179,9227	94 . 9 . 26	111, 485	123, 345	60 . 55 . 41	5 . 29 . 9		109,913	1 . 39 . 7
30	180,9003	96 . 58 . 48	233, 485	245, 712	48 . 6 . 01	5 . 31 . 0		110,019	1 . 6 . 35
Luglio 1	181,9240	101 . 53 . 48	397, 071	416, 333	34 . 36 . 88	5 . 39 . 9		110,351	1 . 24 . 54
2	182,8973	110 . 12 . 12	572, 945	593, 282	22 . 27 . 27	5 . 27 . 4		110,134	1 . 19 . 44
4	184,8958	213 . 18 . 8	767, 88	789, 88	10 . 8 . 41	5 . 1 . 6		111,086	1 . 22 . 44
5	185,8517	245 . 49 . 48	604, 590	617, 747	20 . 38 . 11	4 . 37 . 3		110,857	0 . 50 . 54
6	186,8332	255 . 48 . 48	420, 562	431, 110	33 . 13 . 18	4 . 31 . 9		110,781	0 . 56 . 53
7	187,8667	260 . 48 . 0	256, 212	268, 035	46 . 6 . 28	4 . 8 . 2		110,724	1 . 2 . 0
8	188,9280	263 . 42 . 12	120, 608	128, 379	60 . 3 . 18	4 . 3 . 8		110,792	0 . 57 . 24
9 S.	189,8462	605 . 16 . 12	41, 601	45, 205	72 . 21 . 4	4 . 16 . 4		111,006	0 . 43 . 53
9 M.	190,2472	266 . 15 . 0	28, 998	23, 619	77 . 34 . 39	3 . 57 . 5		110,980	1 . 19 . 75

Terza rotazione, dal 28 giugno al 9 luglio.

Tab. VIII

DATA CIVILE	GIORNO dell'anno e frazione	ANGOLO di posizione	DISTANZA DALL'ORLO		VALORE DI $\rho$	LATITUDINE eliografica $\lambda$	LONGITUDINE eliografica $\Lambda$	DIAMETRO apparente eliografico
			Lato interno	Lato esterno				
<i>Maccchia dal 25 al 26 giugno</i>								
Giugno 23	173,8803	243° 4' 13"	408,452	»	34° 28' 51"	8° 0' 3	283,604	»
24	174,8943	249 40 48	231, 271	»	48 52 80	8 9 9	284,878	»
25	175,8751	252 28 12	99 675,	114,240	61.19.16	7 35,1	285,600	Irregolare
26	176,8800	255 7 48	22, 305	30,652	75 7.15	7 26,4	286,016	»

*Seconda rotazione della precedente, dal 28 giugno al 9 luglio.*

DATA CIVILE	GIORNO dell'anno e frazione	ANGOLO di posizione	DISTANZA DALL'ORLO		VALORE DI P	LATITUDINE allegrafica $\lambda$	LONGITUDINE allegrafica $\lambda$	DIAMETRO eliografico
			Lato interno	Lato esterno				
Luglio 11	191,8981	99°.42'.0"	9,802	5,569	82.13.19"	7° 9' 8	290,265	1° 31' 5
12	192,8906	101.24.0	60,705	52,605	69.48.34	7.17.5	289,748	1.23
13	198,8748	104.5.1	155,574	141,059	57.16.19	7.7.2	289,489	1.38
14	199,8494	108.18.4	285,791	265,186	44.55.12	7.24.8	289,418	1.40.5
15	195,9250	115.48.0	470,566	448,836	30.48.56	7.11.8	290,015	1.31.5
16	196,8930	123.39.6	639,422	613,740	19.39.51	6.37.51	289,625	1.39
17	197,8924	172.23.0	750,594	777,789	11.3.33	6.10.7	290,203	1.41.5
18	198,8854	229.30.0	717,255	686,173	14.55.22	5.56.9	289,868	1.56"
19	199,8850	251.25.2	545,553	521,387	25.45.53	5.48.3	289,704	1.37
20	200,8790	259.31.8	372,300	351,785	37.57.31	6.1.6	289,460	1.38.5
21	201,8651	264.44.2	221,435	205,119	59.34.54	5.43.2	289,509	1.36.5
22	202,8676	267.6.0	100,922	90,241	63.44.22	6.22.3	289,308	1.34.5
23M.	203,8956	269.55.2	26,510	29,759	76.56.21	5.54.4	289,411	1.26
23 S.	204,1935	270.9.6	14,085	15,217	80.35.29	6.12.4	289,126	

Tab. IX

Un semplice colpo d'occhio gettato sulle tavole precedenti, ci permetterà di fare alcune considerazioni interessanti. La macchia del

di 8 di maggio, aveva per sue coordinate  $3^{\circ}48'$  di latitudine, e  $107^{\circ}24'$  di longitudine. Al termine di due giorni, essa era divisa in due parti che avevano per coordinate l'una  $7^{\circ}9'$  di latitudine e  $97^{\circ}73'$  di longitudine, l'altra  $6^{\circ}22'$  di latitudine e  $91^{\circ}14'$  di longitudine. La longitudine del primo nucleo va aumentando, mentre resta stazionaria per il secondo. Quanto alle latitudini, non si riconosce alcun movimento regolare. Questa macchia ricomparisce il 10 giugno; il 2° nucleo è scomparso, non resta che il primo. La latitudine va diminuendo progressivamente, mentre la longitudine aumenta. Il 1° giugno il diametro era di  $3^{\circ}5'$ ; il 9 è ridotto a  $1^{\circ}39'$ . Il 4 giugno vi è evidentemente un salto brusco di un grado, e un grande rimpicciolimento nell'estensione.

Abbiamo iscritto alla tavola VII la terza rotazione della medesima macchia. Vi troviamo una latitudine oscillante, mentre la longitudine va sempre crescendo. Il diametro decresce fino al 5 luglio, poi aumenta di nuovo facendo dei movimenti bruschi, che annunziano la sua prossima dissoluzione. Infatti questa macchia non è più ricomparsa.

Alla pagine precedenti trovansi notate due rotazioni di un'altra macchia.

Dal 25 al 26 giugno la sua latitudine diminuisce, mentre cresce la sua longitudine. Durante la sua seconda rotazione, essa possiede un movimento in latitudine pronunziatissimo, mentre la sua longitudine è molto stabile e il suo diametro è costante.

Potremmo moltiplicare gli esempi; ma questo cenno basterà per mostrare al lettore quali sono le difficoltà che ha la teoria di quei movimenti. Mentre una macchia offre gli elementi dopo una rotazione solare, l'altra non li presenta più, e la correzione definitiva non può uscir fuori che da un lavoro molto lungo e molto penoso.

### ***§ III. — Teorie proposte per spiegare il movimento delle macchie.***

I risultati che abbiamo adesso provano che le nostre osservazioni non si riferiscono alla parte solida del Sole, ma soltanto alla sua atmosfera fluida. Infatti, quando un corpo solido è animato da un movimento di rotazione, è evidente che tutti i suoi punti debbono possedere la stessa velocità angolare, e che conseguentemente

debbono tutti mettere lo stesso tempo per eseguire rotazione completa. Avevamo dunque ragione di dire, appoggiandoci sui cangiamenti di forma, e sui movimenti che si osservano nell'interno delle macchie, che lo strato fotosferico, in cui si manifestano tutti quei fenomeni, è mobile come le nubi che ondeggiano nella nostra atmosfera.

Una nuova questione adesso si presenta. La fluidità è essa propria dello strato fotosferico, ovvero si estende a tutto intiero il corpo solare? In altri termini, esiste o no, un nucleo solido nell'interno del Sole? È egli sede questo nucleo di azioni fisiche, di cui le macchie non sarebbero che manifestazioni? Quest'ipotesi è stata ammessa per lungo tempo, ma differenti considerazioni ci hanno da un pezzo convinti che non può sostenersi, perché è incompatibile colla temperatura elevata che possiede il Sole, come vedremo ben presto. Fin dal gennaio 1864, noi annunziavamo che il Sole ben potrebbe essere gassoso.<sup>4</sup> Eravamo condotti a quest'ipotesi dalla legge di Carrington sulle rotazioni, e dal fatto che le macchie posseggono un movimento, che è più rapido nel periodo della loro formazione.

Osserviamo innanzi tutto che quest'ipotesi d'un Sole completamente gassoso è lungi dall'essere in contradizione con l'idee generalmente ammesse sulla forma dei corpi celesti. Il Sole è dovuto da prima passare per lo stato di nebulosa; quindi si è condensato per raffreddamento. Ma niente ci prova che la sua temperatura si sia abbassata al punto di solidificare la sua massa interna. Dobbiamo dunque entrare nel problema della sua costituzione fisica, scevri da ogni idea e da ogni ipotesi a questo riguardo.

Gli scienziati che ammettono l'esistenza di un nucleo solido nell'interno della fotosfera, paragonano il movimento delle macchie solari a quello dei nostri venti alisei.

Gli uomini di mare e i meteorologisti sanno perfettamente che esistono nella zona torrida, delle correnti atmosferiche che soffiano costantemente da Nord Est nell'emisfero Nord, e da Sud Est nell'emisfero Sud.

Questo correnti sono il risultato del movimento di rotazione della Terra, combinato con la forza di attrazione, che esercita il calore del Sole, riscaldando l'aria delle regioni equatoriali, e determinando un

---

<sup>4</sup> Vedasi *Bollettino metereologico dell'Osservatorio del Collegio Romano*, 1 Gennaio 1864, p. 4, col. 1, V. 34.

movimento dal basso in alto.

Così, mentre un vuoto tende a firmarsi nella zona torrida, l'aria delle regioni vicine si precipita per riempirlo. In questo movimento, l'aria passa da un parallelo di raggio più piccolo a un parallelo di raggio più grande, e quindi una differenza di velocità che produce l'effetto di un vento che soffi dall'Est.

Poiché infine questa corrente si combina col movimento di traslazione dell'aria stessa dai poli verso l'equatore, ne risultano dei venti composti e inclinati in rapporto all'equatore, come abbiamo indicato di sopra.

Queste correnti inferiori sono accompagnate da correnti superiori di una elevazione di due mila a tre mila metri, che soffiano da Sud Ovest nel nostro emisfero, e da Nord Ovest nell'emisfero Sud. Oltre a ciò, al di là del trentesimo grado di latitudine, esistono delle zone di calma, nelle quali l'aria discende, e si divide in due parti, una delle quali si dirige di nuovo verso l'equatore, mentre l'altra va in senso contrario, e serve ad alimentare le correnti polari.

Tale è in poche parole la natura di questa grande circolazione terrestre, che si è creduto di riconoscere egualmente nell'atmosfera solare.

Questa teoria in sé non ha niente d'impossibile. Si potrebbe tuttavia opporre che il Sole non è, come la Terra, sottoposto all'azione di una forza esteriore, capace di determinare quei movimenti, riscaldando a preferenza le regioni equatoriali; ma non è impossibile che il medesimo effetto sia prodotto da una causa del tutto interna, ed infatti noi vedremo che la temperatura è più elevata all'equatore che ai poli.

Invece di cercare se esistono delle cause capaci di produrre nel Sole una circolazione analoga a quella dei venti alisei, seguiamo un metodo più positivo, e vediamo se i fatti si prestano a questo modo d'interpretazione.

In quel movimento atmosferico, le macchie si troverebbero o nella corrente inferiore o nella corrente superiore. Nella prima ipotesi, partendo da un parallelo ove la velocità è meno considerevole, esse arriverebbero all'equatore con un movimento relativo, diretto in senso contrario alla rotazione generale; nella seconda, partendo dall'equatore, ove la velocità è massima arriverebbero in regioni, ove il loro movimento relativo sarebbe diretto nel senso stesso della rotazione. In tutti e due i casi, la loro velocità angolare sarebbe più

debole all'equatore e più considerevole sui paralleli. Questa conclusione inevitabile della teoria degli alisei è assolutamente contraria alla legge, perfettamente certa e provata dalla osservazione, del movimento delle macchie in longitudine. È all'equatore che esse posseggono la più grande velocità.

I movimenti delle macchie in latitudine hanno messo in evidenza delle linee nodali, e dei cambiamenti di segni, che indicano un trasporto delle macchie verso l'equatore solare, fra le latitudini di 25 gradi N. e 20 gradi S. Al di là di questi limiti, il movimento diviene divergente, e le macchie si dirigono verso i poli. Questi movimenti sono in realtà paragonabili a quelli che si osservano negli alisei e noi dobbiamo concludere che esistono nel Sole delle correnti che trasportano la fotosfera. Ma siccome la componente che agisce a seconda della longitudine, è diretta in senso contrario alla componente analoga nei venti alisei terrestri, è impossibile ammettere completamente la medesima teoria, e bisogna cercarne un'altra, che si accordi meglio coi fatti.

Supponiamo che il Sole sia gassoso in tutta la sua massa, e che la sua rotazione sia meno rapida alla superficie che negli strati più vicini al centro.

Queste due ipotesi non hanno nulla d'inammissibile; esse debbono anzi effettuarsi in una massa nebulosa che si condensa, ed è ciò che accaduto nella formazione dei pianeti interni che posseggono una velocità maggiore di quella dei pianeti esterni.

Supponiamo allora che una massa di materia, partendosi dall'interno del Sole, sia condotta da una causa qualunque verso la superficie; essa vi arriverà col suo eccesso di velocità, e avrà per conseguenza un aumento relativo nel senso ove crescono le longitudini. Sembrerà dunque lanciata in avanti, ciò che avviene realmente per lo macchie che sono in via di formazione. Il mezzo nel quale questa massa sarà così pervenuta, opponendole una resistenza considerevole, il suo movimento si rallenterà fino a tanto che si sia stabilito un equilibrio relativo, cioè fino a che la macchia possegga la stessa velocità di ciò che la circonda.

Così si troverebbe anche spiegato il salto in avanti, che si avverte non solamente nel periodo di formazione, ma anche all'epoche di recrudescenza, in cui nuove eruzioni vengono a modificare la forma delle macchie.

Noi non pretendiamo di stabilire le cause che producono questo

movimento dal basso all'alto nella massa gassosa del Sole. Ve n'è una tuttavia, la cui azione, facile a prevedersi, deve essere predominante nella produzione di questi fenomeni. La fotosfera, raffreddandosi con la irradiazione diviene sempre più densa; deve adunque, per obbedire alle leggi dell'equilibrio, discendere nell'interno e cadere verso il centro.

In questo movimento, sposta una massa gassosa più leggiera, che si eleva secondo le leggi dell'idrostatica, e che animata da una velocità maggiore, deve produrre la circolazione che dall'osservazione viene indicata.

Nelle zone lontane dall'equatore, il fenomeno si complica per le numerose correnti che devono esistere in una massa così considerevole. È quindi impossibile di spiegarne il meccanismo in una maniera più precisa, senza fare delle ipotesi completamente arbitrarie, a modo d'esempio, sulla profondità degli strati donde partono le masse che producono le macchie; sul raffreddamento che esse subiscono alla superficie, ecc. Perciò nel Sole, tali fenomeni non possono presentare il medesimo grado di semplicità che sulla Terra, ove le cause si riducono a due: l'elevazione della temperatura prodotta dal Sole; la forma e la distribuzione dei continenti e dei mari. Ciò nonostante, anche sulla Terra, sono talmente complicati, che i meteorologi non vanno punto d'accordo sulla teoria e sulla spiegazione precisa di questi movimenti.

È stato obiettato che il Sole non potrebbe essere gassoso, senza essere trasparente, e che, se è trasparente, l'esistenza delle macchie diviene impossibile. Nella nostra teoria, le macchie sono cavità formatesi nelle nubi della fotosfera. Esse sono riempite di gas assorbenti, donde segue che noi non dobbiamo scorgere lo strato fotosferico che si trova dall'altro lato.

Di più possiamo aggiungere che:

1° È falso che le macchie sieno assolutamente nere. Per convincersene basta paragonare una macchia con un pianeta, Mercurio per esempio, al momento del suo passaggio sul Sole; e si vedrà che la differenza è estremamente grande.

2° Questa pretesa trasparenza dei gas, quando si tratta di masse così considerevoli, è una supposizione priva affatto di fondamento. L'atmosfera terrestre, anche allo zenit, assorbe circa il terzo della luce solare.

3° L'atmosfera del Sole, sugli orli del disco, assorbe almeno la metà dei raggi emessi dalla fotosfera. Naturalmente dunque nasce il pensiero che sotto uno spessore eguale al diametro del globo solare, l'assorbimento sarebbe infinitamente più notevole.

Il signor Faye ha adottato, dopo di noi, questa idea che il Sole è completamente gassoso. Egli è anche riguardato comunemente in Francia come l'autore di questa teoria, perché l'ha sviluppata nei *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*. Ma non ha fatto l'ipotesi della più rapida rotazione all'interno, ipotesi che noi crediamo necessaria per spiegare i movimenti sistematici delle macchie, poiché questi movimenti non possono essere prodotti da una circolazione analoga a quella venti alisei.

#### ***§ IV. — Di alcuni movimenti apparenti, dovuti alla profondità delle macchie e alla refrazione dell'atmosfera solare.***

Quando si studiano i movimenti in longitudine d'una macchia, si trovano, come abbiamo detto, variazioni considerevolissime che paiono affatto anormali. Ma al di fuori di quei movimenti irregolari, si notano presso agli orli, delle aberrazioni sistematiche, delle quali si possono fissare le leggi. Presso all'orlo orientale, sembra che la macchia si avvicini al centro: la sua longitudine aumenta, e presso all'orlo occidentale, pare che cammini in senso contrario, e che si avvicini ancora al centro, mentre la sua longitudine diminuisce. Così dunque da un lato del centro, gli archi diurni si trovano aumentati, mentre sono diminuiti dall'altro.

Dopo aver rimarcato questo fatto, esaminando i quadri del signor Carrington, ne cercammo la causa, e fummo condotti ad attribuirla alle refrazioni dell'atmosfera solare. Già il signor Carrington aveva indicato questa sorgente d'irregolarità; ma non l'aveva studiata con la diligenza che merita.

Sia *amn* (fig. 15) il disco solare; *rps* lo strato atmosferico di cui è ricoperto.

Se questo strato possiede un potere rifrangente assai considerevole, un raggio emanato dal punto *q*, invece di seguire la direzione *qe*, la quale si propagherebbe nel vuoto, sarà deviato, seguendo una curva come *qro*, tangente alla retta *qe*. Questo raggio così deviato potrà

giungere all'occhio di un osservatore posto in  $o$ , per il quale il punto  $q$  sarebbe restato invisibile senza la rifrazione.

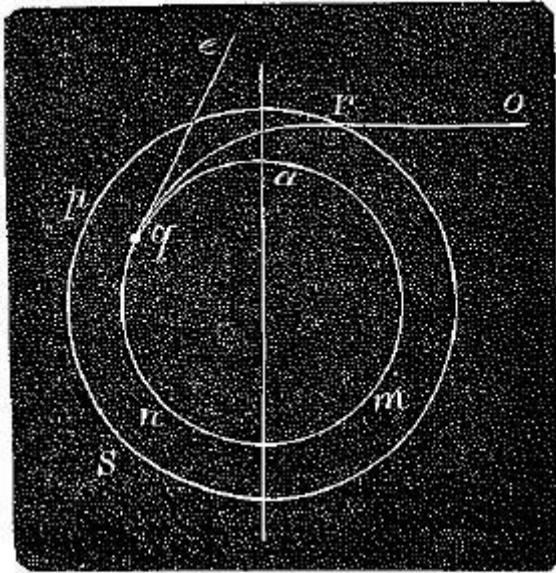


Fig. XV

Un punto qualunque diverrà quindi visibile per noi un poco prima di oltrepassare il circolo che forma il contorno geometrico del Sole, e che, senza la rifrazione separerebbe la parte visibile dalla parte invisibile. Le macchie saranno dunque visibili un po' troppo presto da un lato del disco, mentre dall'altro spariranno un poco più tardi. Si potrà, per il calcolo relativo a questi fenomeni, adoprare le formule che servono a valutare l'influenza delle nostre refrazioni atmosferiche sopra il levarsi e il tramontare degli astri.

Mentre noi esaminavamo l'influenza delle refrazioni dovute all'atmosfera, il signor Faye dava un'altra spiegazione delle irregolarità sistematiche, che si producono presso agli orli del disco. Secondo lui, queste irregolarità sarebbero prodotte da un fenomeno che egli ha chiamato la *parallasse di profondità*, e che risulta realmente da questo, che le macchie sono cavità. Supponiamo (fig. 16) una macchia avente la forma di una cavità conica. L'osservatore prende di mira il centro  $n$  del nucleo, e nelle sue valutazioni, lo mette in rapporto al punto  $d$ , dove il suo raggio visuale incontra la superficie della fotosfera. Se la macchia occupa il mezzo del disco,

passando il raggio visuale  $dn$ , per il centro  $C$  del Sole, il punto preso di mira si proietterà al centro stesso della penombra.

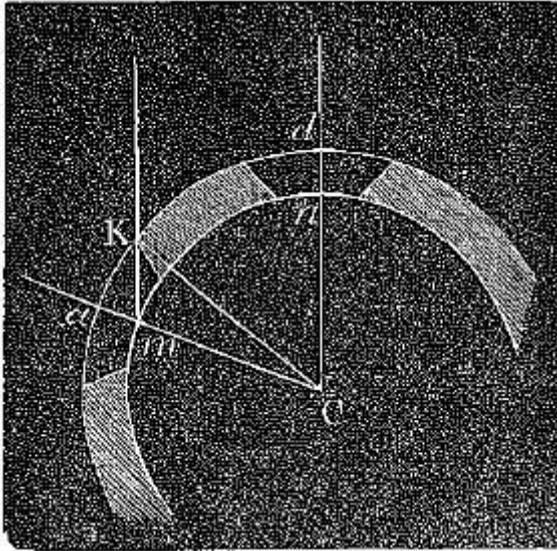


Fig. XVI

Ma se la macchia si trova presso all'orlo, il punto preso di mira dall'osservatore, seguendo la direzione  $Km$ , invece d' essere riferito all'estremità del raggio solare  $Cma$ , comparirà proiettato al punto  $K$ , dove il raggio visuale incontra la fotosfera. La macchia parrà dunque essersi avvicinata al centro della quantità  $aK$ . Quando si cerca di calcolare l'influenza di questa parallasse, si trova che produce un errore proporzionale alla tangente della distanza eliocentrica, espressa dalla stessa formula trigonometrica, che serve per le refrazioni. Diviene dunque impossibile determinare direttamente la parte che spetta a ciascuna di queste due cause nella produzione dei movimenti apparenti che ci occupano; e il dubbio è tanto più permesso, quanto più i calcoli fatti dal signor Faye, in conseguenza della sua ipotesi, attribuirebbero alle macchie una profondità molto più considerevole di quella che risulta dalle misure dirette.

L'osservazione soltanto poteva risolvere la questione, offrendoci dei nuovi dati. Perciò bisognava cercare di sottrarsi ad una delle due cause d'errore, affine di poter valutare l'influenza dell'altra. Era evidentemente impossibile evitare la refrazione, ma pensai che sarebbe possibile eliminare la parallasse di profondità, prendendo la posizione dei due orli della macchia, e calcolandone separatamente

le coordinate eliografiche. Ebbi la fortuna, nel 1866, di trovare alcune macchie regolarissime, ed aventi un debole movimento in longitudine, soprattutto quella fra il 28 giugno, e il 9 luglio, e quella fra l'11 e il 23 di luglio. Io le osservai giorno per giorno con molta cura, prendendo delle misure metriche col grande refrattore, e ottenni così i risultati scritti nei quadri, da cui sono stati tolti quelli del paragrafo precedente.

Dopo avere così evitato gli errori dovuti alla parallasse di profondità, si trova ancora una perturbazione nella via longitudinale, e le perturbazioni, che sono tutte nel senso indicato dalla teoria, non possono attribuirsi che alla refrazione. Tuttavia il loro valore non oltrepassa di molto i limiti degli errori di osservazione. Noi siamo convinti che la refrazione solare esiste, ma non potremo valutarla che dopo aver fatto numerose osservazioni su macchie di una regolarità e di una stabilità straordinarie.

Queste misure, prese con la più gran cura, ci hanno insegnato che le macchie subiscono di sovente grandissimi cangiamenti nelle loro dimensioni reali, e che ogni cangiamento di forma un poco considerevole porta seco una irregolarità nel movimento in longitudine.

La teoria del signor Faye, sulla parallasse di profondità, si trova così perfettamente verificata, e alla sua volta essa serve di conferma alle idee di Wilson. Le macchie sono dunque cavità.

Ma queste cavità sono esse prodotte da eruzioni vulcaniche, o sono dovute a turbini analoghi ai nostri cicloni? Tratteremo questa questione, quando avremo raccolti tutti i dati necessari per risolverla. Una circostanza ci spingerebbe d'ora a l'assimilazione con i cicloni; ed è che il *maximum* delle macchie coincide con i limiti delle zone, ove si produce la inversione del movimento in latitudine.

## § V. — *Riassunto dei movimenti delle macchie.*

Si vede da tutto quello che abbiamo detto fin qui, invece di osservare il movimento di rotazione del corpo solare in se stesso, ci siamo ridotti a studiare quello della sua atmosfera. Siamo dunque nelle condizioni in cui si troverebbe un astronomo che, collocandosi nella Luna; volesse determinare il movimento di rotazione della Terra, prendendo una nube per punto di riscontro. Gli occorrerebbe, innanzi

tutto, studiare la circolazione atmosferica e determinarne le leggi: compito ben difficile, e quasi impossibile in simili circostanze.

Le cognizioni che abbiamo acquistate, ci permettono frattanto di dividere i movimenti delle macchie in tre categorie.

La prima comprende tutti i movimenti generali; e da questo punto di vista, il risultato più importante è l'ineguaglianza delle rotazioni sopra i diversi paralleli. La velocità angolare è massima all'equatore, e diminuisce quando la latitudine aumenta.

La seconda categoria comprende i movimenti apparenti, dovuti alla parallasse di profondità, e alla refrazione. Essendo eliminata la prima di queste due cause dal metodo di osservazione che abbiamo proposto, non resta che la seconda, la cui influenza non è ancora stata sufficientemente determinata, ma che non è da trascurarsi.

La terza contiene tutti i movimenti irregolari e straordinari, che dipendono dalle cause stesse che producono le macchie, cause ancora molto oscure, e che resteranno per lungo tempo sconosciute.

Abbiamo fatto osservare più volte che questi movimenti si producono in special modo al momento dell'apparizione di una macchia. Si formano sovente parecchi centri, senza che si possa prevedere quale di essi persevererà e formerà definitivamente il nucleo della macchia. Le medesime irregolarità si rinnovano al tempo della dissoluzione finale.

Così le macchie più stabili sono quelle che paiono più profonde.

Infine impossibile di spiegare i movimenti sistematici delle macchie, con correnti analoghe ai nostri venti alisei. Questa ipotesi non spiega il fatto fondamentale dei trasporto delle macchie verso l'equatore con l'accelerazione del movimento angolare. Per spiegare questo fenomeno, bisogna necessariamente ammettere che il Sole è gassoso in tutta la sua massa, e che la velocità dei suoi differenti strati va crescendo dalla superficie al centro. Del resto, vedremo ben presto altri fenomeni, che ci confermeranno in questa opinione.

## § VI. — *Variazioni secolari delle macchie.*

Può domandarsi se le apparizioni delle macchie sono esse stesse soggette a qualche legge generale.

Questa questione è una di quelle che hanno molto occupato gli astronomi moderni. I più antichi osservatori hanno notato che non vi

è, tutti gli anni, un egual numero di macchie. Talvolta sono scorsi mesi ed anni, senza che siasi potuto osservarne alcuna. Anche ammettendo che quest'ultima affermazione sia un poco esagerata, e che resulti dalla poca precisione con la quale le osservazioni sono state fatte altre volte, non è meno vero che il numero delle macchie è estremamente variabile.

W. Herschel è stato il primo che si sia occupato di questa questione. Egli cercò di stabilire un rapporto tra le variazioni delle macchie e la meteorologia terrestre, e, in mancanza di altro elemento, paragonò il numero annuale delle macchie al prezzo del grano. Ma si capisce che niente poteva risultare da un simile lavoro. Senza dubbio, i fenomeni meteorologici del globo debbono dipendere da una certa serie di vicissitudini solari, e noi ne vedremo una prova sorprendente; ma il termine di confronto scelto da Herschel, non ha alcuna relazione con lo stato del Sole.

Il barone Schwabe, di Dessau, ha fatto il primo lavoro serio sulla questione di cui ci occupiamo. Fino dal 1826, egli cominciò la statistica delle macchie solari, e da quel tempo fino al 1868, non trascurò mai di osservare il Sole ogni giorno, quando lo stato del cielo lo permetteva. Esaminando questa lunga serie di osservazioni, riconobbe una periodicità evidentissima: dei massimi e dei minimi notevolissimi si succedevano ad un intervallo di circa dieci anni.

Senza dubbio, in una simile classificazione, vi sono degli elementi un poco difettosi. In primo luogo non si può osservare il Sole tutti i giorni, e le lacune che resultano dal cattivo stato del cielo, vengono necessariamente ad aumentare il numero dei giorni in cui non vi sono macchie. Di più, il numero delle macchie sempre un poco arbitrario: vi sono spesso dei gruppi che, per le loro suddivisioni, si prestano a differenti maniere di contare. Ma in una quantità di osservazioni così considerevole, come quella del barone Schwabe, queste differenze si compensano l'una con l'altra, e spariscono nel risultato finale. Infatti la legge è così evidente, che basta gettare uno sguardo sopra un suo prospetto, per riconoscere che nessuna obiezione potrebbe metterla in dubbio.

Essendo questo prospetto interessantissimo, lo riproduciamo qui, aggiungendovi il risultato delle osservazioni fatte al Collegio Romano negli ultimi 10 anni.

Prospetto dal numero di macchie in cinquantadue anni.

Tab. IX

ANNI	Giorni delle osservazioni	Giorni senza macchie	Numero delle macchie	Collegio Romano
1826	277	22	118	
1827	273	2	161	
1828	282	0	225	
1829	244	0	199	
1830	217	1	190	
1831	239	3	149	
1832	270	49	84	
1833	267	139	33	
1834	273	120	51	
1835	244	18	173	
1836	200	0	272	
1837	168	0	333	
1838	202	0	282	
1839	205	0	162	
1840	263	3	152	
1841	283	15	102	
1842	307	64	68	
1843	312	149	34	
1844	321	111	52	
1845	332	29	114	
1846	314	1	157	
1847	276	0	257	
1848	278	0	330	
1849	285	0	238	
1850	308	2	186	
1851	308	0	141	
1852	337	2	125	
1853	399	4	91	
1854	334	65	67	
1855	313	146	28	
1856	321	193	34	
1857	324	52	98	
1858	335	0	202	
1859	343	0	205	257
1860	332	0	211	251
1861	322	0	204	251
1862	317	3	160	168
1863	330	2	124	165
1864	325	4	130	97
1865	307	28	93	86
1866	349	76	45	81
1867	312	195	25	32
1868	301	12	101	92

Questo prospetto è molto eloquente, e vi si possono notare due cose: 1° il periodo presso a poco decennale; 2° ogni massimo è più vicino al minimo che lo segue, che a quello che lo precede.

Per determinare questo periodo con più precisione, molti astronomi hanno ricorso alle osservazioni antiche. Il signor Wolff, di Zurigo, nella sua Opera sulle macchie solari, (*Mittheilungen der Sonnenflecken*) ha fatto su questo soggetto un lavoro interessante. Egli ha potuto stabilire la cronologia delle fasi, che il Sole ha presentate dalla scoperta delle macchie fino ai giorni nostri. I suoi calcoli l'hanno condotto ad un periodo di 10 anni e  $\frac{1}{9}$ . Il signor Lamont ha trovato, dal canto suo, 10.43 anni.

Togliamo da una memoria importante del signor Fritz, la serie dei massimi e dei minimi osservati e raccolti da diversi osservatori. A ciascuna delle date aggiungiamo un numero, che fa conoscere con quale approssimazione le differenti epoche sono state conosciute. Si può notare che l'incertezza è molto più grande nelle osservazioni antiche che nelle più recenti.

Prospetto delle epoche dei massimi a de' minimi delle macchie solari, redatta dal Sig. Fritz.

MASSIMI.		MINIMI.	
SERIE ANTICA			
		1610,8	± 0,4
1615,0	± 1,5	1619,0	± 1,5
1626,0	± 1,0	1634,0	± 1,0
1639,5	± 1,0	1645,0	± 1,0
1655,0	± 2,0	1666,0	± 2,0
1675,0	± 2,0	1679,5	± 2,0
1685,5	± 1,5	1689,5	± 2,0
1693,0	± 2,0	1698,0	± 2,0
1705,0	± 2,0	1712,0	± 1,0
1717,5	± 1,0	1723,0	± 1,0
1727,5	± 1,0	1733,0	± 1,5
1738,5	± 1,5	1745,0	± 1,0
SERIE MODERNA			
		1755,7	± 0,5
1750,0	± 1,0	1766,5	± 0,5
1761,5	± 0,5	1775,8	± 0,5
1770,0	± 0,5	1784,8	± 0,5
1779,5	± 0,5	1798,5	± 0,5
1788,5	± 0,5	1810,5	± 0,5
1804,0	± 0,1	1823,2	± 0,2
1816,8	± 0,5	1833,8	± 0,2
1829,5	± 0,5	1844,0	± 0,2
1837,2	± 0,5	1856,2	± 0,2
1848,6	± 0,5	1867,1	± 0,1
1860,2	± 0,2		

Tab. X

Il signor Fritz ha formato una curva per riassumere il movimento delle variazioni annuali. Il signor Carrington ha disegnato una curva affatto simile.

Lo studio di quella curva mostra due cose 1° il periodo è veramente decennale, come avevamo notato; 2° tuttavia, non è così semplice come si potrebbe credere a prima giunta. In realtà vi sono due periodi sovrapposti, l'uno semi-secolare, l'altro decennale. Noi non abbiamo

osservazioni antiche abbastanza precise per riconoscere la legge della variazione secolare, e non possiamo che accertarne l'esistenza. I passaggi dai massimi ai minimi sono accompagnati da una circostanza assai curiosa. Disponendo le macchie secondo la loro longitudine e la loro latitudine, sopra un diagramma fittissimo, il signor Carrington ha mostrato che la loro latitudine va decrescendo a misura che si avvicina al *minimum*, poi, quando il loro numero va crescendo, esse si mostrano ad una latitudine più elevata. Questa legge si verifica anche nell'ultimo periodo, partendo dall'ultimo *minimum*, che si produsse nel 1867, come risulta dalle osservazioni del signor Spörer e dalle nostre.

Di fronte a queste variazioni sorprendenti, la cui importanza non sfuggirà a nessuno, noi siamo, come sempre, sospinti a domandare qual'è la legge che le regola.

La storia ci ha conservato il ricordo di parecchie epoche, in cui l'intensità luminosa del Sole diminuì considerevolmente. Virgilio, eco di una tradizione che si trova nella storia, ci narra che il Sole si oscurò alla morte di Cesare,

*Ille etiam extincto miseratus Caesare Romam,  
Quum caput obseura nitidum ferragine textit,  
Impiaque aeternam timuerunt saecula noctem.*

Nell'anno 533 e nell'anno 626 dell'era nostra, il Sole restò oscurato per parecchi mesi. Ma questi fatti, d'altronde male osservati, e riferiti senza dubbio con molta esagerazione, si sono presentati in epoche, che sembrano completamente indipendenti le une dalle altre; mentre le variazioni che abbiamo studiate, offrono una regolarità quasi astronomica. Quale può esserne dunque la causa?

Secondo l'ipotesi più plausibile, bisognerebbe attribuire all'azione dei pianeti che, per la loro attrazione, produrrebbero delle vere maree sul globo solare.

Il periodo principale parve da prima coincidere con la rivoluzione di Giove. Ma il signor Carrington ha dimostrato che questa coincidenza puramente accidentale in un tempo, non si verifica nei periodi successivi, e che non se ne può dedurre alcuna seria conclusione.

L'azione di Mercurio e di Venere sarebbe forse più efficace. La loro distanza dal Sole è poco considerevole ma, d'altra parte, la loro massa ci sembra molto debole per produrre simili effetti.

Non si può frattanto toglier di mezzo questa questione senza un serio esame; ed è agli astronomi matematici che appartiene lo studiarla e il risolverla.

Il periodo decennale delle macchie coincide, in maniera molto inopinata, con un fenomeno di meteorologia terrestre, la variazione della forza magnetica. Ci contentiamo d'indicare questo fatto, che poi studieremo nella seconda parte di questa Opera, parlando dell'influenza che il Sole esercita sul suo sistema planetario.

Passiamo adesso a studiare i fenomeni che si producono nell'atmosfera solare. Troveremo in questo studio, alcuni schiarimenti a proposito delle variazioni di cui abbiamo adesso parlato. La sola conclusione che possiamo trarne attualmente, è che il Sole è un astro soggetto a variazioni periodiche, che debbono influire sull'intensità delle sue irradiazioni luminose e calorifiche, e troveremo ben presto altri motivi per collocarlo fra le stelle variabili.



## CAPITOLO V DELL'ATMOSFERA SOLARE

Nei capitoli precedenti, abbiamo spesso parlato di un'atmosfera gassosa e trasparente, che involupa il Sole, e la cui esistenza resulterebbe necessariamente dalla teoria che abbiamo ammessa sulla natura dello strato fotosferico. Dobbiamo adesso incominciare lo studio di quest'atmosfera, e dare delle prove dirette della sua esistenza. Queste prove saranno dedotte: 1° dall'assorbimento che essa esercita sulle irradiazioni luminose, chimiche e calorifiche; 2° dai fenomeni che si osservano durante le eclissi totali.

Questo capitolo sarà consacrato alla prima delle due questioni, riserbandoci di parlare delle eclissi nel capitolo seguente.

### **§ 1. — Assorbimento dei raggi luminosi, operato dall'atmosfera solare.**

Fino dai primi tempi in cui cominciarono gli studi sul Sole, Luca Valerio, dell'Accademia dei Lincei, osservò che l'immagine del Sole era più brillante al centro, che sugli orli. Questo fatto importante fu messo in dubbio da Galileo,<sup>5</sup> ma era esatto. Per convincersene basta esaminare un istante, in una camera oscura, l'immagine del Sole, prodotta col mezzo di buone lenti sopra un diaframma bianco. Si riconosce immediatamente che gli orli sono molto meno luminosi.

Bouguer cercò di determinare con misure fotometriche il rapporto che esiste tra l'intensità del centro e quella di un punto situato ad una distanza eguale ai  $\frac{3}{4}$  del raggio.

Egli trovò questo rapporto eguale a  $\frac{1}{0,729}$  ma presso gli orli l'intensità decresce molto più velocemente.

Arago messe in dubbio i risultati trovati da Bouguer, ma molti osservatori gli hanno riconosciuti esatti, e noi stessi gli abbiamo verificati. Per fare queste misure con più precisione, ecco il procedimento che abbiamo usato. Il nostro equatoriale essendo chiuso in una cupola trasformata in camera oscura, con l'aiuto di un forte oculare, abbiamo prodotto una proiezione del Sole, avente circa

---

<sup>5</sup>Galileo, *Opere*, tomo VI, pag. 198.

un metro di diametro. Allo scopo d'indebolire maggiormente la luce, ciò che è una condizione per valutare le intensità relative, mettevamo un diaframma all'obbiettivo, e facevamo riflettere il raggio emergente sull'ipotenusa di un prisma ad angolo retto.

L'immagine così prodotta comprendeva quasi la metà del disco solare; era ricevuta sopra un diaframma nero avente due aperture di un centimetro di diametro, e i due fasci luminosi ricevuti sopra un diaframma bianco erano esaminati con un procedimento fotometrico. Le due aperture essendo mobili, ci permettevano di studiare dei fasci presi a volontà, in una parte qualunque del disco solare.

Quando i raggi così studiati appartengono al centro dell'immagine, si vede e la luce è bianca, e che la sua intensità è presso a poco la stessa in tutti i punti.

Quando si oltrepassa il quarto del raggio, si trova una differenza sensibilissima; ma quando si arriva presso l'orlo; la differenza diviene estremamente grande, non solamente per l'intensità, ma anche per il colore.

La luce emessa da questa parte del Sole è di un rosso affumicato, e ciò presenta un ostacolo serissimo all'esecuzione delle misure fotometriche. Questo fenomeno non è ancora stato notato, ed è tuttavia molto importante, perché quel colorito degli orli del disco spiega perfettamente la tinta dell'orizzonte, durante le eclissi, al momento in cui il Sole ci rischiarava soltanto con quella zona esteriore.<sup>6</sup> Essendo l'apparecchio disposto in maniera che uno dei due fasci partisse dal contorno stesso del disco, l'altro da un punto situato a una distanza dal centro, eguale ai tre quarti del raggio, il fascio più brillante fu ricevuto su di un prisma a doppia refrazione, e si ottennero così due nuove immagini, ciascuna delle quali era più brillante di quella che emanava dall'orlo.

Allo scopo di valutare più facilmente l'intensità relativa dei due fasci, si fece uso di un fotometro a ruota mobile, le cui aperture erano variabili, e si potevano far girare molto rapidamente col mezzo di un ingranaggio. Trovammo così che in due punti situati, l'uno ad 1 minuto, l'altro a 5 minuti dall'orlo, le intensità luminose erano nel rapporto da 1 a 3. Di più, nel secondo di questi punti, l'intensità luminosa era  $\frac{2}{3}$  di quella del centro; di maniera che il rapporto tra il

---

<sup>6</sup> [https://twitter.com/a\\_film\\_maker/status/1648909989074079744](https://twitter.com/a_film_maker/status/1648909989074079744) Eclissi del 20 aprile 2023 vicino a Exmouth, Western Australia. (n.d.r.)

punto più lontano ed il centro sarebbe  $1/3 \cdot 2/3 = 2/9 = 1/4,5 = 0,22$ . E prendendo dei punti più vicini all'orlo, l'intensità sarebbe ancora più debole, ma essa diventa difficilissima a valutarsi, a motivo del colore rossastro di quella regione. I risultati che diamo qui, sono più sensibili di quelli di Bouguer; tuttavia non li crediamo esagerati, e si riterranno probabilmente troppo deboli, ove si riprendano le stesse esperienze, tenendo conto della differenza del colore nella valutazione delle intensità. Possiamo ora renderci conto del difetto di chiarezza e di precisione, che presenta l'orlo del Sole nelle osservazioni ordinarie, e soprattutto nelle osservazioni delle eclissi.

## **§ II. — Assorbimento dei raggi chimici.**

Vi sono eziandio grandissime differenze fra le radiazioni chimiche, che emanano dai differenti punti del disco solare. Noi abbiamo potuto verificare questo fatto, fissando su delle lastre dagherriane parecchie fasi dell'eclissi dell'anno 1851. In queste prove, l'orlo interno della curva a mezza luna era perfettamente delineato, mentre si poteva a mala pena determinare il limite esterno del corpo solare. Dopo di ciò, tutte le osservazioni fotografiche hanno confermato questo risultato.

In una fotografia fatta a Ely, con l'eliografo del signore Selvyn, apparisce perfettamente la diminuzione del potere fotogenico. Questa diminuzione è grande in modo da impedire l'uso della fotografia nello studio delle dimensioni del Sole, perché il diametro dell'immagine dipende dalla durata dell'esposizione, o da ciò che nelle fotografie ordinarie, si chiama il tempo della posa.

Si dovrà prevedere questa difficoltà, si vuole usare la fotografia per studiare il passaggio di Venere nel 1874. Quando si desidera ottenere delle prove, in cui il contorno del disco sia perfettamente delineato, l'azione della luce deve durare un assai lungo; ma le macchie spariscono quasi completamente, e le penombre sono del tutto cancellate, come abbiamo osservato in Spagna. È vero che l'immagine di Venere non potrà sparire nella stessa maniera, perché spiccherà sul disco del Sole come un cerchio completamente nero, ma si presenteranno altre difficoltà, che non possiamo discuter qui.

La disparizione delle macchie nelle prove fotografiche si accorda perfettamente con le misure fotometriche del Signor Chacornac, che

danno all'intensità luminosa degli orli solari un valore pressoché uguale a quello delle penombre.

La misura esatta delle variazioni del potere fotogenico ai differenti punti del disco solare è estremamente difficile, e non stata ancora effettuata.

### **§ III. — Assorbimento dei raggi calorifici.**

Per determinare la temperatura relativa dei differenti punti del Sole, noi ci siamo serviti dell'apparecchio destinato alle proiezioni. Il diaframma sul quale si produce l'immagine era forato al centro da un'apertura, dietro la quale si collocava una pila termoelettrica estremamente sensibile. Il galvanometro era situato su di un sostegno fissato al muro, in modo da evitare tutte le vibrazioni che avrebbe potuto produrre il movimento della cupola. Un diaframma, ricoperto di velluto nero, era collocato dietro la pila, per impedire a tutti i raggi estranei di venire a turbare l'esperimento, e allo stesso scopo si tendevano dei panni neri sul pavimento e all'intorno della cupola. Sul diaframma anteriore, una riga graduata in parti del diametro solare faceva immediatamente conoscere la posizione del punto osservato rapporto al centro o al contorno.

In un primo esperimento, fatto il 19 marzo 1852<sup>7</sup> la pila essendo completamente aperta, e l'immagine mediocrementemente ingrandita, la deviazione del galvanometro fu di 31 gradi per il centro, e di 21 per una superficie eguale presa presso l'orlo. Per ottenere risultati più esatti, si adattò alla pila un diaframma, la cui superficie equivaleva presso a poco ad un quadrato avente per lato un arco di un minuto, e si regolò l'istrumento in maniera da ottenere delle variazioni di temperatura, proporzionali agli angoli di spostamento dell'ago. Per rendere poi i risultati sempre comparabili tra loro, si rappresentò con 100 l'irraggiamento osservato al centro, e si ottenne così il prospetto seguente:

---

<sup>7</sup> Riportiamo questa data, perché negli Atti dell'Accademia dei Lincei, vi è una gran confusione nelle date delle pubblicazioni. Alcune esperienze posteriori alle nostre, sono state pubblicate con una data anteriore a quella dovrebbero avere. Nessuno si è occupato di questa questione prima di noi.

<i>Distanza dalla Pila</i> al centro del Sole, espressa in minuti	<i>Numero</i> esprimente la irradiazione di ciascun punto
+ 14', 90	57, 39
+ 11, 31	88, 81
+ 1, 77	99, 48
— 10, 90	81, 32
— 14, 88	54, 34

*Tab. XI*

Queste osservazioni sono state fatte dal 19 al 23 marzo 1852. Il segno + indica la parte del disco situata al disopra del centro; il segno — indica la parte situata al di sotto.

In questi esperimenti, non ci fu possibile avvicinarci all'orlo a meno di un minuto. Dopo qualche tempo, ripetendo le medesime osservazioni col grande equatoriale di Merz, abbiamo potuto andare più lontano, ed abbiamo trovato una diminuzione ancora più sensibile. Ma a questo limite estremo, anche adoperando i mezzi più precisi di osservazione, s'incontrano delle difficoltà che è impossibile superare completamente. Siamo obbligati, sotto pena di ottenere risultati irregolarissimi, di lasciare alla pila una certa apertura, ma allora la regione che si esamina è lungi dal possedere una irradiazione uniforme. Di più, è impossibile studiare isolatamente l'orlo, perché i movimenti inevitabili dell'immagine non permettono di conservarla esattamente allo stesso punto della pila.

Così non abbiamo potuto spingere l'esattezza tanto lungi quanto speravamo, abbiamo cessato di continuare questo ricerche, nonostante che i risultati ottenuti sieno assai interessanti.

I numeri che abbiamo citati nel prospetto precedente, conducono a due conclusioni: I. La temperatura, come la luce, diminuisce nel disco solare, dal centro alla circonferenza. Questo fatto, allora contestato, fu messo fuor di dubbio dai nostri esperimenti. II. Il

calore non è simmetricamente repartito nei due emisferi.

Per spiegare questo fatto, che risulta evidentemente dai nostri numeri, non si possono fare che tre ipotesi:

1° la differenza sarebbe dovuta ad una influenza dell'atmosfera terrestre; 2° esisterebbe nel Sole stesso, ma sarebbe puramente accidentale; 3° sarebbe costante, ed allora meriterebbe di essere studiata con cura.

Per eliminare la prima di queste cause, si fece uno studio comparativo di due punti situati simmetricamente da una parte all'altra dell'equatore solare, esaminando prima il punto più basso, quindi osservando il punto più alto, un poco più tardi, quando fu arrivato alla stessa altezza del precedente. In questa maniera, l'influenza dell'atmosfera terrestre, essendo la stessa in tutti e due i casi, doveva sparire nelle differenze. I risultati furono gli stessi di prima, la qual dimostra che la prima ipotesi deve essere abbandonata. La seconda non vale di meglio, perché le osservazioni furono prolungate durante più rotazioni consecutive, senza che i numeri fossero modificati.

Le differenze dunque costanti, e la loro causa risiede nel Sole. Ma quale è questa causa? È una differenza reale di temperatura? O non era piuttosto la posizione particolare dell'equatore solare, che si proiettava allora sul disco al di sopra del centro?

Per risolvere questa questione, si prolungarono le osservazioni fino al mese di settembre, nel qual tempo l'equatore si trovava proiettato sull'emisfero opposto.

Il risultato fu il seguente: fino al mese di agosto si osservò che la temperatura era più elevata nell'emisfero superiore; ma più tardi, e sopra a tutto nel mese di settembre, la differenza fu il più delle volte in senso contrario. Il prospetto seguente contiene le medie dei risultati ottenuti dal dì 8 al dì 15 settembre.

<i>Distanza dal centro</i>	<i>Irradiazione in gradi</i>
+ 14,2	10°,3
+ 10,5	14,6
centro 0,0	17,8
- 10,5	15,48
- 14,2	10,4

*Tab. XII*

Questi risultati discordano evidentemente da quelli del mese di marzo, e il confronto scrupoloso di questi due periodi conduce alle conclusioni seguenti: 1° la temperatura è più elevata nelle regioni equatoriali; 2° tuttavia l'emisfero nord sembra un poco più caldo dell'emisfero sud.

Per assicurarci di quest'ultimo risultato, che la sua singolarità stessa raccomandava alla nostra attenzione, abbiamo adoperato il procedimento seguente.

Sieno *bd* (fig. 17) l'asse dell'ellisse, secondo la quale si proietta l'equatore solare nel mese di marzo, *ab* e *cd* le corde dei due paralleli tirate dalle estremità *b* e *d* di quell'ellisse.

Se l'equatore solare possiede una temperatura più elevata delle zone vicine, i punti *b* e *d* devono essere più caldi dei punti *a* e *c*. Al contrario, quando l'equatore si proietta in *ac* (fig. 18), i punti *a* e *c* devono essere ad una temperatura più elevata dei punti *b* e *d*.

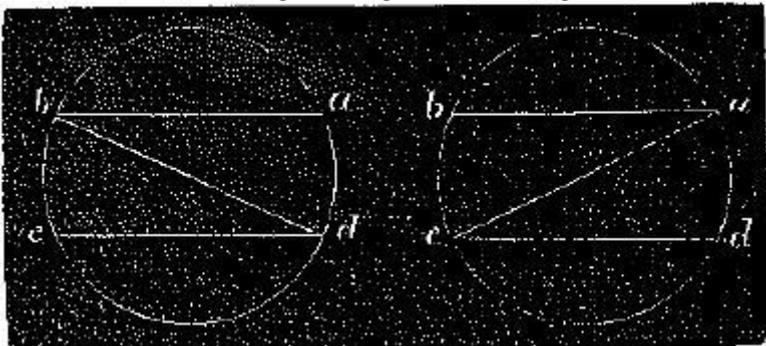


Fig. XVII e Fig. XVIII

Con questo metodo, si può eliminare l'effetto prodotto dall'atmosfera terrestre, facendo le osservazioni presso il meridiano. Noi abbiamo fatto così un gran numero di osservazioni prima con l'equatoriale di Cauchoix, quindi con l'equatoriale di Merz. I risultati che si trovano registrati nelle Memorie del nostro Osservatorio, sono sempre stati concordanti, e ci hanno fornito le medie seguenti:

1° Per il mese di giugno (fig. 17)

a	b	c	d
17.1°	17.8°	16.6°	17.6°

1° Verso la fine di settembre (fig. 18)

a	b	c	d
20.2°	19.7°	21.1°	20.0°

Si riconosce perfettamente che sull'equatore la temperatura è massima. Di più, se si confronta con l'equatore il 30° parallelo, le temperature di questi due punti sono tra di loro nel rapporto di 15 a 16. Si trovano delle differenze ancora più sensibili, prendendo per mine di paragone punti più vicini ai poli; ma noi non le abbiamo utilizzate, affine d'evitare l'influenza delle differenze di altezza e di rifrazione. Non abbiamo mai osservato variazione di temperatura alle differenti longitudini; tuttavia non oseremmo affermare che non ne esistano affatto, e forse si scopriranno nelle ricerche posteriori. Abbiamo sempre trovato una temperatura più bassa nelle macchie e nelle regioni che le circondano; noi abbiamo anche notato numerose anomalie nelle leggi che cercavamo di riconoscere, quando eravamo sospinti ad osservare un punto vicino ad una macchia.

Bisognerebbe ripetere queste osservazioni di tempo in tempo, per vedere se le leggi che abbiamo indicate son ben costanti, ma ne siamo stati distolti da altre occupazioni. Del resto, queste ricerche non sono così facili come potrebbe credersi, e richiedono molta pazienza; le condizioni meteorologiche turbano spesso le osservazioni anche nella stagione più favorevole. Così molte serie rimangono incomplete, e per conseguenza inutili. Aggiungiamo che nei paesi caldi, queste osservazioni sono penosissime nell'estate, quando cioè sarebbero più facili e più profittevoli.



spessore sarà tanto maggiore, quanto più sarà lontano dal centro il punto da cui saranno partiti. Il più piccolo spessore sarà  $ok$ , per un raggio che parta dal centro; il più grande sarà  $bn$ , per un raggio che parta dall'orlo; esso prenderà un valore intermedio, come  $hm$ , per un punto situato tra l'orlo e il centro. Degli osservatori situati nel Sole, in questi differenti punti scorgerebbero la Terra ad altezze zenitali differenti. Dal punto  $k$ , corrispondente al centro del disco solare, la Terra apparirebbe allo zenit; dal punto  $b$ , si vedrebbe all'orizzonte, dal punto  $h$ , situato fra i due, si vedrebbe ad una distanza dallo zenit; misurata dall'angolo  $hCk$ . In questo tragitto, i raggi che escono dall'atmosfera solare, si trovano nelle stesse condizioni, quanto ai risultati, di quelli che penetrano nell'atmosfera terrestre. Così il massimo di assorbimento ha luogo per l'orlo, ove il raggio esce orizzontalmente; il minimo corrisponde al centro, ove il raggio esce seguendo la verticale. È facile calcolare, in base alla teoria, l'assorbimento che corrisponde ad un punto dato, donde la Terra sarebbe veduta ad una distanza zenitale  $\theta$ , essendo quest'angolo eguale a quello che fanno con la verticale del luogo i raggi che si dirigono verso la Terra. Prendendo la media dei numeri che abbiamo dati nei nostri prospetti, si arriva ai risultati seguenti:

Distanza dal centro	— Valore di $\theta$ ,	— Intensità luminosa
0' 00	0°0'	100.00
11'10	43'55	85.06
14'92	68'38	55.86

Introducendo questi numeri nelle formule, si può calcolare l'assorbimento prodotto in un punto qualunque della superficie solare. Si trova così che in un punto che corrisponde ai  $\frac{3}{4}$  del raggio, esso è eguale a 0,725. Bouguer aveva trovato 0,729. Non si potrebbe desiderare una coincidenza più perfetta.

Si vede che la quantità di calore che giunge a venir fuori dal Sole, si trova singolarmente ridotta dall'azione atmosferica; ma siccome quest'azione non è la stessa in tutti i punti, così ci sentiamo sospinti a formulare le due seguenti domande: 1° quale è l'assorbimento operato dall'atmosfera nella direzione del suo più debole spessore, cioè per  $\theta=0^\circ$ ? 2° quale è l'assorbimento totale, e per conseguenza quale sarebbe la irradiazione assoluta, se non ci fosse atmosfera? Si può rispondere a queste domande adoperando le formole conosciute, quantunque esse non sieno che approssimative, perché i dati relativi al Sole non escono dai limiti che gli astronomi hanno adottati nello

stabilire quelle formule.

I risultati sono iscritti nella tavola seguente. Nella prima colonna si trova la posizione del punto che ha servito di base al calcolo; nella seconda, il valore corrispondente angolo  $\theta$ , cioè la distanza zenitale della Terra veduta del Sole; nella terza, l'intensità d'irradiazione, che rimane dopo l'assorbimento per il punto situato al centro del disco, essendo la irradiazione totale espressa dall'unità; infine, la quarta indica la frazione della irradiazione totale, che giunge ad uscire dall'atmosfera solare, e si spande realmente nello spazio.

Posizione sul raggio	Valore dell'angolo $\theta$	Intensità residuale al centro	Intensità residuale totale
0, 666	43°, 35'	0, 2833	0, 1019
0, 750	48, 34	0, 2606	0, 0794
0, 875	68, 49	0, 4045	0, 1711
	Media	0, 3095	0, 1172

Tab. XIII

Le cifre dell'ultima colonna dovrebbero essere identiche tra loro, ma si vede facilmente che quei risultati sono lungi dall'essere perfettamente d'accordo; il che può avvenire per le ipotesi adottate, le quali senza dubbio non sono applicabili in maniera rigorosa all'atmosfera solare. Malgrado ciò, noi possiamo trarre da quel prospetto due conclusioni di molto peso: 1° al centro del disco, cioè perpendicolarmente alla superficie della fotosfera, l'assorbimento ritiene i 2/3 circa, o più esattamente i 62/100 della forza totale; 2° l'azione totale di questo involuppo assorbente sull'emisfero visibile del Sole è talmente grande, che non lascia uscire che i 12/100 della irradiazione totale, assorbendo il vale a dire gli 88/100. In altri termini, se il Sole fosse spogliato della sua atmosfera assorbente, ci parrebbe otto volte più caldo e più brillante di quanto apparisce attualmente.

Questa influenza sorprendente dell'atmosfera solare ha il vantaggio d'impedire una dispersione troppo grande e troppo rapida del calore del Sole. La forza viva delle irradiazioni resta racchiusa nell'atmosfera del Sole, e contribuisce a conservare la sua alta

temperatura. L'assorbimento non produce alcuna perdita reale: esso non distrugge punto le irradiazioni che ritiene al loro passaggio, ma impedisce una dispersione che sarebbe inutile ed anche dannosa per i pianeti. Che cosa diverrebbe, infatti, il nostro sotto una irradiazione otto volte maggiore di quella che si produce attualmente? L'esperienza prova che nei climi in cui il cielo è puro, non si può restare impunemente esposti ai raggi del Sole, se si raddoppia la loro potenza con una semplice riflessione sopra uno specchio piano.

Ora se la irradiazione divenisse otto volte più grande, nessuna creatura potrebbe più vivere sul nostro pianeta.

Bisognerà tener conto di questo assorbimento atmosferico, quando si vorrà procurare di valutare la temperatura del Sole, perché i calcoli che si farebbero senza tenerne conto, darebbero evidentemente un risultato otto volte troppo debole:

Del resto, non è cosa sorprendente che un'atmosfera così considerevole possieda una gran forza assorbente, perché l'atmosfera terrestre, che ci sembra tanto trasparente, assorbe, seguendo la verticale, un quarto dei raggi che cadono sulla sua superficie superiore.

L'atmosfera solare possiede un assorbimento elettivo ed una termocrosi speciale? Melloni c'indirizzò egli stesso questa domanda, e noi, per rispondere, siamo ricorsi ad un gran numero di esperimenti; abbiamo fatto passare i raggi solari a traverso differenti sostanze: l'acqua, il vetro, il quarzo affumicato, ecc., ma non abbiamo ottenuto nessun risultato certo. Ciò dipende evidentemente da questo, che all'influenza dell'atmosfera solare si aggiunge quella dell'obbiettivo dell'oculare, influenza ben sufficiente per spogliare i raggi che si osservano, degli elementi già conosciuti come i più termocroici. Vedremo più tardi che le irradiazioni solari non sono omogenee, neppure quando ci giungono seguendo la verticale, e che esiste senza dubbio una termocrosi; ma questo studio richiederebbe strumenti più delicati di quelli di cui disponiamo.

Il bello esperimento del signor Tyndall sulla calorescenza, cioè sulla trasmissione isolata dei raggi oscuri a traverso ad una soluzione di iodio nel solfuro di carbonio, è un fatto che prova l'esistenza di una vera termocrosi. Noi ne parleremo più tardi, discutendo la composizione dell'atmosfera solare. Per il momento, ci basti di averne accertato l'esistenza, e di aver mostrato l'enorme potere assorbente che ne risulta.

**PARTE I**  
**CAPITOLO VI**  
**FENOMENI OSSERVATI NELLE**  
**ECCLISSI; CONSEGUENZE CHE SE NE**  
**POSSONO DEDURRE RELATIVAMENTE**  
**ALL'ATMOSFERA DEL SOLE.**

**§ I. Cenni storici.**

Le eclissi totali del Sole erano nel passato una causa di terrore per i popoli ignoranti e superstiziosi: esse sono divenute per la scienza una sorgente di dati preziosi relativamente alla costituzione dell'atmosfera solare. L'astro del giorno, cessando allora d'illuminare la nostra atmosfera, ci permette di studiare certi fenomeni curiosi ed istruttivi, che sono utilissimi allo scopo, che ci siamo proposto. Noi dunque non possiamo trascurare questo argomento, e lo studieremo in tutti i suoi particolari così complessi e così interessanti. Cominciamo da alcune nozioni generali, che sono assolutamente essenziali.

Lo eclissi totali sono state sempre osservate premurosamente o descritte con entusiasmo, ma è soltanto da un quarto di secolo che si studiano in una maniera perfettamente razionale. Da quel tempo in poi, la perfezione delle tavole solari e lunari, e l'esattezza dei dati geografici hanno permesso agli astronomi di calcolare anticipatamente, in una maniera rigorosa, la linea che deve tracciare sul nostro globo il centro dell'ombra lunare, la sua larghezza esatta e la durata precisa del fenomeno. Allora soltanto gli astronomi hanno potuto muoversi con piena sicurezza, per andare ad osservare le eclissi, senza esporsi, come altre volte, a perdere il frutto di spedizioni laboriose.

L'osservazione delle eclissi si riduceva, non è gran tempo, alla determinazione dell'istante preciso in cui aveva luogo l'occultazione. I risultati venivano utilizzati per correggere le tavole del Sole e della Luna, e per conoscere con maggior certezza il rapporto del diametro di questi due astri. Siccome i calcoli si fanno egualmente bene,

prendendo per punto di partenza l'osservazione di un'eclisse parziale, così non vi era uno speciale interesse a fare dei lunghi viaggi, per recarsi nella zona della totalità. Ma ai giorni nostri gli astronomi, incoraggiati dai nuovi mezzi di osservazione cui essi dispongono, si occupano in modo più speciale dello studio fisico dei corpi celesti. Bisogna dunque dirigere verso questo scopo l'osservazione delle eclissi, e ciò non è possibile che a condizione di recarsi in quella zona privilegiata, dove l'occultazione del Sole è completa.

Nel 1842, per la prima volta, l'attenzione degli scienziati fermossi su questo punto. Si osservarono dei fenomeni che non si erano nemmeno supposti fino allora, e fu questa quasi una vera rivelazione: un nuovo orizzonte sembrava offrirsi alla contemplazione degli scienziati, e non si trascurò nessun mezzo per studiarlo con cura. Da quel tempo infatti un gran numero di astronomi intrapresero simultaneamente dei viaggi, qualche volta assai lunghi, per andare ad osservare ciascuna delle eclissi che avevano luogo. Questi viaggi presentano grandissimi vantaggi. Moltiplicando il numero dei punti di osservazione, e scegliendoli convenientemente, si prevengono i difetti, che per un osservatore isolato possono tanto facilmente risultare dallo stato del cielo; ma sopra a tutto, si può distinguere a colpo sicuro quello che è accidentale nei fenomeni, da quello che è indipendente dagli osservatori e dalle circostanze dell'osservazione. Infine, una divisione intelligente del lavoro permette di osservare questi fenomeni quanto completamente è possibile, malgrado la loro corta durata, cosicché è bastato un piccolo numero di eclissi per fare avanzare rapidamente lo studio della costituzione fisica del Sole. Indichiamone le principali:

1° Dobbiamo mettere in prima linea quella del 1842, che fu osservata in Francia dagli astronomi francesi, in Italia dagli Inglesi e dagli Italiani, in Austria dai Tedeschi. Arago ha discusso queste osservazioni in una sapiente memoria inserita nell'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pel 1846;

2° L'eclisse del 1851 è stata osservata in Svezia dagli Inglesi, dai Tedeschi e dai Russi; e una collezione preziosa di osservazioni è stata pubblicata nel tomo XXI delle *Mémoires de la Société Astronomique de Londres*;

3° L'America ha fornito pure la sua quota: l'eclisse del 30 ottobre 1853 fu osservata da Moesta, quella del 7 settembre 1858 da Gillis e

dai Brasiliani, quelle del 1865 e del 1867 dal padre Cappelletti, dall'astronomo Moesta e da alcuni altri scienziati. Tali osservazioni hanno molto contribuito ad assicurare la generalità di certi fenomeni, la cui importanza è divenuta perciò molto più grande;

4° Nel 1860, gli astronomi più capaci dell'Europa si erano dati appuntamento in Spagna. Per le osservazioni numerose che furono fatte, e sopra tutto per le fotografie che si ottennero in due punti diversi, questa eclisse è da ritenersi come una delle più importanti e delle più fertili in risultati. Tutti quei lavori sono stati premiati il 18 agosto 1868. L'eclisse presentava una delle più favorevoli circostanze nella sua lunga durata, sei minuti e venticinque secondi, presso a poco la più lunga possibile.

Ciò sospinse i governi a fare delle spese considerevoli ed incoraggiò i dotti ad affrontare le fatiche di lunghi e scabrosi viaggi per andare a collocarsi in paesi appena civilizzati. Questi sacrifici hanno ricevuto la loro legittima ricompensa, come riconosceremo ben presto, studiando le scoperte feconde che ne furono il frutto.

6° Finalmente bisogna menzionare l'eclisse che ebbe luogo nell'America del Nord, il 7 agosto 1869, nella quale si verificò un numero di conclusioni ottenute nel 1860, coll'aiuto della fotografia.

In questa nostra esposizione, ci sarà impossibile di seguire passo per passo ciascuna delle relazioni che la scienza possiede; ma ne trarremo solamente quello che sarà utile al nostro scopo, appoggiandoci principalmente su ciò che abbiamo osservato noi stessi nel 1860. Ci eravamo collocati in condizioni favorevoli, al *Desierto de las Palmas*, sulla sommità del monte S. Michele, a una altezza di 725 metri, al disopra del livello del mare, sopra un piccolo isolotto da cui scoprivamo un orizzonte magnifico e molto esteso. Il cielo era di una purezza ammirabile, che facilitò molto nostre osservazioni.

Quanto ai dettagli che non potranno qui trovare posto, rimanderemo il lettore alle Memorie del nostro Osservatorio per l'anno 1863, e alle altre pubblicazioni di quel tempo. Indichiamo specialmente la bella descrizione del signor de la Rue, che citeremo spesso, e che si trova nelle *Philosophical Transactions* dell'anno 1862.

**§ II. — Fenomeni generali che si osservano in un'eclisse totale.**

Un'eclisse non comincia a presentare una importanza veramente seria, che a partire dal momento in cui il centro del Sole è coperto dalla Luna. La luce principia allora a diminuire in una maniera sensibilissima, e quando si avvicina il momento della totalità, questa diminuzione è talmente rapida che ha qualche cosa di spaventoso. Quello che colpisce allora, non è soltanto l'indebolimento della luce, è, in special modo, il cambiamento di colore che presentano gli oggetti. Tutto diviene triste, cupo e quasi minaccioso. Il paesaggio più verde si copre di un color grigio; nelle regioni più elevate e più vicine al Sole, il cielo prende un color piombo, mentre presso l'orizzonte, diviene di un giallo verdastro. La faccia dell'uomo presenta un colore cadaverico, analogo a quello che produce la fiamma dell'alcool puro saturo di cloruro di sodio.

Quel colore giallastro e sopra a tutto l'abbassamento della temperatura sembrano accusare una diminuzione nella potenza vitale della Natura. Al tempo stesso un silenzio generale si stabilisce nell'atmosfera, gli uccelletti spariscono, gl'insetti si nascondono; tutto sembra presagire un imminente e terribile disastro. Si capisce benissimo, dice il signor Forbes, che i popoli ignoranti siano colpiti da un immenso spavento, vedendo così impallidire l'astro del giorno, e che essi si figurino di assistere al principio di una notte eterna.

Il P. Faura ci narra che nell'ultima eclisse del 1868, dei Chinesi si gettarono nelle imbarcazioni, per fuggire il disastro, e non furono rassicurati dalla presenza degli astronomi, che erano coi loro strumenti, pronti a fare le osservazioni!

Delle circostanze secondarie, che non hanno d'ordinario alcuna importanza, contribuiscono singolarmente a dare a queste impressioni qualche cosa di angoscioso.

Così nel 1842, una nube che aprivasi a piccola distanza dal Sole, pareva agli occhi dei signor Airy quasi una massa enorme che si precipitasse sulla terra con una rapidità spaventosa.

Tutti gli osservatori concordano nel descrivere tali emozioni. Noi stessi, quantunque meglio preparati di qualunque altro, fummo presi da un sentimento d'oppressione e, diciamolo pure, da uno spavento involontario. Fu necessaria tutta la potenza del nostro volere per padroneggiar ogni nostra facoltà alla vista di quel fenomeno

imponente.

Quando l'osservatore è favorevolmente collocato, gli è facile di seguire il cammino dell'ombra totale che si avvanza come una tempesta cupa e minacciosa. Dall'altezza del monte S. Michele vedemmo questa colonna nera invadere la pianura molto più rapidamente che non può fare un uragano, e con una velocità analoga a quella di una locomotiva lanciata a tutto vapore. Fu allora specialmente che restammo colpiti dal silenzio solenne, che s'impadronisce della Natura durante quella notte momentanea. Noi eravamo contornati da una folla curiosa e ciarliera, le cui conversazioni incessanti ci avevano molto molestato per tutta la giornata. Ma quando si avvicinò il momento solenne, tutto divenne tranquillo, e noi potevamo contare i battiti del nostro cronometro così facilmente come l'avremmo potuto fare a mezzanotte nella solitudine di un osservatorio. Tutti gli occhi e tutte le attenzioni erano fissate sulla tenue curva del Sole che stava per disparire.

In quegli ultimi istanti quella curva a mezzaluna diminuisce con una rapidità straordinaria; e ben presto si riduce ad un tenue filo terminato da punte acutissime; prominenze del contorno lunare lo dividono spesso in più parti, e infine sparisce.

Tosto la scena cambia in una maniera improvvisa e completa. In mezzo ad un cielo color di piombo, si stacca un disco perfettamente nero, contornato da una aureola magnifica di raggi argentati, tra i quali scintillano dei getti di fiamme rosee. Questo spettacolo è al tempo stesso terribile e sublime. Per farlo meglio comprendere, trascriviamo semplicemente la descrizione genuina delle impressioni che provò l'astronomo Baily nel 1842 quando gli scienziati erano meno familiarizzati con questi fenomeni.

«Io era, egli dice, tutto occupato a contare le oscillazioni del mio cronometro, per afferrare l'istante preciso dell'oscuramento totale immerso in un silenzio profondo in mezzo alla folla che si accalcava nelle strade, sulla piazza ed alle finestre delle case, e la cui attenzione era tutta assorta nello spettacolo che contemplava. Ad un tratto l'ultimo raggio sparisce, ed io sono assordito da una esplosione di applausi e di evviva, che scoppiano in mezzo a quella immensa moltitudine. Tutte le mie fibre si elettrizzano, ed un fremito s'impadronisce di me; guardo il Sole, e mi trovo in faccia al più meraviglioso spettacolo che l'immaginazione possa creare. L'astro del giorno era sostituito da un disco nero come la pece, circondato da

un'aureola brillante, analoga a quella che si rappresenta attorno alla testa dei Santi.

« A quella vista restai colpito di meraviglia; perdetti una parte considerevole di quei momenti preziosi, e fui sul punto di dimenticare lo scopo del mio viaggio. Io mi aspettava certo, dopo le descrizioni che avevo lette, di vedere attorno al Sole una certa luce, ma debole e crepuscolare; mentre vedevo un'aureola brillante, il cui splendore, vivissimo sull'orlo del disco, diminuiva gradatamente e spariva una distanza eguale presso a poco al diametro della Luna. Io non aveva previsto nulla di simile.

« Ben presto riscosso dalla mia meraviglia, misi di nuovo l'occhio al mio canocchiale, dopo aver tolto il vetro nero Una nuova sorpresa mi attendeva. La corona dei raggi che contornava il disco lunare, era interrotta in tre punti da immense fiamme color porpora, il cui diametro era di circa due minuti. Esse parevano tranquille, e presentavano lo stesso aspetto delle sommità nevose delle Alpi, illuminate dal Sole che tramonta. Mi fu impossibile distinguere se quelle fiamme fossero nuvole o montagne; e mentre io cercava di studiarle per determinarne la natura, un raggio di Sole brillante viene a ravvivare la Natura, ma m'immerge in quella tristezza che prova una persona quale vede sparire l'oggetto dei suoi voti, al momento in cui stava per afferrarlo. »

Per quanta abitudine si abbia a questi fenomeni, l'impressione che essi producono nell'osservatore non è meno viva. È impossibile guardare con indifferenza quel disco nero, che sostituisce il Sole, e l'aureola argentata che lo circonda, distesa sopra un cielo color piombo, che non fa altro che aumentare il contrasto.

L'oscurità che regna al momento della totalità dell'eclisse, dipende in gran parte dallo stato del cielo. In generale si può paragonare a quella che regna una mezz'ora, o tre quarti d'ora dopo il calar del Sole, quando non si vedono ancora che le stelle più brillanti. Ma ordinariamente si scorge Venere molto tempo avanti il momento della totalità. Per un effetto di contrasto, dovuto alla sparizione rapida della luce l'oscurità sembra più grande di quello che è realmente. In generale si può leggere un libro stampato in grossi caratteri, ma è impossibile distinguere nettamente la gradazione degli strumenti, e di vedere l'ora sull'orologio; cosicché gli osservatori devono esser muniti di lumi accesi per leggere i cronometri e gl'istrumenti graduati.

La corona, quando il cielo è perfettamente puro, ha un'estensione eguale al diametro della Luna; ma non brilla di vivo splendore che in limiti assai più ristretti. Essa lascia spesso fuggire dei raggi, o sprazzi di luce di una lunghezza considerevole, di cui avremo occasione di parlare più tardi. Le fiamme rosse sono spesso visibili ad occhio nude, e nel *Desierto*, i contadini dicevano che il Sole aveva del fuoco (*el Sol tiene fuego*).

Durante l'ultimo eclisse del 1868, esse presentavano l'aspetto di torri impiantate sulla Luna, e qualche osservatore, per una illusione ottica, le prendeva per incavature del disco lunare.

Il primo raggio del Sole fa sparire tutta questa scena magica: il Sole brilla come una lampada elettrica, proiettando delle ombre spiccate, ma i cui orli sono vacillanti. Si crede vedere delle onde luminose propagarsi come strisce ondegianti e serpeggianti. La Natura ancora melanconica sembra riprendere la sua gaiezza ordinaria, il sentimento di tristezza che si era impadronito di tutti gli spettatori, cede il posto ad una impressione dolce ed allegra.

Si può, durante qualche tempo, seguire il cammino dell'ombra che si allontana, e dalla sommità del monte S. Michele, noi potemmo vedere il cono oscuro involgere da prima le isole Columbrètes, e spandersi poscia sulla superficie lontana del mare.

Tale è, in poche parole, la scena che presenta un'eclisse totale. Le descrizioni che ne sono state fatte, sono spesso esagerate, ma questa esagerazione stessa è una prova dell'impressione profonda che subiscono tutti gli spettatori. Quantunque già avvertiti dagli scritti dei loro antecessori, gli osservatori dell'ultima eclisse hanno provato le stesse emozioni. Gli scienziati durano fatica a fare i loro lavori, e con molta pena si distaccano dalla contemplazione passiva del grande spettacolo che offre loro la Natura. Il signor de la Rue ci diceva, e l'ha stampato anche nelle sue Memorie, che alla prima occasione, si moverebbe volentieri per andare ad osservare un'altra eclisse, ma come semplice amatore e senza istrumenti, per godere a suo agio delle impressioni che era stato obbligato a reprimere nel 1860.

Terminiamo qui questo sommario generale, ed entriamo nella discussione dei dettagli scientifici che hanno per i nostri lettori e per noi un'importanza tutta particolare.

### **§ III. — Fenomeni che accompagnano la sparizione e la riapparizione del Sole nelle eclissi totali.**

Avanti di sparire completamente, il Sole si riduce da prima ad una curva sottile, a luna crescente, terminata da punte acutissime. All'ultimo momento, quel filetto spesso tagliato dalle sommità delle montagne che si trovano sull'orlo lunare, e si può prevedere questo fenomeno dalla forma del contorno della Luna, che si veda da molto tempo proiettarsi sul Sole. Se le montagne sono numerose, il filo si spezza, facendo sorgere una quantità di punti brillanti che somigliano a dei chicchi di corona. Questa apparenza assai facile a comprendersi: essa dipende da un fenomeno d'irradiazione, i cui effetti sono anche esagerati dai difetti del canocchiale, o dalla imperfezione con cui è collocato al punto. Entriamo in qualche particolare.

Quando guardiamo un corpo molto luminoso, ci pare sempre più grande di quello che è realmente.

Tutti conoscono il curioso fenomeno della luce cenerognola, che si presenta nei primi giorni della Luna nuova; oltre il corno vivamente illuminato dal Sole, si distingue nettamente il resto del disco debolmente illuminato; per un effetto d'irradiazione, il corno sembra appartenere ad un disco più grande di quello della Luna.

L'irradiazione dà luogo anche ad un fenomeno importante, che rende difficile l'osservazione del passaggio dei pianeti sul Sole. Supponiamo che si cerchi di terminare l'istante preciso del secondo contatto interiore. Il pianeta si distacca molto nettamente come un piccolo cerchio nero sul disco brillante del Sole. Esso è ancora ad una certa distanza dal contorno, quando l'osservatore vede formarsi un cordone o legamento nero, che va allargandosi sempre più fino al momento in cui i due dischi sembrano tangenti all'interno. L'osservatore resta dunque incerto del momento preciso in cui ha luogo il contatto, non sapendo se debba notare il momento in cui si è formato il filo nero, o quello del contatto apparente.

Tutto ciò divien facile a spiegarsi, se si nota che il Sole per un effetto d'irradiazione, deve parerci più grande di quello che è realmente. Esso è limitato, non dal suo contorno apparente, ma da un cerchio di più piccolo diametro, che noi indichiamo con una linea punteggiata. Quando il pianeta arriva a quel limite, il contatto ha realmente luogo, tutti i raggi luminosi, che vengono da quella regione del Sole, sono

intercettati, e il filetto deve formarsi. Così dunque, per i contatti interni, ciò che bisogna osservare con cura è, all'entrata, il momento in cui il filo si rompe, et all'uscita, quello in cui si forma. Il padre Hell ha diligentemente notato questi fenomeni nel 1768, nella sua osservazione del passaggio di Venere; e ci fa quindi meraviglia che sia stata tanto screditata tale osservazione, la più particolareggiata forse di quelle che allora furono fatte.

Il signor Faye ha reso miglior giustizia al P. Hell. Dopo aver discusso i suoi risultati, aggiunge:

« Ci sarà difficile di far meglio nel 1874. »

Quello che si osserva quanto ai pianeti, si verifica pure per la Luna durante le eclissi. Siano *abc* (fig. 20) una serie di prominenze lunari. Quando esse arriveranno all'orlo vero del Sole, indicato dalla linea punteggiata, dovranno formare una serie di fili neri. L'anello apparente si troverà così separato in più parti, prenderanno facilmente la forma di chicchi irregolarmente rotondi, se alle circostanze che abbiamo adesso indicate, si aggiunge una certa imperfezione nel canocchiale o nella sua posizione.



Fig. XX

Nella nostra osservazione al *Desierto*, abbiamo veduto le punte affilatissime della curva rompersi, ma senza che i frammenti offerissero l'apparenza di chicchi di corona; e ciò deriva dall'assenza di lunghe catene di monti; ed anche dall'eccellente canocchiale di Fraunhofer, che abbiamo usato. Il signor de la Rue ha fatto le stesse annotazioni, e tutti gli osservatori sono unanimi a riconoscere che quelle illusioni diminuiscono molto, quando si ha cura di mettere esattamente al punto, facendo muovere di tempo in tempo l'oculare, a causa delle variazioni cagionate dai cambiamenti di temperatura.

Per bene studiare sparizione della curva, bisogna che l'oculare sia munito di un vetro graduato, e si deve tenerlo in mano per poterne modificare la posizione e toglierlo all'ultimo istante. Si riconosce allora che la luce è debolissima presso all'orlo.

Così, guardando dalla parte centrale del nostro vetro, avremmo giudicato che il Sole era sparito, mentre era ancora visibilissimo nella parte più sottile. Due o tre secondi avanti la sparizione totale, vedemmo la corona, ancora pallidissima, ma nettamente formata.

L'ultimo filo luminoso non disparve con quella istantaneità che si osserva nell'occultarsi delle stelle: esso disparve gradatamente, e ci fu ben difficile valutare la frazione di secondo. Al momento, in cui giudicai completa l'occultazione, levai il vetro colorato, ma restava ancora un filo di luce così viva, che ne fui un istante abbagliato. Però disparve assai prestamente in modo ch'io potei continuare la mia osservazione, e lo vidi trasformarsi a poco a poco in un arco di luce rosa, terminato da un'infinità di punte. Queste furono eclissate alla loro volta al termine di sei secondi, e allora comparvero le protuberanze o fiamme rosse.

Questi particolari della nostra osservazione sono conformi a quelli che furono dati anteriormente dal signor Airy, e più tardi dal padre Cappelletti e dal signor Stephan. Il signor Airy, nel 1842, era accompagnato da un osservatore che guardava ad occhio nudo, e che era incaricato di avvertirlo del momento in cui il Sole sarebbe sul punto di sparire. Ma, quando gli fu dato il segnale convenuto, egli aveva già notato l'istante della sparizione; avendo quindi tolto il vetro nero dal canocchiale, fu colpito da un vivo raggio di luce. I signori Stephan e Tisserand videro qualche cosa di simile all'osservazione che fecero alle Indie, nel 1868. Ecco come si esprimono: «Il secondo contatto non fu seguito da una brusca sparizione di tutta la luce viva. Dopo la sparizione dell'orlo del Sole, la Luna ci parve ancora come orlata da un contorno luminoso tenue, di un quarto di minuto circa, di uno splendore simile presso a poco a quello del Sole. Questo anello brilla talmente che può condurre in errore sull'esistenza vera del contatto.»

Il P. Cappelletti dice alla sua volta, a proposito dell'eclisse che osservò al Chili, il 25 aprile 1865:

«Durante la totalità, la Luna era contornata da un anello (anillo) di un quarto di minuto circa, e intorno a questo anello trovavasi la corona.»  
Quell'anello è stato egualmente segnalato a Mantawalok.

Potremmo aggiungere altre testimonianze, ma quelle che abbiamo citate sono sufficienti per dimostrare che vi ha fra la fotosfera e le protuberanze uno strato brillantissimo, che ritroveremo egualmente nelle fotografie.

Siccome questo strato brillante orlato di luce rosea, apparisce evidente che, nel confrontare le osservazioni, non si può fare astrazione dai colori del vetro che viene adoperato. Per assicurarcene, abbiamo misurato il diametro del Sole, adoperando successivamente un vetro bleu e un vetro rosso, ed abbiamo trovato una differenza di due secondi circa.

Da tutto ciò che abbiamo detto, risulta che il Sole non è limitato da un contorno geometrico nettamente definito. Sopra i suoi orli vi è una regione in cui la luce si estingue rapidamente, ma gradatamente, e questa regione ha una estensione di qualche secondo.

Alla riapparizione del Sole, i fenomeni si producono in senso inverso, ma alcuni di essi sono allora più facili ad afferrarsi, poiché l'occhio non è più, come al principio, abbagliato dalla luce. Per esempio, si distingue più nettamente l'orlo dentellato di color rosa, che circonda tutto il disco; si può pure continuare a vedere le protuberanze e la corona qualche istante dopo la riapparizione del Sole.

Nell'anno 1860, il signor de la Rue poté vedere una protuberanza prima della totalità, guardando il Sole per riflessione sopra un cristallo non stagnato. Il signor Bruhns ne vide una due minuti dopo l'apparizione.

Parleremo più tardi della natura delle protuberanze: ci basti, per il momento, di segnalare un'illusione ottica, che si produce assai di frequente, e nella quale l'immaginazione ha una gran parte. Siccome il movimento della Luna svela successivamente ciascuna di quelle fiamme, parecchi osservatori hanno creduto che esse si formassero effettivamente sotto i loro occhi. Noi sappiamo adesso che le protuberanze esistono indipendentemente dall'eclisse: l'oscurità non fa altro che renderle visibili.

Un poco prima del termine della totalità, la corona diviene generalmente più viva nella parte del Sole, che è sul punto di ricomparire, e si vede formarsi un arco rosa di un'estensione considerevole, che abbraccia presso a poco un sesto del contorno solare. Schumacher lo vide con un'estensione di 90 gradi; il P. Cappelletti non ne vide che una lunghezza da 50 a 60 gradi. Questa

estensione dipende dalla dei diametri apparenti della Luna e del Sole: quando la si conosce, si può calcolare l'altezza dello strato rosa, ed è così che è stata valutata 15 o 20 secondi. In Spagna, quell'arco occupava un'estensione di 60 gradi. Mentre io osservava senza vetro colorato, giunse un momento in cui la luce divenne troppo viva: ritrassi l'occhio dal cannocchiale, ed in quello stesso momento apparve il Sole. Brillava nel mezzo del cielo come una lampada elettrica la corona rimase ancora visibile durante venticinque secondi, ed anche velando con la mano la parte brillante, potei distinguerla durante quarantacinque secondi.<sup>8</sup> Le ombre erano perfettamente delineate, ma vacillanti.

È necessario notare che avanti la riapparizione del Sole, la vivacità della luce mi obbligò a ritirare l'occhio dal cannocchiale. Questo fatto e molte altre osservazioni dimostrano che alla fine, come al principio, si nota una gradazione rapida, ma sensibile della luce fra lo strato rosa e la fotosfera.

Molti osservatori hanno notato grandi oscillazioni sull'orlo del Sole, al momento della sua riapparizione. Il P. Cappelletti dice che gli rammentavano i flutti dell'Oceano al capo Horn. È ben difficile a sapersi se la causa di questo fenomeno si trovi nella nostra atmosfera o in quella del Sole. L'atmosfera terrestre può contribuirvi molto con un'agitazione dovuta al raffreddamento anormale, ch'essa ha subito. Questo raffreddamento cagiona spesso delle nebbie, delle nubi, e qualche volta anche degli aloni, come si osservano al Chili.

L'apparizione del Sole è accompagnata da ombre vacillanti e da frange luminose, che paiono attraversare l'orizzonte. Questa osservazione è stata fatta in molte eclissi, ma sopra a tutto nel 1842 e 1860. Ultimamente, il padre Faura a Mantawalok, cercò di rappresentare il fenomeno con un disegno a linee serpeggianti.

Per fare questa osservazione, il P. Faura aveva steso sul terreno un gran foglio di carta bianca, sul quale si disegnavano le linee ondulate che cercò riprodurre. Non si conosce ancora l'esplicazione di quelle ma le attribuiremmo volentieri all'agitazione che abbiamo notata poco fa nel corno solare stesso. Qualche volta esse appaiono coi colori dell'iride, ed io sarei disposto a paragonarle con l'apparenza

---

<sup>8</sup> Questi dati potrebbero servire a valutare la forza luminosa della Corona, perché nel momento in cui essa sparisce, la sua intensità luminosa è uguale a quella del fascio dei raggi, che parte dal Sole.

che presentano le grandi stelle, quando si osservano con uno spettroscopio semplice ad una piccola altezza al disopra dell'orizzonte. Si vedono allora delle specie di flutti neri correre attraverso lo spettro in direzioni ora più, ora meno inclinate, e che fanno variare l'intensità dei colori, senza cangiare la posizione della stella né quelle delle righe. Questo fenomeno si ricollegerebbe dunque con quello della scintillazione: la parte visibile del Sole essendo strettissima, comporterebbesi alla al modo delle stelle. È questa una di quelle circostanze che si sono poco studiate, e sulle quali si farà bene di attirare l'attenzione degli osservatori.

#### § IV. — *Della corona.*

Quando si osserva un'eclisse ad occhio nudo, il fenomeno più notevole è quello della corona. Gli osservatori antichi la ricordano sempre come un fenomeno straordinario e comprovante con certezza l'esistenza di un'atmosfera lunare; ma noi siamo certi adesso che bisogna ricercarne la causa nel Sole stesso. L'osservazione più antica, in cui si trova questo fenomeno descritto con qualche dettaglio, rimonta all'anno 1239; ed è citata dal Muratori (*Ann. Re. Ital.* t. XIV, col. 1097.)

Il cronista dice che si vide un cerchio attorno al Sole, con un foro infiammato nella parte inferiore.<sup>9</sup>

Si tratta senza dubbio di una protuberanza. Clavio l'osservò pure a Coimbre, il 21 agosto 1560, e ne parla con sorpresa.

La prima descrizione fatta in maniera scientifica dovuta a Vassenio, che osservò il 2 maggio 1733; notò nello stesso tempo le protuberanze, le riguardò come nubi ondegianti nell'atmosfera della Luna. A partire da quel tempo, tutti gli osservatori sono d'accordo nelle loro descrizioni. È sempre un'aureola formata di raggi divergenti; e questi raggi partono da un anello che circonda la Luna, il cui splendore vivissimo, di un bianco argentino o di madreperla, si estende ad una distanza variabile con le circostanze atmosferiche, ma ordinariamente uguale al diametro lunare.

Si è cercato di valutare l'intensità luminosa della corona, ma i risultati ottenuti sono differentissimi tra loro. È ben difficile infatti

---

<sup>9</sup> Quoddam foramen erat ignitum in circulo Solis ex parte inferiori.

una simile valutazione, a causa delle variazioni straordinarie ed eccezionali che presenta la luce in un'eclisse. Quello che è certo, come abbiamo già notato, è che nel 1860 abbiamo potuto distinguere la corona quaranta secondi dopo la riapparizione del Sole. Si può anche, se non vederla, accertare la sua esistenza durante un tempo molto più considerevole, sei o sette minuti circa avanti e dopo la totalità. Infatti se si proietta sopra un diaframma la immagine del Sole, si vede che al di fuori del disco solare, si distingue ancora nettamente il profilo della Luna fino ad una distanza considerevole. Ciò deriva da questo, che il disco lunare spicca con la sua oscurità completa, sul contorno del Sole, ove si sviluppa l'aureola.

Secondo la nostra valutazione, la forza luminosa della corona non deve essere inferiore a quella che possiede la Luna piena nelle circostanze più favorevoli.

La Luna infatti permette di vedere le stelle di prima ed anche di seconda grandezza, mentre durante le eclissi, si distinguono appena le più brillanti. Quello che fa allora sembrare le tenebre tanto spaventose, è la rapidità con la quale si producono.

Tuttavia non bisogna dimenticare che nelle eclissi totali, noi siamo illuminati, non solo dalla corona, ma anche dalla parte dell'atmosfera terrestre, che non è in quel momento nella totalità. Supponiamo che il Sole sia allo zenit al punto *S*. (fig. 21) e che *o* sia la posizione dell'osservatore.

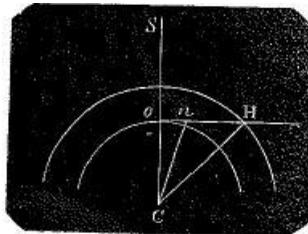


Fig. XXI

Tiriamo un'orizzontale che incontrerà in *H* i limiti dell'atmosfera; il raggio *on* dell'ombra lunare, veduto dal centro *C* della Terra, non sottende guari che un angolo di un grado, anche in un'eclisse di sei minuti di durata, mentre la lunghezza *oH* sottende almeno 7 gradi, Dunque, al punto *o*, l'osservatore sarà illuminato dalla parte dell'atmosfera situata da *n* in *H*. Ma quella luce sarà necessariamente molto debole, perché proviene da una parte assai ristretta del Sole, e

in secondo luogo perché cade sopra una regione elevata, e per conseguenza rarefatta dell'atmosfera. Da ciò quel colore giallo che presenta l'orizzonte, perché è rischiarato soltanto dagli orli del Sole, la cui tinta, come abbiamo veduto nel Capitolo precedente, è di un giallo fuliginoso.

Lo splendore della corona dipende molto dallo stato del cielo. Sotto il bel cielo delle Indie, durante l'ultima eclisse, la sua luce era bellissima, ed al suo chiarore si potevano facilmente leggere dei caratteri di media grandezza. Nel 1842, mentre Baily osservava a Pavia una corona brillantissima, il signor Airy la vedeva pallidissima a Torino, dove il cielo era nebbioso. Nel 1851, a Gottebourg in Svezia, essa era bellissima, mentre a Lilla-Edet, pure in Svezia, era debole e poco estesa.

Ponendo da banda queste differenze, essa è sempre composta nella stessa maniera, e vi si distinguono tre parti ben definite, quantunque le linee di separazione non sieno nettamente tracciate. La prima è una zona vivissima avente 3 o 4 minuti di larghezza, del colore e dello splendore dell'argento. Attorno si trova una zona la cui luce presenta una gradazione rapidissima, e il cui orlo esteriore si confonde col cielo. Infine dalla prima zona parte un certo numero di sprazzi luminosi, composti di linee brillanti intrecciate, e la cui lunghezza variabile secondo le circostanze, raggiunge qualche volta il doppio del diametro della Luna.

La parte più viva della corona si trova immediatamente in contatto con la fotosfera, e la materia rosa pare sospesa in questo strato stesso. Il suo splendore è talmente vivo, che può cagionare dei dubbi sull'istante preciso della totalità. (Cappelletti, Stephan, Tisserand, ecc.) Quando le circostanze atmosferiche sono favorevoli, l'anello, quantunque indebolito moltissimo possiede ancora uno splendore notevole. Si può valutare la sua larghezza da 15 a 20 secondi. Attorno a questo primo strato, ed in contatto immediato con esso, si trova un'altra regione, in cui la luce è ancora assai viva, nella quale si producono le protuberanze, e che si estende fino ad una distanza di 4 o 5 minuti. Essa è di un bianco d'argento; è così brillante, che presenta un aspetto simile alla madreperla. Alcuni osservatori parlano di strati di luce, ma questa espressione non è esatta, perché l'intensità luminosa diminuisce per gradazione insensibile, senza che si possa assegnare alcun limite preciso tra i differenti strati.

La corona è perfettamente concentrica al Sole; le apparenze che

presenta durante l'eclisse, non permettono di dubitarne, perché è molto più brillante nella parte in cui il Sole è più vicino all'orlo lunare. Non si può dunque più attribuirle all'atmosfera della Luna, e bisogna necessariamente riguardarla come appartenente al Sole.

Essa non è tuttavia uniforme in tutte le parti del suo contorno, come si potrebbe credere a prima giunta. Molti osservatori hanno già notato ciò, e sopra a tutto Gillis in America, dove studiò l'eclisse del 1858. Le parti più vive corrispondono in generale alla vicinanza delle protuberanze ed alla base degli sprazzi luminosi.

Ma non si può molto contare sulle osservazioni ottiche, per apprezzare queste differenze. In primo luogo è sempre difficile apprezzare l'intensità di una luce in quelle circostanze, sopra a tutto quando il contorno non è nettamente delineato; in secondo luogo quelle osservazioni sono fatte in fretta, perché gli scienziati sono occupati in cose molto più importanti; o spesso anche i disegni vengono fatti grossolanamente a memoria, quando è terminata l'eclisse. Il solo mezzo per avere delle misure esatte è la fotografia.

Noi abbiamo usato questo procedimento al *Desierto* e riproduciamo qui (fig. 22) la prova che abbiamo ottenuta. La sola ispezione dalla figura mostra che la luce è inegualmente distribuita nelle differenti parti della corona, e che la sua estensione molto più grande 'nel senso dell'equatore. Questa osservazione importante viene confermata dalle prove fotografiche, ottenuto alle Indie nel 1868, dal maggiore Tennant, e da quelle degli Americani nel 1869.

L'uso della fotografia può anche far conoscere la variazione che subisce la luce a misura che ci si discosta dal Sole. Così un'esposizione di sei secondi ci dà una traccia appena sensibile corona; con dodici secondi il risultato è migliore, e in trenta secondi, abbiamo ottenuto la prova qui riprodotta (fig. 22). Il contorno irregolare è assai notevole. La parte più stretta appartiene alla direzione dei poli solari, la linea oscura X Y l'ombra di un filo teso nel canocchiale. Gli astronomi americani di Harmand College hanno ottenuto ultimamente un risultato simile. Noi ritorneremo sopra questo soggetto interessante.

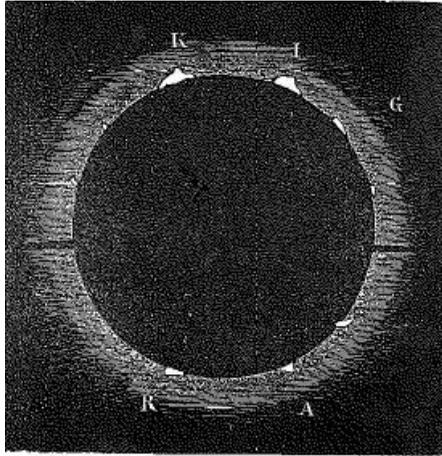


Fig. XXII

La luce della corona è diretta o riflessa? Questo quesito non può essere risolto che con l'analisi polariscopica. Nel 1860, il signor Prazmowski la trovò polarizzata, come pure il capitano Braunfield e sir John Herschel nel 1868. Si è anche determinato il piano di polarizzazione, che passa per il centro del Sole e il punto osservato. Da questi risultati bisognerebbe concludere che la luce della corona è riflessa.

Noi stessi, al *Desierto*, osservammo delle tracce di polarizzazione. Ma avendo gli osservatori francesi ottenuto un risultato differente, bisognerebbe, per avere qualche certezza, discutere le circostanze delle loro osservazioni e la natura degli strumenti che hanno adoperati.

Nel 1868, a Aden, il signor Rziha osservò lo spettro della corona, e lo trovò perfettamente continuo, malgrado tutte le precauzioni che egli prese per ottenere le righe, ove se ne dovessero produrre. I signori Janssen e Tennant sono arrivati al medesimo risultato. Bisognerebbe concluderne che la materia che compone la corona è ad una temperatura elevatissima, ma che non è ancora in dissociazione. Ciò nonostante il signor Young crede di avere osservato, nel mese di agosto dei 1869, in vicinanza di E, una riga brillante che gli sembrava coincidere con quella che è stata notata nei raggi brillanti dell'aurora boreale. Queste divergenze richiedono nuove osservazioni.

Riassumendo: l'aureola è formata dall'atmosfera del Sole, e non da quella della Luna; e si estende molto lontano, diminuendo rapidamente d'intensità a partire da una distanza eguale al quarto del raggio solare. Ma tutti questi fenomeni dipendono da due cause, che sono difficili a valutarsi: lo stato della nostra atmosfera, e le circostanze che producono gli sprazzi luminosi.

### **§ V. Degli sprazzi luminosi.**

Gli osservatori sono poco d'accordo per fissare i limiti della corona, ma essi lo sono ancora molto meno rapporto ai raggi che n'escono, e si prolungano spesso a distanze considerevoli. Le descrizioni differiscono da un'eclisse all'altra, e per una stessa eclisse, sembra che il fenomeno sia stato differente, secondo il punto da cui stato osservato. Siccome questa questione è interessante, noi l'esamineremo con cura, per incoraggiare gli astronomi a studiarla attentamente nelle prossime eclissi.

Nelle osservazioni antiche, ci è stata indicata soltanto l'esistenza dei raggi divergenti, valutandone grossolanamente la loro estensione. Nel 1842, le descrizioni furono dettagliate, ma sempre assai difettose. A Torino ed a Pavia, Airy e Baily non fanno alcuna menzione di questo fenomeno. A Milano, Picozzi e Magrini scorsero due fasci di raggi. Nella Francia occidentale, si segnarono egualmente due fasci opposti. Arago vide, presso il punto culminante della Luna, una larga macchia luminosa, formata di getti che s'incrociavano, e che egli paragonava ad una matassa di fili intrecciati. Peytal li paragona ad un fascio di canapa. Altri osservatori notarono che il prolungamento di questi raggi non passava affatto dal centro del Sole, né da quello della Luna, e che molti erano ricurvi. A Tolone, si distinsero tre fasci: i due principali erano sulla linea d'entrata e d'uscita della Luna. Petit ne vide egualmente tre, come Struve che assegnò loro una lunghezza di  $1^{\circ}5'$ . Come si vede questo relazioni sono confuse e contraddittorie. Noi riscontriamo la stessa incertezza per l'eclisse del 1851, e per le seguenti.

Nel 1860, non osservammo questo fenomeno che molto rapidamente, verso la metà dell'eclisse. Gli sprazzi, di cui abbiamo dato il

disegno, ci parvero tranquilli come i raggi che si vedono tra i nuvoli al calar del Sole. Il Sig. Cepeda, che osservava vicino a noi, vide un raggio ramificato come un corno di cervo. Il Sig. Fielitzch, a Castellon de la Plana, non lungi dal *Desierto*, vide due getti luminosi, che paragona ai bracci di una Lira. Il Signor Struve, a Pobes, vide cinque raggi ben delineati, uno dei quali era ricurvo in forma di uncino.

Il 29 agosto 1867, il Sig. Grosch vide due grandi masse di raggi nella direzione dell'equatore solare, ed un doppio sprazzo luminoso rovesciato presso il polo. Nel 1868, si videro nelle Indie delle grandi irregolarità nella corona, ma manchiamo di particolari precisi. Il capitano Bulloch, che condusse a Mantawalok i professori del collegio di Manilla, ha fatto un disegno in cui si nota sopra a tutti un raggio trasversale, che apparve solamente due minuti dopo la totalità, e persistette fino alla fine. La sua direzione è obliqua rapporto agli altri raggi, che apparvero in principio. Questo disegno si raccomanda per la sua grande esattezza, perché stato confrontato con altri disegni eseguiti colla camera oscura.

Non siamo mai riusciti a fotografare gli sprazzi; ed è per supplire a questa insufficienza della fotografia che i professori di Manilla hanno immaginato il procedimento seguente, Essi preparavano da prima dei fogli, su i quali erano schizzati l'eclisse e l'aureola; in questa maniera, introducendo quei fogli nella camera oscura, si potevano, in poco tempo, tracciare con esattezza le figure corrispondenti alle differenti fasi.

Nel curioso disegno che il P. Cappelletti eseguì al Chili nel 1865, il raggio principale era lungi dall'aver una forma simmetrica, e differiva completamente dagli altri. La sua luce era bianca e vivissima; uno dei suoi orli era nettamente terminato, mentre l'altro era diffuso e andava dileguandosi progressivamente.

Infine il P. Cappelletti fa osservare che questo raggio così notevole corrispondeva alla principale protuberanza.

Tali sono, in poche parole, i dati che possediamo su queste curiose appendici. Quale è la loro causa? Dobbiamo ricercarla nel Sole, nella Luna, o nella nostra atmosfera? Dopo un lungo esame, ci siamo convinti che la loro causa principale è nel Sole, ma che le loro apparenze possono essere notabilmente modificate dalla presenza della Luna, e dalle circostanze atmosferiche.

Per essere compresi più facilmente rammenteremo un esperimento

facilissimo a ripetersi, che abbiamo fatto nell'occasione dell'eclisse di Spagna. All'imposta di una camera oscura si faccia un foro grossolanamente arrotondato, i cui orli abbiano delle dentellature; lo si chiuda imperfettamente col mezzo di un turacciolo, e si faccia passare traverso gl'interstizi un fascio di raggi solari.

Guardando da un lato, si vedrà una serie di raggi paralleli; ma se si colloca l'occhio sull'asse stesso del fascio, si vedrà una corona di raggi divergenti, che si estendono ad una gran distanza dai fori. L'esperimento riuscirebbe egualmente, se si chiudesse un foro perfettamente tondo con un turacciolo incavato nel suo contorno. Questa apparenza è un semplice effetto di prospettiva, a quello che produce i raggi, che si vedono fra le nuvole presso il calar del Sole. Questo esperimento ci dimostra che un'incavatura piccolissima può dar luogo ad un raggio di una grandissima lunghezza; e questa lunghezza sarebbe anche maggiore, se l'aria fosse pregna di polvere, o di fumo d' incenso.

Applichiamo questi risultati ai fenomeni che si producono durante eclissi. Il Sole può dar luogo a raggi simili, sia per le sue protuberanze, sia per le parti più brillanti della corona, che agiranno intorno alla Luna, come le intaccature dell'imposta agiscono intorno al turacciolo. Ma ci s'ingannerebbe completamente, se si giudicasse delle dimensioni della massa luminosa, che produce questo fenomeno, dall'estensione del raggio che si scorge.

Tale estensione dipende molto dal potere riflettore dell'atmosfera, e sopra a tutto dalla posizione dell'osservatore. Una massa luminosa, che oltrepassi il contorno della Luna di qualche secondo solamente può, proporzionalmente allo splendore che essa possiede, illuminare l'atmosfera terrestre ad una profondità considerevole, e questa profondità si tradurrà in una lunghezza proporzionale al raggio visibile. La Luna stessa, col suo profilo dentellato, contribuirà alla produzione del fenomeno, lasciando passare dei fasci luminosi più o meno larghi e più o meno nettamente terminati. La forma dei raggi dipenderà, sopra a tutto, dalla posizione dell'osservatore; gli effetti di parallasse avranno una grandissima influenza, ed a qualche chilometro di distanza si potranno vedere la corona e i suoi raggi sotto aspetti differentissimi.

Infine l'atmosfera terrestre non sarà suscettibile di essere egualmente illuminata in tutti i suoi punti, perché in certi luoghi essa è più trasparente, ed in altri è più carica di vapori; e da ciò resulteranno

delle linee capricciose, producenti un effetto analogo a quello dei raggi luminosi, che traversano una camera oscura, quando si solleva della polvere sul loro passaggio.

Tali sono le idee generali, che bisogna adesso verificare con l'osservazione, per vedere fino a qual punto esse sono esatte ed applicabili al soggetto di cui ci occupiamo.

Se esaminiamo i disegni dati dai vari osservatori, troveremo che essi concordano il più delle volte nel dare ai raggi la direzione delle principali protuberanze, specialmente nella regione dell'equatore ed in quelle delle macchie. Il P. Cappelletti ha fatta questa osservazione, ed essa abbastanza provata dai disegni del Moesta nel 1853, di Gillis nel 1855, e dai nostri stessi quantunque noi non pretendiamo ad una molto grande esattezza. Questa coincidenza è perfetta nei disegni di Bullock.

Nel 1860, il Signor Plantamour osservò la corona, e la disegnò tre volte; al principio, alla metà ed alla fine. Nel primo disegno, oltre la corona, ha tracciato tre fasci di raggi corrispondenti alle protuberanze nella regione d'entrata, nel secondo vi sono cinque fasci due all'est e tre all'Ovest, infine nel terzo vi egualmente cinque fasci, ma si trovano tutti nella regione d'uscita, e corrispondono alle numerose protuberanze che comparvero in quella regione alla fine dell'eclisse,

Questa osservazione è d' accordo con quella di Mantawalok, dove il capitano Bullock vide, due minuti dopo la totalità, formarsi un raggio obliquo diretto verso una delle protuberanze. Altri osservatori, e tra questi Pope Hennesey, assicurano che questi raggi paiono animati da un movimento facile ad accertarsi. Tal movimento apparente si spiega facilmente, se si ricorda che la Luna, cangiando di posizione da un momento all'altro, fa egualmente variare la posizione delle parti luminose rapporto all'osservatore.

Rimane a spiegarsi la forma curva, che presentano i raggi. Si può ancora fare una larga parte alla nostra atmosfera, ammettendo, come abbiamo già detto, che queste curve dipendano dalla maniera con cui il vapore è distribuito nell'aria. Questa spiegazione, che noi abbiamo proposta altra volta, non può che essere plausibile; tuttavia essa non è completamente soddisfacente. Ci siamo convinti della sua insufficienza per un fenomeno, la cui osservazione è dovuta al Signor Tacchini. Questo dotto astronomo viaggiava sul Mediterraneo, a bordo di un battello a vapore, e osservava il calar del

Sole, il dì 8 agosto 1865. Egli si accorse che il disco solare era come sormontato da due sprazzi luminosi, simili a due ciocche di capelli rovesciate in senso opposto. La loro altezza al disopra del disco era tutto al più eguale a  $7/10$  del disco stesso. Infine queste appendici seguivano assai bene il movimento del Sole, e s'immersero, come lui, al disotto dell'orizzonte.

Il Sig. Tacchini ci dette avviso di questa osservazione, e noi immediatamente esaminammo il registro in cui sono scritte le osservazioni che facciamo regolarmente sulle macchie. Trovammo che lo stesso giorno vi era, sull'orlo del disco, una macchia accompagnata da una gran facola, avente presso a poco la forma descritta dal Sig. Tacchini. Così non abbiamo esitato ad ammettere che lo sprazzo osservato da lui poteva essere prodotto da una di quelle masse luminose, che costituiscono le facole, e divengono visibili nelle eclissi.

Una nuova osservazione è venuta a confermare questa idea. Il Sig. Grosch, al Chili, durante l'eclisse totale del 29 agosto 1867, osservò un fascio di raggi curvi affatto simili a quelli che sono stati disegnati dal Sig. Tacchini (vedasi il *Bollettino meteorologico Collegio romano*, 1867 pag. 87).

Ultimamente un viaggiatore ci ha assicurato che, sulla fine del mese di febbraio 1869, egli vide a Peost levarsi il Sole con un sprazzo analogo a quelli che presenta nelle eclissi. Le fotografie americane del 1869 mostrano delle tracce di curve nei fasci della corona, e corroborano queste congetture.

È dunque molto possibile che quei fasci ricurvi, che si osservano qualche volta, abbiano la loro causa unica nel Sole. Tuttavia i fatti accertati fino ad oggi non bastano per rendere questa opinione perfettamente sicura; ma debbono dare soltanto una direzione nelle nuove ricerche che dovremo fare su questo soggetto.

I raggi obliqui sarebbero prodotti da fasci luminosi lanciati in quella stessa direzione. Si è obiettato che è impossibile di ammettere che la lunghezza reale di questi fasci sia eguale ad  $1/4$  del raggio solare. Noi sappiamo infatti che parecchie comete sono passate tanto vicine al Sole, al momento del loro perielio, che avrebbero dovuto incontrare quei raggi, se avessero una così grande estensione. Il movimento di questi astri avrebbe dovuto dunque provare, in quel mezzo necessariamente resistente, un rallentamento che non è stato mai provato.

È assai facile rispondere a questa obiezione. Alcune comete hanno dovuto attraversare non solamente i raggi, ma la corona stessa. Passando così a traverso l'atmosfera solare, esse hanno potuto volatilizzarsi in parte, e fuggirsene quindi come fanno i bolidi e le stelle cadenti nell'atmosfera terrestre. Per dimostrare che le cose non hanno potuto andare così, bisognerebbe conoscere la parte dell'orbita che precede il perielio, e ci è impossibile di conoscerla in una maniera sufficiente.

Ciò non ostante, bisogna confessare che la nostra atmosfera ha, nella produzione degli sprazzi luminosi, una parte incontestabile, quantunque secondaria.

Segnaliamo ancora un'idea che non è senza importanza. La scienza moderna ha verificato che esistono degli ammassi di materia cosmica analoga alle nebulose, circolanti come le comete nell'interno del sistema solare, e che, al momento del loro perielio, si trovano vicinissimi al Sole.

Questa circostanza non può essere estranea a certe apparenze straordinarie, che si presentano nelle eclissi.

Non si potrebbero attribuire ad alcuna di queste masse cosmiche, fortemente illuminata dai raggi solari, quei raggi e quegli archi ricurvi? Il tempo soltanto potrà far conoscere il valore di queste idee, le quali non sono adesso che semplici congetture.



## CAPITOLO VII. DELLE PROTUBERANZE O PROMINENZE ROSEE, CHE SI OSSERVANO NELLE ECCLISSI TOTALI DEL SOLE.

### § I. — *Prime osservazioni delle protuberanze.*

Durante l'eclisse del dì 8 luglio 1842, l'attenzione degli astronomi fu attirata da quelle protuberanze, che si lanciano attorno alla Luna come fiamme gigantesche color rosa o fior di pesco. La sorpresa onde furono colpiti per questo inatteso fenomeno, non permise loro di fare delle osservazioni precise, di maniera che si ebbe un disaccordo completo tra le differenti relazioni.

Baily osservò tre prominenze vastissime quasi uniformemente ripartite dal medesimo lato. Airy ne osservò tre in forma di denti di sega, ma collocate alla sommità. Arago ne vide due nella parte inferiore del disco. Struve e Schidlofschi osservarono quelle stesse di Arago, e di più notarono una striscia rosa, che abbracciava un arco di circa 45 gradi. A Verona, queste fiamme rimasero visibili qualche tempo dopo l'apparizione del Sole.

Quelle appendici avevano delle dimensioni considerevoli. Petit misurò un'altezza, e la trovò eguale a 1'45", ciò che equivale quasi a 6 diametri terrestri, cioè a 80000 chilometri. Le estimazioni degli altri osservatori variavano tra 1 minuto e 2 secondi.

Una discussione si aprì subito sulla natura di queste protuberanze. Si presero da prima per montagne; ma questa opinione era inconciliabile con le osservazioni di Arago, essendo alcune di queste pretese montagne molto inclinate, e strapiombando anche così fortemente che l'equilibrio sarebbe stato impossibile.

La maggior parte degli scienziati le riguardarono come fiamme, o come nubi. Alcuni fondandosi sul poco accordo che regnava tra gli osservatori, dichiararono che erano pure illusioni ottiche, effetti di miraggio, prodotti alla superficie della Luna: tale era l'opinione di Faye, di Marquez, di Felitzch. Era dunque indispensabile fare delle

osservazioni ulteriori, d'invigilare con cura le eclissi seguenti, e di ricorrere alle osservazioni passate.

In realtà, quei fenomeni non erano nuovi; ma, come avviene spesso per le cose straordinarie, di cui non abbiamo nessuna idea, non si era capito nulla dalle narrazioni, d'altra parte ed esagerate, degli osservatori. Essi avevano parlato d'incavi veduti nel disco lunare, di fiamme, di lampi, di nubi e di bufere vedute nell'atmosfera della Luna. Quell'apparenza d'incavo, notata da qualche osservatore, è dovuta ad un fenomeno d'irradiazione, e si produce facilmente quando si osserva ad occhio nudo, o con un debole ingrandimento, come è stato notato nell'ultima eclisse. (Hennessy, Ray; 1868).

Di tutte le osservazioni antiche la più dettagliata è quella che Vassenio fece a Gotenbourg, il 2 maggio, 1733. Nella corona, che egli attribuisce all'atmosfera della Luna, credette di vedere ondeggiare parecchie nubi rosse: una di esse pareva più grande delle altre, e sembrava composta da tre masse sovrapposte, *completamente separate dal disco lunare* (*Philos. Transac.*, t. XXXVIII, pag. 135; e *Astr. Nach.*, n° 463). Ora resta a sapersi se appartengano realmente alla Luna, o se dipendano dal Sole.

Si attendeva con impazienza l'eclisse del 1851, che doveva essere totale in Svezia. Il Sig. Airy organizzò una spedizione, e preparò degli strumenti destinati a prendere misure precise. Al momento della totalità; osservò, innanzi tutto, una protuberanza *a* (fig. 23) avente la forma di una squadra terminata in punta: al disotto si trovava un cono, e più lungi, al punto *d*, un piccolo nuvolo sospeso *d*. Un poco dopo distinse una punta *c*; quindi al termine di un minuto, la protuberanza *b*, situata all'altra estremità del diametro: in ultimo luogo apparve un arco rosa *e*. Gli altri osservatori notarono gli stessi fenomeni con leggere differenze di forma. La figura data dal Sig. Carrington è presso che identica; vi si nota solamente una leggiera nube biancastra, che congiunge la protuberanza principale con la nube isolata *d*. Tuttavia la protuberanza *a* non ha punto la stessa forma nei disegni eseguiti da osservatori molto lontani gli uni dagli altri. Il Sig. Hind ha dato un disegno differente.

Il Sig. Daves ha dato una forma intermedia tra i due, e di più l'arco *c* (fig. 23) gli parve molto più esteso. Il Signor Talbot, situato quasi al limite della zona di totalità, vide questo stesso arco rosa abbracciare una estensione quasi eguale ad una mezza circonferenza.

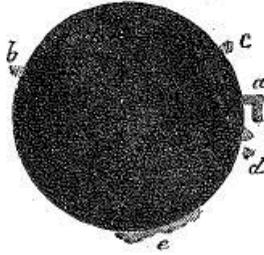


Fig. XXIII

Queste osservazioni ci permettono di formulare con certezza le conclusioni seguenti:

1° le protuberanze non sono montagne: questa ipotesi è inconciliabile con le loro forme; 2° si devono riguardare come masse gassose la cui forma è molto analoga a quella delle nostre nubi: le loro curve ricordano assai bene il fumo che esce dai nostri vulcani; 3° la varietà delle forme attribuite ad una stessa protuberanza può derivare da variazioni reali; ma può anche risultare dalla poca esattezza dei disegni; 4° vi è una relazione evidente tra queste protuberanze e gli archi rosei già osservati nel 1842, ma che furono osservati molto meglio questa volta; si può legittimamente supporre che questi archi formino la parte visibile di uno strato continuo, che avvolge completamente il Sole; 5° vedevasi la grandezza delle protuberanze accrescersi dal lato che lasciava la Luna, e diminuire dal lato in cui essa si avanzava; dunque è nel Sole che si trova la sede del fenomeno; 6° tutti gli osservatori non hanno veduto lo stesso numero di protuberanze, e non hanno assegnato loro lo stesso posto. Ciò deriva dalla rapidità del fenomeno, la cui totalità dura così poco, che non è possibile esaminare il contorno del disco con l'attenzione che vi si porrebbe in altre circostanze.

Questi risultati non parvero sufficienti ad un certo numero di astronomi. Le misure sembravano poco esatte, le descrizioni poco concordi: si continuò quindi a riguardare quei fenomeni come illusioni ottiche ed effetti d'interferenza. Per convincere tutti, bisognavano testimonianze irrecusabili; misure di un'esattezza affatto meccanica; la fotografia poteva solo rispondere a queste esigenze, ed è per ciò che le fu data tanta importanza nel 1860.

Lasciando da parte questi dubbi poco fondati, rimanevano ancora da risolversi molte questioni importanti: 1° Quale è la intensità luminosa delle protuberanze? 2° Quale il colore preciso? 3° Hanno esse qualche relazione con le macchie e con le facole? Per rispondere a queste domande, bisogna ricorrere a misure molto esatte, misure che la fotografia soltanto può eseguire in così breve tempo. Tuttavia siccome la fotografia, specialmente in circostanze così eccezionali, è un mezzo di ricerca capriccioso e poco sicuro, si ebbe cura di verificare quelle indicazioni col mezzo d'istrumenti speciali, che permettessero di ottenere direttamente e rapidamente misure sufficientemente precise.

Il campo del nostro canocchiale fu munito di due fili di platino finissimi, che facevano un angolo così acuto da poter valutare le dimensioni delle protuberanze senza fare uso di vite micrometrica. Per prendere gli angoli di posizione, mettemmo all'oculare un'alidada che aveva una punta, ed era mobile davanti ad un cerchio di cartone. La punta, pigiata al momento opportuno, lasciava sul cartone una traccia che si poteva in seguito studiare a comodo, per dedurne l'angolo di posizione.

Il risultato fu completo, come vedremo ben presto. Solamente, non facendoci la fotografia conoscer niente quanto ai colori, bisognò supplirvi con osservazioni dirette. Ma tutti gli osservatori non provano di fronte al medesimo oggetto, impressioni identiche; i loro occhi non sono istrumenti comparabili. Tuttavia, essi si accordavano tutti nel dire che le protuberanze erano di un rosso ora più ora meno chiaro, mescolato ad un violetto analogo a quello del fiore di pesco. Si osservò tuttavia che la protuberanza ricurva del 1851 era bianca alla base, e questa osservazione si applica egualmente alle protuberanze del 1860. Il rosa era il color dominante, ma sugli orli si vedevano delle nubi gialle perfettamente distinte, essendo la base bianca. Il Sig. della Rue fece la stessa osservazione, Questo astronomo aveva preparato delle stoffe di differenti colori, che dovevano servire di termine di confronto, ma questo metodo non poté dare alcun risultato, per mancanza di luce che illuminasse la stoffe. Si potrebbero usare fiamme colorate o meglio ancora dei tubi di Geissler, illuminati da una corrente elettrica. Però l'analisi spettrale ha fatto abbandonare tutti questi procedimenti.

## § II. — *Fotografie ottenute in Spagna durante l'eclisse del 1860.*

Due spedizioni furono organizzate per osservare l'eclisse del 1860, la prima dal Sig. della Rue, la seconda da noi, con la collaborazione del Sig. Aguilar, astronomo dell'Osservatorio di Madrid, e del Signor professore Monserrat di Valenza. Il Signor della Rue scelse Rivabellosa, presso l'Atlantico, mentre noi avevamo preso posto al *Desierto de las palmas*, presso il Mediterraneo.

Avevamo tutti e due da vincere una grave difficoltà, perché ignoravamo completamente il potere fotogenico che possiede la luce nelle eclissi; e non sapevamo dunque se ci sarebbe stato possibile di ottenere delle prove, operando con la rapidità che esigevano le circostanze. Il Signor de La Rue aveva adottato l'eliografo di Kew, e siccome le immagini formate direttamente al fuoco dell'obbiettivo erano piccolissime, egli preferì d'ingrandirle con l'oculare. Noi preferimmo invece, di prendere l'immagine diretta, data dall'obbiettivo di Cauchoix. Questa immagine avente 25 millimetri di diametro, dava già dei risultati perfettamente visibili, e d'altronde ci restava sempre la risorsa d'ingrandirla con uno dei procedimenti conosciuti. Due ragioni c'indussero a preferire questo metodo: 1° la debole intensità della luce che, supponendola eguale a quella della Luna piena, sembrava dovere esigere un minuto di esposizione, se noi ingrandivamo l'immagine: operando sull'immagine diretta, trovavamo maggior sicurezza; 2° questo metodo ci permetteva di fare un maggior numero di prove nello stesso tempo, e per conseguenza di stabilire un maggior numero di fasi.

Il risultato ha provato che i due procedimenti sono eccellenti, e che ciascuno essi ha i suoi vantaggi.

Si distinguono maggiori particolari nelle immagini ingrandite, ma l'immagine diretta porge una più grande estensione della corona.

La nostra prima piastra non fu esposta che per sei secondi, e ciò non ostante, oltre le protuberanze, essa mostra una traccia perfettamente sensibile della corona.

La seconda fu esposta per venti secondi circa, ma tre scosse impresse all'equatoriale, durante questo tempo, produssero altrettante immagini distinte e separate dalle protuberanze. Bisogna concluderne che con un obbiettivo di 6 pollici, come il nostro, basta un tempo molto breve per la riproduzione di quelle appendici.

Un anno dopo l'eclisse, abbiamo con lo stesso Signore de La Rue, ingrandito le nostre piccole fotografie, in maniera da ottenere delle prove aventi le stesse dimensioni delle sue, ed abbiamo trovato una perfetta identità nei particolari più delicati. La sola differenza consisteva in questo, che a Rivabellosa le protuberanze superiori erano più alte, mentre erano un poco più piccole al *Desierto*. Il contrario avveniva per le protuberanze della parte inferiore. Questo fenomeno era dovuto ad una piccola differenza di parallasse, essendo gli osservatori, l'uno un poco al nord, l'altro un poco al sud della linea centrale della totalità. (Vedansi le *Memorie dell'Osservatorio del Collegio Romano*, 1863).

Basterà dunque descrivere le nostre fotografie, e compararle con quelle dello scienziato inglese. Noi riprodurremo qui le tre più importanti, la prima, quella del mezzo e l'ultima.

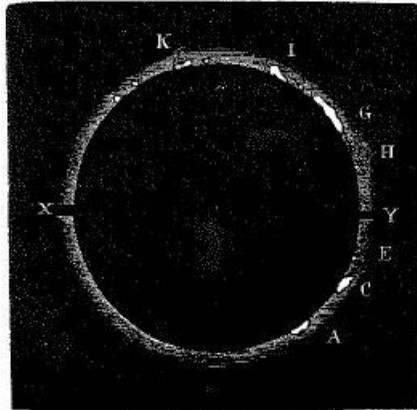


Fig. XXIV

La (fig 24) rappresenta la prima prova presa immediatamente dopo il principio della totalità. Essa contiene sette protuberanze principali:

A. Protuberanza avente due sommità molto vicine e poco elevate. Nelle fotografie del Sig. della Rue, essa è appena visibile non si scorgono che le due sommità; e ciò deriva, come abbiamo già detto, da un effetto di parallasse.

C. Grande protuberanza in forma di nube, inclinata di 45 gradi, arrotondata alla base, appuntata alla sommità; e che possiede una struttura elicoide, come lo mostra la figura ingrandita del Sig. della Rue.

*E.* Piccole nubi slegatissime, il cui insieme forma un corno ricurvo, avente un'altezza di circa 2'40".

Questa protuberanza trovata colla lente nelle nostre piccole fotografie, decise il Signor della Rue ad ingrandirle, per paragonarle colle sue. Questa circostanza prova la precisione delle nostre figure.

Sventuratamente, si fecero circolare, immediatamente dopo l'eclisse, delle prove sulla carta assai difettose, la qual molto nociva alle nostre fotografie, anche nell'animo degli scienziati fino al momento in cui la riproduzione, fatta sotto gli occhi del Sig. della Rue medesimo, sorse a giustificare ciò che noi avevamo affermato sull'identità dei nostri risultati confrontati coi suoi.

*H.* Ammasso complicato di piccole nubi, la cui parte inferiore forma una specie di croce.

*G.* Ammasso enorme di materia brillante, che ha solarizzato le prove, di maniera che i particolari interni sono spariti. La sua forma rotonda dimostra che essa non era in contatto immediato col Sole, ma sospesa nella sua atmosfera. Veduta nel canocchiale, essa offriva perfettamente l'aspetto di una catena di monti, per le dentellature e le punte giallastre che la terminavano alla sua sommità. Si può notare che questa protuberanza sembra penetrare nel disco della Luna e formarvi una tacca. Questa apparenza è dovuta al movimento stesso della Luna durante l'esposizione del quadrante. La Luna, avanzando nella direzione in cui si trova la protuberanza, non poteva distruggere l'impressione già prodotta dalla parte brillante, mentre la sua presenza impediva l'azione della corona, che non è rapida egualmente. Nello fotografie ingrandite, si vede che gli orli delle protuberanze sono perfettamente delineati, mentre quello della Luna resta indeciso. Questa circostanza spiega pure un fenomeno curioso, che è stato notato nelle fotografie del Sig. della Rue. Essendo i quadranti stati esposti un minuto, il movimento della Luna si è fatto sentire più fortemente; il suo orlo perciò apparisce doppio, e l'arco di cui abbiamo parlato, si vede all'interno del disco.

*I.* Fiamma gigantesca, o piuttosto enorme cumulo, nel quale si distinguevano delle sfumature di giallo e di rosso.

*K.* Prominenza a due sommità, di cui l'una più sciolta e meno viva si prolunga in forma di corno. Questa protuberanza è più piccola nelle nostre che in quelle del Sig. della Rue, una causa analoga a quella che ha prodotto l'effetto contrario al punto A.

In tutta la parte sinistra non si vede ancora nessuna protuberanza.

La linea nera XY rappresenta un filo nel canocchiale, e diretto secondo il parallelo celeste, per rilevare la posizione delle protuberanze rapporto all'equatore solare.

La seconda fotografia era stata da prima rigettata come inutile, a causa degli accidenti che avevano prodotto molteplici impressioni; ma in realtà essa molto preziosa: è una prova evidente della potenza attinica di quelle fiamme, perché alcune di tali impressioni sono state prodotte in meno di tre secondi.

La terza fotografia (fig. 25) ha richiesto trenta secondi di esposizione. Le protuberanze cominciano a mostrare le loro sommità dal lato sinistro, e diverranno a mano a mano più distinte. Quello che vi ha di più notevole in questa figura è la corona. Essa è irregolarissima, ma si può osservare che presenta una estensione più considerevole a destra e a sinistra che nelle altre direzioni, cioè che essa è più sviluppata nel piano dell'equatore che lungo la linea dei poli.

Le masse luminose non sono uniformemente ripartite, e formano, per così dire, due gruppi: i primi corrispondenti all'equatore, gli altri alla regione delle macchie: l'insieme forma una figura quasi rettangolare.

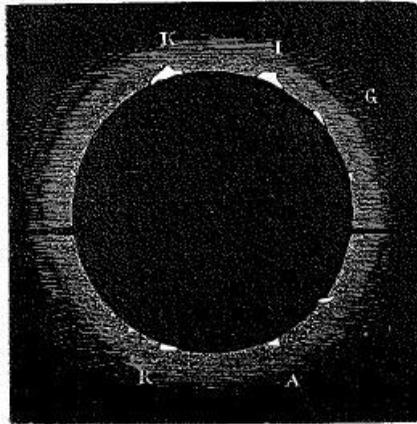


Fig. XXV

Comparando quest'aureola alla posizione delle protuberanze, si riconosce che la maggior diffusione luminosa corrisponde a quelle prominente; ma in vicinanza dei poli, questa proporzione non è osservata e l'aureola vi presenta un debole sviluppo, mentre non vi si vedono protuberanze considerevoli. Queste osservazioni si applicano

a tutte le nostre fotografie, ma particolarmente alla quarta, quantunque la corona vi sia debolissima. Esse ci rivelano un fatto importante, che non era stato segnalato in alcuna osservazione ottica, e che le fotografie del Sig. della Rue non avevano messo in evidenza; ed è che l'atmosfera possiede una forma generalmente ellittica, corrispondendo la sua maggiore intensità alla regione delle macchie. Quando noi pubblicammo questi risultati, gli astronomi non dissimularono la loro poca fiducia. Ma attualmente abbiamo ricevuto le fotografie del Sig. Winlock, fatte a Shelbysville in America, il dì 7 agosto 1869, con lo stesso procedimento delle nostre, e troviamo che la corona presenta la stessa forma. Le parti polari sono strettissime; la regione equatoriale è specialmente quella delle zone delle macchie sono molto dilatate. È dunque evidente che il contorno di quest'atmosfera non è parallelo alla superficie del corpo solare. L'ultima delle nostre fotografie è rappresentata dalla fig. 26. Dopo il punto K, si riscontra una piccola prominenza, e tra le due un'altra ancora più piccola.

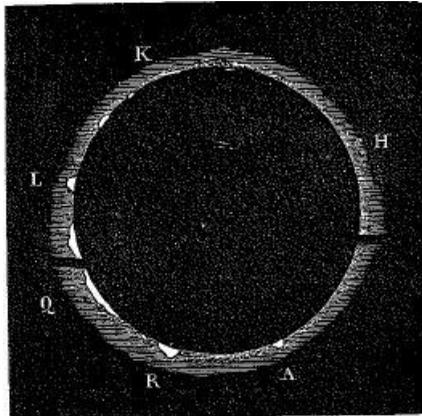


Fig. XXVI

Esse non sono visibili nelle prove del Sig. della Rue a causa della differenza di parallasse, che abbiamo già segnalata.

*L.* È una protuberanza elevatissima la cui sommità è nettamente tracciata in tutte le fotografie.

In *Q* è un arco rosa estesissimo, solarizzato nella nostra prova, e non meglio riuscito in quella del Sig. della Rue. Fortunatamente, noi possiamo, con alcune osservazioni dirette, ristabilire i particolari che sono cancellati. Un istante dopo il mezzo della totalità, guardai la

regione in cui il Sole stava per uscire dal cono d'ombra, e vidi apparire una serie di fiamme vivamente colorate in giallo ed in rosso, e sopra a tutto notai una nube allungata color rosa, perfettamente sospesa nell'interno della corona. Ne diedi immediatamente avviso ai miei colleghi, perché potessero verificare la mia osservazione, e feci subito il disegno che è riprodotto nella (fig. 27.)



Fig. XXVII

Questa forma era per me della più grande importanza, perché la riguardavo allora come decisiva dal punto di vista della teoria; e confermava, in una maniera evidentissima, delle idee che possiamo presentemente appoggiare su basi ancora più solide.

È deplorabile che, in questa fase; le due serie di fotografie si sieno trovate imperfette; ma infine noi possediamo i documenti necessari per accertare quello che desideravamo di conoscere. Là pure osserviamo che le protuberanze si distendono sul disco della Luna, come abbiamo già fatto osservare. Ritroviamo pure la protuberanza *R*, l'ultima che abbiamo segnalato nel disegno della (fig. 27).

Per poter confrontare le nostre fotografie con quelle del signor della Rue, le abbiamo ingrandite in maniera da ottenere una figura della medesima dimensione delle sue. Poi, dopo avere inoliato una prova, per renderla trasparente, le abbiamo sovrapposte, ed abbiamo potuto verificare una perfetta identità, salvo i particolari indicati di sopra.

Da queste importanti osservazioni si possono evidentemente dedurre le conclusioni seguenti:

1° Le protuberanze non sono semplici apparenze prodotte da illusioni ottiche; ma sono fenomeni reali, aventi la loro sede nel Sole. Le nostre osservazioni essendo state fatte in due punti distanti l'uno dall'altro un centinaio di leghe, è impossibile di supporre che figure così nette e così identiche sieno prodotte da un fenomeno di miraggio, o da qualche altra causa simile.

2° Le protuberanze sono ammassi di materia luminosa che ha una grande vivacità, e che possiede una attività fotogenica molto notevole. Quest'attività è così grande, che molte delle protuberanze che vediamo nelle nostre prove, e precisamente la protuberanza *E* (fig. 24) non hanno potuto essere osservate direttamente nemmeno

con buoni strumenti; forse perché esse non emettevano che raggi chimici, e pochi o punti raggi luminosi.

3° Vi sono ammassi di materie proprie delle protuberanze sospesi ed isolati come nubi nell'atmosfera. Se la loro forma è variabile, le variazioni si producono così lentamente che è impossibile di verificarle durante un intervallo di dieci minuti.

4° Oltre le protuberanze, esiste una zona della stessa materia, che involuppa il Sole da tutte le parti. Le protuberanze provengono da questo strato: sono masse che si sollevano al disopra della superficie generale, e qualche volta anche se ne distaccano. Alcune rassomigliano al fumo che esce dai nostri cammini, o dai crateri dei vulcani, e che, arrivato ad una certa altezza, obbedisce ad una corrente d'aria inclinandosi orizzontalmente.

5° Questa conclusione risulta evidentemente dalla protuberanza *C*; ed era già stata messa in evidenza dalle numerose protuberanze osservate nel 1851, e sopra a tutto nel 1855.

6° Il numero delle, protuberanze è incalcolabile. Nell'osservazione diretta, il Sole ci pareva tutto circondato di fiamme: esse erano così numerose, che ci pareva impossibile contarle. L'osservazione fotografica ha pienamente giustificato questa prima impressione.

7° L'altezza delle protuberanze è considerevolissima, sopra a tutto se si nota che, per valutarla, bisogna tener conto della parte eclissata dalla Luna, così la protuberanza *E* non ha meno di tre minuti di altezza, ciò che corrisponde a dieci volte il diametro della Terra: le altre hanno, per la maggior parte, da 1 a 2 minuti di elevazione.

Questi fenomeni non sono stati particolari all'eclisse del 1860. Per convincerne il lettore, termineremo questa relazione, riproducendo una figura tratta dalle fotografie del maggior Tennant (fig. 28). Queste fotografie eseguite a Guntoor, nelle Indie, durante l'eclisse del 1868 sono state riprodotte a Londra dal signor de la Rue. Vi si vede la via seguita dalla Luna, e il suo contorno al principio ed alla fine della totalità. Vi si vede egualmente la posizione dell'equatore solare e quella dei poli.<sup>10</sup>

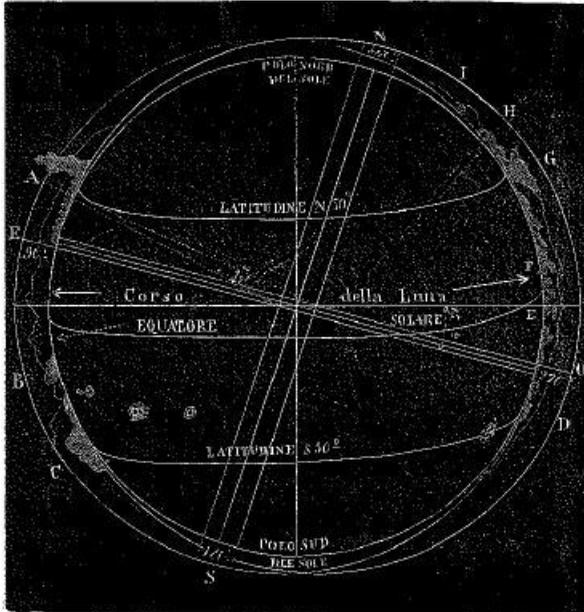


Fig. XXVIII

Nella incisione inglese si era esagerata la grandezza delle macchie. Noi abbiamo loro restituita la posizione e la grandezza vera, sulle osservazioni fatte, lo stesso giorno, al Collegio Romano. Quella figura parla assai da se stessa, e fa vedere quali sono le dimensioni delle protuberanze. Con l'osservazione diretta, era trovato per il corno una altezza di 3 minuti. Resulta dall'osservazione fotografica che questa altezza è realmente di 3'32", più di dieci volte il diametro della Terra, circa 650000 chilometri.

<sup>10</sup> *Monthly Notices of Ast. Soc.* vol. XXIX, n. 3.

Nell'ultima eclisse, il numero delle protuberanze non era meno grande che nel 1860. Di più, essendo gli osservatori disposti su di una linea lunghissima, le loro osservazioni abbracciano un intervallo di tempo più considerevole. Ora si è notato che la grande protuberanza fotografata a Aden differisce un poco da quella che è stata fotografata a Guntoor. Si ha dunque la prova di un movimento interno, che si è prodotto in una maniera sensibile durante un intervallo di quaranta minuti, La realtà di questo movimento, e dei cambiamenti che ne sono la conseguenza, è d'altra parte confermata dai disegni dei differenti osservatori. Così a Malacca, gli osservatori francesi rappresentano la protuberanza *A* inclinata verso la destra. Due ore e quaranta minuti più tardi, a Mantawaloch, essa appariva come una torre diritta con una punta volta in senso opposto. A Aden, essa pareva inclinata a destra, mentre a Labouan si dirigeva verso la sinistra. Del resto, le osservazioni ottiche si accordano con le fotografie per rappresentarla con una struttura spirale.

Si sono egualmente notate nelle fotografie le tracce dell'arco rosa, e una nebulosità assai viva che si estendeva dall'equatore solare fino alla regione delle macchie, osservazione che giustifica quello che noi avevamo detto, nel 1860, della forma ellittica dell'atmosfera solare. Questa atmosfera è indicata nella fig. 28 da un tratto punteggiato. Nel 1867, il P. Cappelletti aveva osservato nella medesima regione una luce più viva, ed aveva potuto fare questa osservazione, malgrado un velo di nubi che copriva la corona. Le conclusioni finali di tutte queste osservazioni sono le seguenti:

«Il Sole è circondato da un'atmosfera elevatissima, la cui altezza almeno eguale ad un quarto del suo raggio. Essa è più estesa all'equatore che ai poli, ed oltre a ciò, la sua altezza ed il suo splendore presentano due massimi dall'una e dall'altra parte dell'equatore, tra 15 e 30 gradi di latitudine. In quest'atmosfera ondeggia uno strato continuo di materia rosa, la quale possiede una gran potenza fotogenica, e la cui altezza è variabile ed il contorno irregolare. Questa materia si solleva qualche volta, e forma ora delle colonne verticali, ora delle nubi isolate, e queste colonne e queste nubi sono trascinate in una maniera apprezzabilissima dalle correnti atmosferiche. Lo strato rosa possiede un'altezza più considerevole ed una maggiore attività fotogenica nella regione delle macchie, là appunto dove noi abbiamo già constatata la maggiore elevazione di temperatura.»

Tali sono le conclusioni alle quali siamo condotti dalle osservazioni ottiche e fotografiche. Restava a determinarsi la natura fisica e chimica dello strato rosa; ed quello che è stato fatto alle Indie, durante l'eclisse dell'anno 1868, come ci prepariamo ad esporre.

### ***§ III. — Natura delle protuberanze solari visibili nelle eclissi.***

Avanti il 1861, si sarebbe riguardato come impossibile il determinare la natura chimica delle sostanze che si trovano nei corpi celesti. Ma dopo le scoperte di Bunsen e Kirchhoff, dopo i progressi dell'analisi spettrale, questo problema è divenuto tanto semplice per l'astronomo, quanto le analisi qualitative per il chimico nel suo laboratorio.

Da molto tempo si era già imparato a riconoscere in certi casi la natura delle sostanze che ardono, dal colorito che comunicano alle fiamme. Per esempio, si riconosce il rame, lo zingò, il ferro alle loro fiamme verde, turchina e gialla. Ma col mezzo dello spettroscopio, si decompone la luce, la si distende in uno spettro discontinuo, nel quale si distinguono delle righe brillanti, che occupano sempre lo stesso punto, quando si opera sul medesimo corpo, in circostanze identiche. I trattati di Fisica e di Chimica svolgono tutte queste tesi con molti dettagli; e quindi basterà ricordare in poche parole, i principi di cui dobbiamo aver bisogno, riservandoci di completare queste nozioni nel Cap. VIII.

Ogni spettroscopio si compone essenzialmente dei pezzi seguenti: una fessura stretta ad orli paralleli, illuminata dalla luce che si vuole analizzare; un prisma, o un sistema di più prismi, per disperdere la luce; infine un canocchiale destinato a concentrare nell'occhio i raggi luminosi. Il prisma si trova tra la fessura e il canocchiale, e i suoi spigoli devono essere paralleli alla fessura. Tra la fessura ed il prisma s'interpone ordinariamente una lente che, con la fessura, costituisce quello che si chiama collimatore, e che permette di diminuire le dimensioni dell'apparecchio; perché la fessura, quantunque assai vicina, sembra come collocata ad una distanza infinita. Quando si guarda a traverso un simile sistema, la fiamma di un metallo, o la luce dei tubi di Geissler, si vede un numero ora più, ora meno considerevole di righe brillanti, separate da spazi oscuri, il cui colore e la cui posizione sono differenti, per le differenti sostanze, ma

rimangono rigorosamente invariabili per ciascuna di esse.

Con un istrumento accuratamente costruito, come quello che noi possediamo all'Osservatorio del Collegio Romano, e che presenta vantaggi particolari, gli astronomi hanno analizzato la luce delle protuberanze. Le proprietà dello spettro dovevano far conoscere la loro natura fisica e chimica.

Infatti ogni materia semplicemente incandescente produce uno spettro continuo; come avviene per il carbone incandescente, che si trova in sospensione nella fiamma. I gas stessi possono dare uno spettro continuo, quando la loro temperatura è estremamente elevata; ma tutte le volte che si ottiene uno spettro discontinuo, composto di righe isolate, siamo certi di aver che fare con una materia gassosa, ed allora la natura chimica di questa materia può essere determinata dal numero e dalla posizione delle righe.

E poiché tutti quelli che hanno osservato con buoni strumenti, hanno trovato uno spettro discontinuo, noi dobbiamo concludere, secondo i principi che abbiamo enunciati, che le protuberanze sono di natura gassosa. Questo è quello che ci hanno fatto conoscere i signori Janssen, Rayet, Herschel, Weisse, Tennant, ecc.

Per riconoscere la natura delle sostanze proprie delle protuberanze, bisognava stabilire con esattezza la posizione delle righe. Sventuratamente gli osservatori non sono stati perfettamente d'accordo, sia a causa dell'insufficienza dei loro strumenti, sia perché mancavano di scale costrutte anticipatamente.

L'analisi più particolareggiata è quella del signor Rayet. Osservando la protuberanza A fig. 28, egli notò sette righe principali, alcune delle quali avevano una tale vivacità, che producevano una specie di coda nel campo dello strumento. Noi riproduciamo qui la figura quale essa si trova nei *Comptes rendus des séances des séances de l'Académie des Sciences* (fig. 29).



Fig. XXIX

La posizione di queste righe parve coincidere presso a poco con quella delle righe nere, che Fraunhofer disegnò con le medesime lettere; ma deve esservi stata qualche inesattezza. È stata indicata con

la lettera *B*, quella che corrisponde a *C*; la riga designata da *D* non coincide perfettamente con quella di Fraunhofer, la posizione di *F* è esatta, ma quella di *G* è soltanto approssimativa.

La posizione di *C* è stata segnalata da Janssen e da Herschel. Quest'ultimo tuttavia non ha potuto darla in una maniera precisa, a causa delle nubi che turbarono le sue osservazioni. Il signor Rayet fece le sue osservazioni, mettendo la fessura successivamente in due direzioni, che facevano tra loro un angolo retto. Siamo quindi perfettamente certi che lo spettro in tal guisa osservato, appartiene realmente alla protuberanza.

In una seconda osservazione, egli analizzò la luce di una seconda appendice, e non trovò più che una sola riga situata nel violetto; donde bisognerebbe concludere che tutte le protuberanze non hanno la medesima composizione chimica.

Poiché l'esistenza della riga *F* era perfettamente accertata, avevasi la certezza che il gas idrogeno era una delle materie componenti quella protuberanza, ma bisognava determinare la natura dei gas ai quali dovevano corrispondere le altre righe. La temperatura era evidentemente molto elevata, e comparabile quella che produce il passaggio della scintilla elettrica nei tubi di Geissler. Del resto, questo paragone serve ad esplicitare il color rosa delle protuberanze, poiché l'idrogeno si colora così quando, essendo rarefatto, s'illumina con una scarica elettrica.

Tuttavia bisognava assicurarsi perfettamente dell'identità delle differenti righe. Questo studio pareva esigere che si attendesse una nuova eclisse, ma il signor Janssen ci ha dispensato dall'attendere troppo, con una scoperta della massima importanza. Questo fisico colpito dallo splendore che presentavano le righe delle protuberanze fu indotto credere che sarebbero visibili anche in pieno giorno. Sventuratamente, il cielo si coprì di nubi poco dopo l'eclisse, e quel giorno gli fu impossibile di verificare la sua congettura. Fino dall'indomani, egli si mise all'opera, ed ebbe la bella fortuna di vedere in pieno giorno le righe delle protuberanze.

Dirigendo la fessura dello spettroscopio in modo esattamente tangente all'orlo del Sole, al punto in cui il giorno avanti aveva notato una fiamma, vide apparire nel campo del cannocchiale, una riga brillante colorata in rosso, corrispondente alla riga *C* di Fraunhofer, poi nel turchino un'altra riga brillante, corrispondente esattamente alla riga *F*. Queste due righe sono precisamente quelle

dell'idrogeno, da cui risulta che questo gas è la principale delle sostanze che costituiscono le protuberanze.

Il giorno stesso in cui questa notizia arrivò in Europa (20 ottobre), il signor Lockyer annunciava che, dal canto suo, era pervenuto alla medesima conclusione. Egli aveva potuto vedere sull'orlo del Sole le righe dell'idrogeno, accompagnate da una riga sconosciuta, situata presso la riga *D*. Questa scoperta era così importante che meritava essere immediatamente verificata, e fu possibile di riuscirci il giorno stesso in cui ci pervenne la notizia. Noi abbiamo studiato questo argomento con cura, e siamo arrivati, come gli altri osservatori, alle conclusioni che anderemo esponendo nel paragrafo seguente.

#### **§ IV. — *Resultati degli studi spettrali, fatti in pieno giorno, sulle protuberanze.***

Quantunque noi dobbiamo parlare, nel Capitolo seguente, dell'analisi spettrale della luce solare, ci preme di esporre fin d'ora i risultati ai quali siamo giunti per la scoperta dei signori Janssen e Lockyer, perché quei risultati sono intimamente legati con il soggetto che ci occupa attualmente.

Operando come abbiamo indicato, è facilissimo osservare le protuberanze in pieno giorno, col mezzo dello spettroscopio. Bisogna far uso d'un canocchiale, la cui lunghezza focale sia così grande da fornire una immagine considerevolmente amplificata. La si ottiene molto bene con uno spettroscopio da tasca, adattato ad un canocchiale di dieci centimetri di apertura, e avente una lunghezza focale di due metri. Tuttavia quando si voglia fare un vero studio serio, e prendere delle misure precise, bisogna servirsi d'uno strumento più potente.

Noi abbiamo adoperato, a tale uso, il nostro equatoriale di 25 centimetri, situando presso il fuoco, un oculare destinato ad ampliare l'immagine del Sole. In tal modo era molto più facile determinare la posizione precisa delle protuberanze, e studiarne i particolari.

Essendo l'apparecchio così disposto, e la fessura stretta per quanto possibile, senza mettere alcun vetro colorato all'oculare, si può, con la maggior facilità, e usando dell'obiettivo con tutta la sua apertura, dirigere il canocchiale verso qualunque punto del Sole, o verso l'orlo del suo disco. Lo spettroscopio è disposto in maniera da poter facilmente cambiare la posizione della fessura, per renderla ora

parallela, ora perpendicolare all'orlo del Sole.

Con osservazioni in tal modo, abbiamo ottenuto i risultati seguenti:

1° Supponiamo la fessura perpendicolare all'orlo, e divisa in due parti uguali dal contorno del disco. Qualunque sia il punto che si osserva, si distingue sempre uno spettro composto di due zone inegualmente illuminate, ma aventi ambedue le righe caratteristiche. La zona più brillante appartiene al Sole, l'altra allo spazio che lo circonda, presso la linea di separazione di queste due zone, al di fuori del disco solare, si vede una porzione delle righe nere *C* ed *F* brillare di un vivo splendore. Di più, nel giallo, presso il punto *D*, dal lato del verde, si vede brillare una riga gialla. Infine si scorge un'altra traccia brillante in vicinanza della riga *G*. Ad eccezione di quella che corrisponde al giallo, tutte le righe che abbiamo segnalate, appartengono all'idrogeno; donde ne segue che questo gas forma uno strato generale attorno al Sole.

2° Questo strato ha uno spessore da 10 a 15 secondi, ma è irregolarissimo; e si può verificarlo, disponendo l'apertura perpendicolarmente all'orlo, e misurando l'estensione delle porzioni brillanti. Tuttavia si osserva bene spesso che la linea nera sparisce in una maniera completa, senza dar luogo ad una linea brillante; ciò che avviene, sopra a tutto, presso le facole e le macchie.

Questo fatto dimostra che l'idrogeno esiste molto al di là delle linee brillanti, ma solamente in quantità sufficiente per neutralizzare la linea nera, senza sostituirvi la linea brillante. Disponendo l'apertura in modo tangente all'orlo, si vedono le linee acquistare una lunghezza eguale alla larghezza dello spettro, e divenire vivissime.

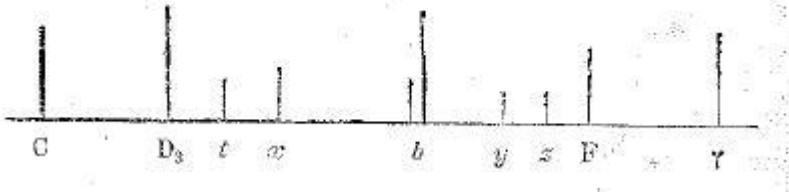
3° In molti punti del contorno solare si vedono delle linee brillanti acquistare ed anche oltrepassare notabilmente la lunghezza che corrisponde a 15 secondi; e si presentano qualche volta come frammenti di linee isolate, staccate dall'orlo. Si vede quindi che, dalla forma e dalla disposizione delle righe, si può tracciare la forma delle protuberanze, disponendo convenientemente lo spettroscopio.

Si può dunque, con tal mezzo, studiare le protuberanze con la più gran facilità, anche all'infuori delle eclissi, segnalare la loro presenza, determinare la loro forma, e disegnarle con tanta fedeltà come se fossero visibili.

4° La linea brillante, che si trova nelle vicinanze del punto *D*, non corrisponde ad alcuna linea nera, né ad alcuna delle linee che si osservano nello spettro dell'idrogeno, quando questo gas è reso luminoso a bassa pressione. La ritroveremmo noi nello spettro di questo gas, osservando in condizioni di temperatura e di pressione diverse da quelle che possiamo produrre? È permesso di dubitarne, perché abbiamo osservato che essa non subisce le stesse variazioni delle righe *C* e *F*; ed è spesso molto debole nelle circostanze in cui le altre sono vivissime. Siamo quindi sospinti a ritenere che non appartenga all'idrogeno. Oltre queste righe, se ne osservano qualche volta parecchie altre nel gruppo del verde, e specialmente alcune di quelle che appartengono al magnesio; ma esse sono debolissime. Abbiamo notato che la riga gialla sembra coincidere con una linea brillantissima, che si osserva nello spettro ordinario del Sole, quando si adopra uno spettroscopio nove prismi. La sua posizione è tale che, prendendo per unita, la distanza delle due linee *D'* e *D''* del sodio, essa n'è distante due volte e mezzo questa larghezza.<sup>11</sup>

5° Abbiamo detto che, durante l'eclisse del 1863, gli osservatori avevano notato, nello spettro delle protuberanze, alcune righe differenti da quelle dell'idrogeno. Era utile assicurarsi se esse sarebbero pure visibili in pieno giorno. Noi avemmo la fortuna d'incontrare una di quelle protuberanze il 20 maggio 1869.

Fig. XXX.



La figura 30 mostra l'insieme delle righe che abbiamo osservate. Oltre le righe dell'idrogeno *G*, *F*,  $\gamma$ , e la riga *D*<sub>3</sub>, se ne notavano due altre; una brillante tra le due righe più vicine del magnesio, l'altra era la terza riga del magnesio rovesciata: esse sono marcate in *b*. Di più ne abbiamo notate due in *y* e *z*, tra *b* e *F*; una in *x* tra

<sup>11</sup> È la riga di emissione dell'Elio a 587.49 nm (n.d.r.).

D<sub>3</sub>, e b; un'altra più debole in t, presso D<sub>3</sub>. È stato impossibile determinare in maniera soddisfacente, le sostanze chimiche, che corrispondono a queste righe secondarie, ma la riga *a'* sembra appartenere al ferro. Quello che vi ha di più singolare, è che, di tutte quelle che caratterizzano il magnesio, una sola è rovesciata; le altre non lo sono, e la riga brillante si mostra nell'intervallo che le separa. Del resto questo intervallo corrisponde pure ad una riga brillante del Sole, di maniera che, si può già affermare che le righe delle protuberanze non sono tutte rovesciate.

6° Lo spettroscopio adoperato in questa maniera non permette di studiare le protuberanze che a pezzi. Ma servendosi d'un'immagine del Sole, il cui diametro non oltrepassi 20 o 30 millimetri, ed allargando un poco la fessura, si possono vedere per intero. Si può dare alla fessura una larghezza di un mezzo millimetro, ed anche più: si vede allora l'immagine rossa della protuberanza. L'osservazione riesce più facile, adoperando un vetro rosso, che lascia passare i raggi C. Allora vediamo il contorno del Sole, tutto circondato da protuberanze, specialmente presso le macchie e le facole. Il signor professore Respighi, che si è occupato specialmente di questo studio, ci ha comunicato il disegno di una protuberanza che osservò a Roma, il 26 febbraio 1870, alle 10 e 40. L'altezza di questa protuberanza era di 2'30". Quelle masse presentano in generale la forma di getti gassosi, che s'inclinano e ricadono a partire da una certa altezza. I particolari sono molti bizzarri e prendono spesso l'aspetto di una vera vegetazione. Tali sono i fatti principali, che si sono potuti verificare fino al momento in cui scriviamo. Questi fatti fanno nascere qualche riflessione, e domandano degli schiarimenti.

1° Come avviene che si possono, col mezzo dello spettroscopio, studiare le protuberanze all'infuori delle eclissi?

Gli astronomi avevano inutilmente usato molti altri mezzi. Essi provarono dei piccoli diaframmi, per eliminare dai loro canocchiali ogni luce estranea, adoperarono allo stesso scopo dei vetri colorati; ma non riuscirono mai con questi procedimenti, ad intraveder niente, mentre lo spettroscopio ha condotto d subito ad un successo insperato. La ragione è semplicissima, ed è stata già segnalata da Arago. Questo grande astronomo faceva notare che

per vedere le protuberanze, sarebbe bastato diminuire la luce del cielo in modo da renderla più debole di quella delle protuberanze stesse. E così, diceva, che si giunge a vedere le stelle in pieno giorno.

I cannocchiali indeboliscono la luce dell'atmosfera, perché amplificano la porzione cielo che si trova nel campo, senza ingrossare le stelle che non hanno diametro apparente. Tale è la parte dello spettroscopio nella circostanza di cui ci occupiamo. Esso disperde e stende in una fascia assai diffusa la luce dell'atmosfera terrestre e dell'atmosfera solare, senza poter disperdere il piccolo numero di raggi semplici, che compongono lo spettro della protuberanza. Questi conservano dunque tutta la loro intensità, mentre gli altri sono indebolitissimi. Ciò si osserva egualmente nello studio degli altri corpi celesti. Una stella di sesta o di settima grandezza, il cui spettro è discontinuo, è molto più facile ad osservarsi che le stelle gialle di terza o di quarta grandezza.

Parimente le righe delle nebulose planetarie brillano con vivacità nel campo dello spettroscopio, e il loro splendore è paragonabile a quello di una candela, quantunque queste nebulose non sieno più visibili delle stelle di nona grandezza.

È cosa sorprendente che gli astronomi non abbiano fatto più presto questa scoperta, perché, con un buono spettroscopio, l'osservazione è facilissima, e per farla con felice risultato, è bastato adattare lo strumento al cannocchiale. È questo uno di quei fatti i quali ci dimostrano che in fisica, non bisogna lasciarsi deviare dalle proprie ricerche per le male fortune degli altri. Alcuni astronomi, avendo adoperato apparecchi imperfetti, come si è riconosciuto dopo, non avevano ottenuto che dei risultati negativi, ciò che ha impedito di fare questa scoperta così facile. Noi dobbiamo tuttavia aggiungere che, senza le osservazioni fatte durante l'eclisse, non si sarebbe così bene inteso questo metodo ed i risultati ai quali esso conduce.

2° Bisogna notare che la scoperta attuale ci fa solamente conoscere la natura delle protuberanze e dello strato roseo, di cui esse fanno parte; ma l'esistenza di questo strato era perfettamente accertata dagli archi in forma di sega, che erano stati veduti

attorno alla Luna fino dal 1842. Bessel, osservando un'eclisse anulare a Koenigsberg, aveva veduto l'orlo della Luna circondato da un cerchio rosso. Il colore stesso delle protuberanze e le relazioni numerose che esse hanno con gli archi rosati, provavano che questi due fenomeni dipendevano l'uno dall'altro, e che la loro natura era identica. Infine le fotografie eseguite, nel 1860, dal signor della Rue e da noi, dimostravano questa identità in una maniera inconfutabile.

3° Era naturale che si cercassero le relazioni che esistono fra le protuberanze e le macchie; ciò che abbiamo fatto studiando le variazioni della riga C, variazioni che ci permettono di determinare tutti i punti del disco, in cui si trovano le protuberanze. Noi abbiamo potuto accertare ch'esse sono numerosissime e molto vive in vicinanza delle macchie, e specialmente nelle facole e nelle code che le seguono. Non abbiamo esaminato nessuna facola sull'orlo solare, senza trovarla accompagnata da protuberanze vivissime e molto elevate. Le nostre osservazioni provano egualmente che i differenti punti del Sole sono lungi dall'aver spettri identici, come si è creduto fino ad ora. Ma queste osservazioni sono molto delicate, tanto più che per uno stesso punto del Sole, le variazioni dello spettro sono continue, cosicché tutto quello che si può fare, è di notare quelle differenze, senza poterle studiare in una maniera precisa e particolareggiata.

4° Studiando la corona durante l'eclisse del 1868, si era trovato che essa dava uno spettro continuo. Forse gli osservatori non erano ben preparati a questa osservazione delicata. Durante l'eclisse del 7 agosto, gli americani hanno verificato che la luce della corona, analizzata collo spettroscopio, dà alcune righe isolate, di cui la principale e la più brillante coincide con quella delle nostre aurore boreali. Questo fatto richiede di essere confermato, ed è così importante che merita sia fatto oggetto di studi speciali nella prossime eclissi.<sup>12</sup>

Quantunque si sia riusciti a vedere le protuberanze in pieno giorno, le eclissi saranno sempre utilissime, specialmente per lo

---

<sup>12</sup> È la riga verde del "Coronio", la cui natura, Ferro XIV, fu compresa solo negli anni trenta del novecento.

studio dettagliato delle loro forme. Ci si limita infatti a disegnare le loro immagini rosse, senza potere ottenere le immagini gialle, turchine e violette. Di più, il vetro rosso assorbe gli altri colori e modifica perciò il contorno delle protuberanze. Sarà dunque importante, nelle prossime eclissi, disegnarle simultaneamente con le due differenti maniere, per fare uno studio comparativo.

### **§ V. — Conclusioni relative all'atmosfera solare.**

Abbiamo già formulato le principali conclusioni, che risultano dalle osservazioni ottiche e fotografiche. Possiamo adesso farci un'idea assai esatta dell'atmosfera che inviluppa il Sole.

1° Al di là del limite apparente del disco solare, esiste un'atmosfera trasparente, ma che ha una forza assorbente così considerevole da potere arrestare una parte dei raggi solari.

2° Quest'atmosfera non ha per tutto la stessa altezza: essa tocca il suo massimo all'equatore e nella regione delle macchie, e diviene minima ai poli.

3° In quest'atmosfera ondeggia uno strato gassoso, la cui temperatura è elevatissima, e dal quale escono le protuberanze. L'idrogeno è il principale elemento di queste appendici e dello strato rosato, che si osserva nelle eclissi.

4° Questo strato avviluppa il Sole da ogni parte e il suo spessore è variabile. Esso non è esclusivamente composto d'idrogeno; contiene anche altre sostanze, ed in particolare del vapore di sodio e di magnesio. Osservazioni delicate fanno anche accertare la presenza del vapore acqueo.

Tali sono le conclusioni relative all'atmosfera solare. Noi vediamo che, contro ogni speranza, è stato possibile determinarne anche la composizione chimica. Ci resta adesso a studiare la fotosfera stessa; e i potenti mezzi che sono a nostra disposizione, ci permetteranno di ricercare, con qualche probabilità di buon risultato, la sua composizione e la sua struttura.



## CAPITOLO VIII

# ANALISI SPETTRALE DELLA LUCE SOLARE

L'ordine e la connessione delle idee ci hanno forzati a riunire, nel capitolo precedente, un gran numero di fatti e di scoperte, cosicché ci è stato impossibile di sviluppare, in maniera sufficiente, alcuni dei soggetti, nei quali siamo stati costretti ad entrare.

Colmeremo adesso questa lacuna, e daremo al lettore tutti gli elementi necessari per comprendere perfettamente queste importanti e difficili questioni.

Noi abbiamo segnalato un fatto degno di nota, l'esatta coincidenza delle linee brillanti che presenta lo spettro delle protuberanze, con alcune delle righe nere dello spettro solare. Esponiamo in poche parole la teoria di questa inversione, e se ne comprenderà ben presto l'importanza pratica. Vedremo come si possa, coll'aiuto dello spettroscopio, giudicare della presenza delle differenti sostanze negli astri, e fare, per così dire, l'analisi chimica di questi corpi. Fino ai giorni nostri, scoperte dell'Astronomia, per quanto fossero meravigliose, erano sempre limitate ai movimenti dei corpi celesti, alle loro masse o ai loro volumi: adesso l'analisi spettrale ci permette di determinare la natura intima della materia che li compone. La luce è il solo agente che ci metta in relazione con quei mondi lontani, e ad essa dobbiamo domandare informazioni su la loro costituzione fisica e la loro composizione chimica.

Esporremo con ordine i risultati che la spettrometria ha così rapidamente ottenuti. Questa scienza, nata ieri, ha già fatto progressi considerevoli, ma in ragione appunto della rapidità con la quale si è sviluppata, essa ha contribuito a diffondere delle idee inesatte, contro le quali bisogna premunirsi, se non si vuol percorrere una via falsa nello studio dei corpi celesti. Crediamo

quindi dover riprendere l'argomento da un punto un poco più alto, esponendo nettamente i veri principi di spettrometria. Ciò non ci allontanerà dal nostro soggetto, perché si può dire che la principale applicazione di questa scienza è quella che riguarda lo studio degli astri.

### **§ I. — Analisi della luce solare per mezzo del prisma — Spettro solare.**

Sembra che, offrendo ai nostri sguardi i brillanti colori dell'arcobaleno, la Natura abbia voluto invitarci a studiare la composizione della luce, e a riconoscerne la natura. Tuttavia questo mistero non fu svelato che molto tardi. Da molto tempo si conosce il "vetro triangolare"; così si designava altre volte il prisma. La sua proprietà di colorire gli oggetti più grossolani, e di trasformarli in un ammasso di pietre preziose, ne faceva un trattenimento volgare; ma poco degno dell'attenzione di un filosofo. Grimaldi fu uno di quelli che la studiarono con maggior cura e maggior risultato. Egli praticò un'apertura nell'imposta di una camera oscura, introdusse per quella un raggio luminoso, e gli fece subire l'azione del prisma. Poté allora osservare attentamente lo spettro solare, ne dette una descrizione accuratissima, e propose una spiegazione dell'arcobaleno. (*Physicomathesis de lumine*, prop. XXX et seg., pag. 235, ecc.)

Newton ripeté questi esperimenti, e riconobbe che i differenti raggi dello spettro possono subire, senza alterazione, l'azione di un secondo prisma. Andò anche più lungi, ricompose la luce bianca, fissò i nomi dei differenti colori, e le proporzioni nelle quali si debbono combinare, per riprodurre una luce analoga a quella del Sole.

Dopo Newton, Wollaston è il primo che abbia fatto fare a questa branca dell'ottica un serio progresso. Guardando una fessura stretta a traverso un prisma, vide che lo spettro, invece di essere continuo, presentava delle lacune o righe nere, che lo dividevano in più parti.

Questa scoperta passò inosservata, e restò sterile per la scienza, fino al momento in cui Fraunhofer, volendo determinare in modo

preciso l'indice di refrazione dei vetri che adoperava, scorse e scoprì di nuovo lo stesso fenomeno. Allora immaginò dei metodi per studiare queste righe, disegnarle e fissare la loro posizione con misure esatte.

L'esperimento fondamentale di Fraunhofer si fa nel modo seguente. Sopra un piano orizzontale si colloca un prisma triangolare di cristallo purissimo ad una certa distanza si trova una fessura, molto stretta, ad orli paralleli, illuminata col mezzo di un eliostato da un raggio di luce solare. Questo raggio cade sul prisma, e, dopo aver subito la deviazione, sotto l'angolo minimo, entra nell'obbiettivo di un canocchiale che serve così a studiare le differenti parti dello spettro. Per ben discernere le righe, bisogna, prima di tutto, prender di mira direttamente la fessura, e disporre l'oculare in maniera da vederla nettamente; poi, dopo aver fatto subire al raggio luminoso l'azione del prisma, si osserva col canocchiale, e, spostando leggermente l'oculare, si mette al punto in modo da vedere distintamente le righe. Se il prisma è di buona qualità, e se il canocchiale è acromatico, si scorderà un numero molto considerevole di righe finissime. Se ne vede un saggio nella fig. 3 della tavola in fondo al volume, dove le principali soltanto sono rappresentate. Quella figura è molto simile a quella di Fraunhofer, ed è stata disegnata dal signor Van der Willingen. Le principali righe sono designate dalle lettere A, B, C, D, E, b, F, G, H: Si aggiungono a queste lettere delle cifre destinate a facilitare la comparazione col prospetto delle lunghezze d'onda, che daremo più tardi.

Si è perfezionato il modo di osservazione di Fraunhofer, aggiungendo al suo apparecchio un collimatore, che è un canocchiale disposto in maniera che il fuoco principale del suo obbiettivo coincide con la fessura. I raggi che traversano la fessura, escono da quell'obbiettivo paralleli tra loro, come se la fessura stessa fosse situata ad una distanza infinitamente grande, di modo che l'oculare del canocchiale può essere disposto come per l'osservazione di un oggetto lontano. Questa disposizione costituisce lo spettroscopio ordinario, che si adatta al canocchiale al posto dell'oculare. Aggiungendo più prismi, si ottiene uno spettro molto disteso, anche con uno strumento di piccole dimensioni. Lo spettro essendo così più disteso; le righe sono più separate e per conseguenza più distinte le une dalle altre. Adoperando quattro prismi, il signor Kirchhoff

ne ha distinte e disegnate circa duemila; con nove prismi, se ne possono contare più di cinquemila. Si ritrovano queste righe anche. Nella parte ultra-violetto dello spettro, benché questa parte sia invisibile. Il signor Rutherford ne ha determinate più centinaia col mezzo della fotografia. Adoperando strumenti potenti, si possono spesso scomporre delle righe che sembrano semplici a prima vista. La riga D si scompone molto facilmente, ma, con uno spettroscopio potente, si riconosce che in realtà essa è quintupla, perché tra le due linee principali D' e D'', ve ne sono altre tre almeno, senza contare quelle che sono all'esterno. (Fig. 31) Si possono comparare queste osservazioni con quelle delle stelle multiple nei due casi, il risultato dipende dalla potenza degli strumenti che si adoperano.

Fig. XXXI.



Per queste ricerche, si costruiscono degli apparecchi che contengono nove prismi, ed anche più; e questi prismi sono fatti di una sostanza molto dispersiva, come il flint pesante, o il solfuro di carbone. Lo spettro solare è dunque lungi dall'essere continuo le righe nere che abbiamo segnalate, sono vere lacune; tengono il posto di certi raggi aventi un indice di rifrazione determinato, e che fanno difetto nella luce del Sole. Quello che noi diciamo della luce diretta, è egualmente vero per la luce riflessa. Si ottiene il medesimo spettro, con le medesime righe, analizzando la luce della Luna, quella dei grandi pianeti, delle nubi e di tutti corpi illuminati dal Sole. Independentemente da queste righe ben definite, si notano ancora delle linee che paiono indecise, e osservandole con strumenti potenti, si perviene spesso a decomporle in linee nere molto fini. Le righe brillanti, non hanno tutte la medesima intensità luminosa. Gli apparecchi più

dispersivi sono quelli che danno loro più splendore, specialmente nel giallo e nel verde. Anche le linee nere non sono tutte egualmente oscure: vi hanno delle gradazioni differenti, che, nel prospetto del signor Kirchhoff, sono state designate da cifre comprese fra 1 e 6. Si designa anche la loro larghezza con delle lettere comprese tra *a* e *g*. Terminiamo questo paragrafo con un prospetto di lunghezze d'onda, proprie ad un certo numero di righe prese fra le più importanti, con le annotazioni e le cifre del signor Kirchhoff. Vi aggiungiamo il nome delle sostanze che, quando sono incandescenti, danno delle righe brillanti, le quali corrispondono identicamente alle righe nere, che si vedono nello spettro solare. Non pretendiamo di dare una lista completa, come si troverà nei lavori originali di Kirchhoff, Angström, Plücher, Thalen, Van der Willingen, ecc. Il prospetto che diamo qui, basta per mettere il lettore al corrente dei lavori essenziali, che si riferiscono a questo soggetto. Abbiamo preferito le misure di lunghezza d'onda di Van der Willingen, perché queste hanno sostenuto con vantaggio il confronto con quelle degli altri scienziati, Ditscheiner, Mascart, Fraunhofer, Angström.

Ce ne possiamo convincere per l'accordo, che esiste tra le cifre date dal signor Angström, e quelle che riproduciamo. Per ciò che riguarda l'identificazione di queste linee con le righe della figura di Kirchhoff, la cosa non è sempre facile, perché la scala di questo fisico, oltre ad essere arbitraria, non è sempre costante in sé stessa. Il signor Airy ha inutilmente tentato di trovare una formula che desse la lunghezza d'onda in funzione delle divisioni di questa scala. Quanto al signor Angström, egli ha ricondotto il più gran numero di linee alla loro lunghezza d'onda reale, ed ha dato dei prospetti e delle figure, in cui ciascuna riga occupa il posto che deve avere, secondo la lunghezza d'onda relativa. Egli ha chiamato questa figura "spettro normale" del Sole.

Prospetto delle lunghezze d'onda, relative alle righe principali dello spettro solare, secondo le misure del signor Van der Willigen, comparate con quelle dei signori Angström e Kirchhoff.

LETTERE di Fraunhofer	NUMERI e lettere di Van der Willing	LUNGHEZZE D'ONDA, in milionesimi di millimetro		NUMERI della figura del signor Kirchhoff	Intensità e larghezza secondo lo stesso	SOSTANZE corrispondenti	
		secondo V. d. W.	secondo Angström				
A	1 α	763,36	»	»	»	Diffuso agli orli.	
	1 β	760,92	761,2	404,1	6		
	2 α	728,13	»	»	»		
	2 β	724,38	»	»	»		
	3 α	718,97	»	»	»		
B	3 β	718,86	»	»	»	Diffuso agli orli.	
	4 α	687,48	687,5	592,6	6 c		
	4 β	687,12	»	»	»		
C	5	656,56	656,8	664,1	6 c	Idrogeno.	
	6	651,94	»	711,5	»		
	7	649,77	»	719,5	»		
	8 α	628,11	»	»	»		
	8 β	628,00	»	»	»		
	...	625,90	»	»	»		Atmosferica. Fortissimo. C <sup>o</sup> di Brewster.
	9	619,45	619,2	849,7	3 c		
	10	616,49	616,3	863,9	5 b		Ferro.
...	»	614,3	874,3	4 b	Calcio.		
11	613,96	613,9	877,0	4 b	Bario.		
12	612,52	612,4	884,9	4 c	Ferro.		
D <sub>1</sub>	13	610,52	610,5	894,9	4 b	Calcio, cobalto.	
	14 α	589,86	590,0	1002,8	2 c	Sodio.	
D <sub>2</sub>	14 γ	589,26	589,4	1006,8	6 b		
	15	562,70	»	1200,4	6 b	Ferro.	
16	561,80	561,80	1207,3	5 g			
E	17	553,19	»	1280,0?	»	Ferro. Ferro. Ferro, Doppio. Ferro, calcio. Ferro.	
	18	547,86	»	1324,0?	»		
	19	545,83	546,0	1343,5	6 c		
	20	537,38	537,4	1421,6?	5 b		
	21	533,05	533,2	1463,0	5 c		
	22 α	527,24	527,4	1522,7	6 c		
	22 β	527,04	527,3	1523,7	6 c		

LETTERE di Fraunhofer	NUMERI e lettere di Van der Willing	LUNGHEZZE D'ONDA, in milionesimi di millimetro		NUMERI della figura del signor Kirchhoff	Intensità e larghezza secondo lo stesso	SOSTANZE corrispondenti		
		secondo V. d. W.	secondo Angström					
D	23	523,50	523,7	1569,6	5 c	Ferro.		
	24	522,96	»	1577,5	»			
	25	518,83	518,8	1634,1	6 g		Magnesio.	
	26	517,51	517,7	1648,8	6 f		Magnesio.	
	27 α	517,14	517,3	1653,7	6 b		Ferro, nichel.	
	F	27 β	517,07	517,2	1655,6		6 c	Diffuso agli orli.
		27 γ	516,96	»	»		»	Diffuso agli orli.
F	28	510,18	»	1760,4 ?	»	Ferro. Doppio. Ferro, Doppio. Idrogeno.		
	29	508,27	»	1777,4 ?	»			
	30	504,37	»	1834 ?	»			
	31	493,01	496,1	1961,0	4			
	32	489,38	489,5	2041,4	6 b			
	33	487,46	487,4	2066,6	5 c			
	34	486,39	486,5	2080,0	6 g			
	35	467,90	»	2309	»			
	36 α	453,75	»	2489,4 ?	»			
	36 β	453,39	»	»	»			
	36 γ	453,06	»	»	»			
	G	37	438,58	438,6	2721,2		6	Ferro. Largh.
38		434,28	434,3	2798,6	6 b	Idrogeno. Diffuso, largo.		
39		432,74	432,8	2821,9	6	Ferro.		
40		431,12	431,0	2854,4	6	Ferro.		
41		427,52	427,5	»	»	Ferro.		
42		426,27	426,2	»	»	Ferro.		
43		422,87	422,9	»	»	Calcio. Doppio.		
44		414,55	414,7	»	»	Doppio.		
H <sub>1</sub> H <sub>2</sub>	45	413,51	»	»	»	Idrogeno. La 4 <sup>a</sup> nelle stelle del 1° tipo. Ferro. Forte. Ferro. Forte. Ferro. Forte. Calcio. Calcio.		
	46	410,38	410,4	»	»			
	47	407,95	407,5	»	»			
	48	406,75	406,6	»	»			
	49	404,79	404,8	»	»			
	50	403,61	»	»	»			
	51 α	397,13	397,2	»	»			
56 β	393,76	393,6	»	»				

Tab. XIV

## **§ II. — Comparazione della luce solare con le altre luci — Rovesciamento degli spettri.**

Il solo mezzo per arrivare a conoscere la natura e la causa delle righe nere, che osserviamo nello spettro del Sole, è quello di studiare da questo punto di vista le altre luci naturali e artificiali. Questo studio è facile, e non richiede altro apparecchio che lo spettroscopio, di cui abbiamo già parlato; basta mettere la sorgente luminosa avanti alla fessura, per la quale si devono introdurre i raggi. Ma perché la comparazione si faccia in una maniera perfettamente precisa, si adopera il mezzo seguente. Si dispone un piccolo prisma davanti alla fessura, in modo da coprirla in una metà della sua lunghezza. Le faccie di questo prisma riflettono la luce di cui si vuoi fare l'analisi, in maniera da dirigerla nel tubo del canocchiale parallelamente al suo asse; e nel tempo stesso un raggio di luce solare penetra dalla parte della fessura rimasta libera. Allora si vedono nel campo dell'apparecchio due spettri distinti, ma sovrapposti, uno prodotto dalla fiamma che si studia, un altro dovuto al raggio solare. Siccome le due parti della fessura compongono una sola e medesima linea retta, così le righe che hanno lo stesso indice frazione, devono occupare posizioni identiche nei due spettri, e per conseguenza, esse devono essere rigorosamente sul prolungamento l'una dell'altra. Con questo metodo, siamo arrivati alle conclusioni seguenti:

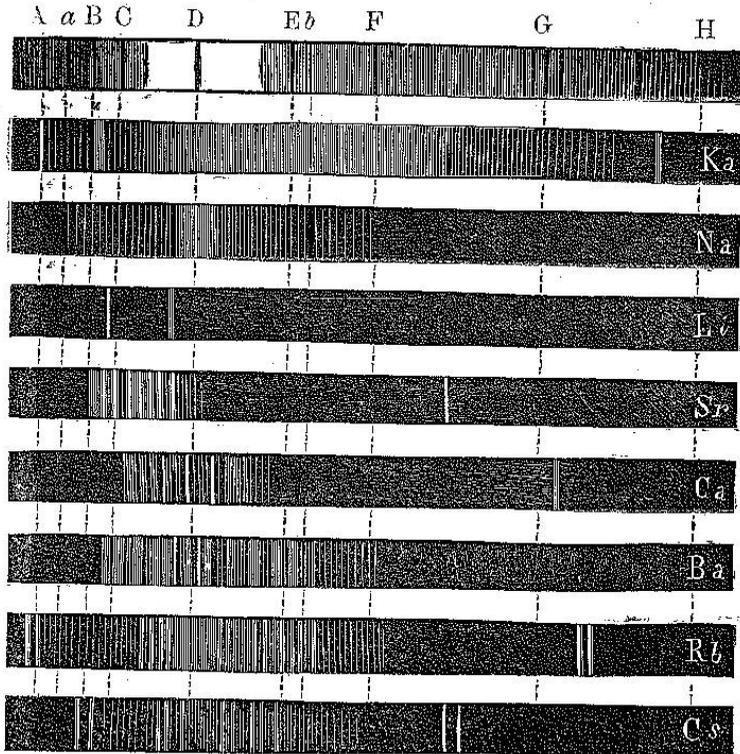
1° Supponiamo che si esaminino dei corpi semplicemente incandescenti, come i carboni dell'arco voltaico, un filo di platino traversato da una corrente elettrica, la calce, la magnesia, la zirconia riscaldati dalla fiamma del gas idrogeno, il carbone in sospensione nella fiamma, ecc., si ottiene sempre uno spettro continuo, senza alcuna riga nera o brillante.

2° Tutte le volte che un corpo, bruciando alla pressione ordinaria, dà origine ad un composto gassoso, produce una fiamma, il cui spettro è discontinuo. Così la fiamma di una candela presenta sempre alla sua base, una parte quasi azzurra, nella quale si

effettua la combinazione del carbonio e dell'ossigeno. Quella parte dà uno spettro discontinuo, in cui si distinguono tre gruppi di righe verdi e turchine, nettamente separate le une dalle altre, e che brillano di un vivo splendore. Si osserva lo stesso fenomeno nella combustione de' metalli. Il mezzo più semplice di accertare questo fatto è quello bruciare del sodio, infiammando una dissoluzione alcoolica di sal marino. Si ottiene così una linea notevolissima nel giallo, linea che si può sdoppiare con strumenti un po' forti, Il cloruro di rame, il nitrato di stronziana producono delle righe verdi e rosse, che servono a caratterizzare quei metalli. Le fiamme ordinarie danno una temperatura generalmente insufficiente per lo che si adopera la lampada di Bunsen, o meglio ancora la scintilla elettrica. Per utilizzare quest'ultimo mezzo, si è ricorso ora ad una pila forte, ora ad un rocchetto d'induzione, e si fa scaturire la scintilla fra due reofori composti del metallo che si vuole studiare. In queste circostanze, mentre si effettua la combustione o la combinazione chimica, *una stessa sostanza dà sempre le stesse righe, quando si trova alla stessa temperatura.*

La figura 32 mostra le righe principali, che si sviluppano bruciando dei metalli alcalini: potassio (Ka), sodio (Na), litio (Li), stronzio (Sr), calcio (Ca), bario (Ba), rubidio (Rb), cesio (Cs).

Fig. XXXII.



3° Se si fa variare la temperatura o il grado di combustione per i corpi composti, si ottengono spettri differentissimi gli uni dagli altri. Quando si tratta di gas, la pressione alla quale trovansi nel momento della combustione, esercita una grandissima influenza. Alcuni di quelli che danno delle righe a una debole pressione, danno spettri continui quando sono sottoposti a pressione molto considerevole, il qual risultato si attribuisce a una temperatura più elevata.

Si provano generalmente i gas, portandoli a un grado sufficiente di rarefazione in tubi chiusi, conosciuti sotto il nome di *tubi di Geissler*, nei quali si fa passare la scarica di un rocchetto d'induzione. Si nota allora che la maggior parte di essi danno spettri differenti, secondo la tensione della scarica. Così azoto dà un magnifico spettro striato, quando si fa passare una scintilla che ha una tensione molto debole. Ma quando si introduce un condensatore nel circuito, e la tensione della carica diviene grandissima, allora lo spettro è discontinuo e composto di righe isolate, il cui aspetto è differentissimo dal precedente (Plücher). La stessa cosa accade per l'ossigeno, il carbonio, lo zolfo, ecc. In queste esperienze i gas agiscono, presso a poco, come vapori metallici; ma in generale il loro spettro è molto complesso. Così l'idrogeno dà quattro righe principali la prima nel rosso, la seconda nel turchino, le due altre nel violetto, e presenta in pari tempo un gran numero di linee più deboli, la cui intensità varia a seconda che la tensione addivene più forte. Quando la tensione è più elevata, le righe vive indicate di sopra si distendono e diventano fasce (Wüllner), e finalmente si termina con l'avere degli spettri continui sotto pressioni fortissime (Frankland).

4° La maggior parte dei metalli danno spettri discontinui, composti di alcune linee brillanti e di larghe fasce scure. Questi spettri sono dunque inversi a quello del Sole, in cui domina la parte luminosa. Vi hanno tuttavia alcune sostanze che fanno eccezione, e che danno uno spettro composto di un gran numero di righe brillanti, per esempio il ferro.

Alcuni metalli sembrano dar pure uno spettro continuo, in cui si notano delle righe brillanti, ed è ciò che accade per il magnesio che brucia all'aria. Ma in questo caso, lo spettro continuo deriva dall'ossido che si forma, e che quindi agisce al modo dei corpi semplicemente incandescenti.

5° Il risultato più sorprendente è quello che si ottiene, come abbiamo indicato, sovrapponendo lo spettro del Sole a quello di un metallo. Si vede allora che, per un buon numero di sostanze, le righe brillanti corrispondono esattamente a certe righe nere dello spettro solare. Così le righe caratteristiche del sodio coincidono in maniera precisa con le righe *D* di Fraunhofer; le righe che

l'idrogeno produce nel rosso, nel turchino e nel violetto, coincidono con le righe *C* e *F*, e con la 38a e la 46a di Van der Willigen (Vedi il prospetto precedente § 1°); le righe principali del ferro corrispondono egualmente a righe ben determinate della luce solare. Il signor Kirchhoff ha trovato più di sessanta coincidenze, Angström ne ha trovate fino a 490.

Nel prospetto inserito alla fine del paragrafo precedente, abbiamo indicato il nome delle sostanze, le cui righe corrispondono a quelle del Sole; ma il nostro prospetto è incompleto, e avremmo potuto aggiungervi un gran numero di metalli che non vi figurano, se avessimo potuto tracciare tutte le linee.

Adesso le righe, la cui presenza è stata constatata nello spettro solare, sono, secondo il signor Angström, le seguenti:

Idrogeno	4
Sodio	9
Bario	11
Calcio	75
Magnesio	4+(3?)
Alluminio	2(?)
Ferro	450
Manganese	57
Cromio	18
Cobalto	19
Nichel	33
Zinco	2
Rame	7
Titanio	200

Questo risultato, inatteso e contrario a tutte le previsioni, punse vivamente la curiosità dei fisici, i quali ne cercarono avidamente la spiegazione, e non tardarono a trovarla. Foucault aveva notato una singolarità che presenta la combustione del sodio. Questo metallo dà d'ordinario una linea brillante che corrisponde alla riga *D*; ma quando si brucia in gran quantità, per esempio nell'arco voltaico, si vede, in alcune circostanze, apparire uno spettro più esteso e quasi continuo, in cui la linea gialla è surrogata da una riga nera. Questo fatto rimase isolato e inesplicito fino al momento in cui Kirchhoff lo ricollegò colla teoria generale.

Questa linea nera era prodotta dall'assorbimento operato dal vapore del sodio, che circondava il punto luminoso. Conoscevasi da lungo tempo alcuni esempi di assorbimento prodotto da vapori. Per esempio, quando la luce solare ha attraversato uno strato d'acido ipo-azotico, o di vapore d'iodio, produce delle righe che non esistevano avanti. Questo fatto si osserva egualmente, allorché si guarda, attraverso questi gas, una fiamma ordinaria, il cui spettro è continuo. Le righe dovute all'assorbimento vi si producono egualmente, ed è molto più facile riconoscerle.

I gas che compongono la nostra atmosfera, hanno pure una forza d'assorbimento molto considerevole, e possono quindi, facendo sparire alcuni raggi luminosi, dare origine ad alcune delle righe che si osservano nello spettro. Essendo questo assorbimento atmosferico, tanto più grande quanto lo strato traversato dalla luce è più spesso, lo spettro deve variare con la posizione del Sole; le righe debbono essere meno numerose, quando è più vicino allo zenit, più abbondanti quando è presso all'orizzonte. È facile osservare questa differenza con un semplice prisma, o con uno spettroscopio da tasca di Hoffmann. La fig. 1 della tavola che poniamo in fondo a questo volume, è dovuta al signor Janssen, e dà un'idea di queste variazioni per la parte meno refrangibile dello spettro. Nel rosso estremo si vedono svilupparsi larghe fasce nere, che non esistevano quando il Sole era più elevato. Nell'arancione specialmente, fra *C* e *D*, presso la riga  $8\beta$  di Van der Willigen, si vede formarsi una linea chiamata *C*<sup>6</sup> da Brewster (figura 2 della tavola stessa) seguita da molti tratti paralleli fra loro. Fra *C*<sup>6</sup> e *D*, si forma ordinariamente un grandissimo numero di linee, e alcune di quelle che vi erano già, divengono notevolmente più larghe. Al di là di *D*, si forma pure una gran fascia chiamata da Brewster  $\delta$ . Durante l'inverno, essa è composta di righe finissime; ma nell'estate, diviene oscurissima, e le differenti linee che la compongono, lasciano appena un intervallo fra loro. Finalmente si nota un altro gruppo nel verde, quasi alla metà dell'intervallo che separa *B* ed *F*. Il violetto ne contiene un certo numero anch'esso.

Alcune di quelle righe sono dovute, senza alcun dubbio, ai gas che compongono la nostra atmosfera: i gruppi del verde, in particolare, appartengono all'azoto. Quelle che trovansi nel giallo

e nel rosso, sono quasi esclusivamente dovute a vapore acqueo. Noi l'abbiamo constatato, esaminando gli spettri in differenti circostanze atmosferiche, notando il momento in cui le righe appaiono, a misura che il Sole si abbassa avvicinandosi all'orizzonte, e analizzando finalmente, nella notte, la luce emessa da fiamme situate a una grande distanza. Di più, abbiamo veduto queste medesime righe manifestarsi al momento in cui leggere nubi passavano dinanzi al disco del Sole, ciò che mostra la influenza del vapore acqueo ch'esse contengono. Il signor Janssen ha confermato la nostra spiegazione, esaminando la fiamma d'un gas attraverso un tubo pieno di vapore acqueo ad alta pressione. Potrebbe darsi tuttavia che un certo numero di righe fossero dovute a sostanze ancora sconosciute, che sono sparse in numero assai grande nella nostra atmosfera. Uno spettro può essere dunque discontinuo per due ragioni molto differenti:

1° Perché, in realtà, i raggi emessi dalla sorgente luminosa non sono continui: tale è la luce delle scintille elettriche e quella dei metalli volatilizzati;

2° Lo spettro può divenire discontinuo per l'azione assorbente d'una sostanza gassosa o d'un vapore. I vapori metallici essendo assorbentissimi, come abbiamo veduto per il sodio, potrebbero ben produrre un risultato simile nella luce solare, e Kirchhoff lo ha verificato con tubi semplici, riempiti di vapore di sodio, e con la fiamma di alcuni altri metalli. Il risultato più importante di queste ricerche è che, a una temperatura bassa, un vapore assorbe precisamente i raggi luminosi, che la stessa sostanza emetterebbe, se fosse incandescente.

Così il vapore di sodio produce, col suo assorbimento, delle righe nere nel punto preciso, in cui lo stesso metallo produce delle righe brillanti, durante la sua combustione.

Questo l'atto generalizzato costituisce ciò che si chiama *l'inversione dello spettro*, e può enunciarsi in modo generale, il principio seguente:

*Un vapore assorbe precisamente i raggi che è capace di emettere quando è incandescente, cosicché la potenza emissiva e la potenza assorbente sono complementari l'una dell'altra.*

Questa regola suppone sempre, come condizione essenziale, che il vapore assorbente sia a una temperatura più bassa di quella del corpo raggianti.

La teoria fisica di questi fenomeni è assai facile a stabilirsi con un semplice paragone fra l'ottica e l'acustica, paragone a cui ci conducono naturalmente le idee attuali, secondo le quali la luce risulta dalle ondulazioni di un fluido etereo. Un gran numero di corpi sonori, a causa delle loro forme irregolari, non possono emettere che rumori risultanti dà una quantità di suoni confusi e corrispondenti a lunghezze di onde differenti. Ve ne sono altri invece che, trovandosi in condizioni migliori, producono suoni musicali perfettamente precisi e determinati, che sono prodotti da vibrazioni tutte isocrone, e si propagano con ondulazioni tutte della medesima lunghezza, o sono tutto al più accompagnati da alcune armoniche alla quinta, all'ottava, etc. Producesi qualche cosa di analogo per i corpi luminosi. I corpi semplicemente incandescenti, ritenuti e impacciati da vincoli molecolari, emettono ondulazioni di ogni natura e di ogni lunghezza, i cui indici di refrazione prendono tutti i valori possibili fra i due limiti estremi, e da ciò risulta necessariamente uno spettro continuo. Le stesse sostanze ridotte in vapore, liberate in gran parte dagli impacci della coesione, vibrano con più libertà, ed emettono onde luminose, la cui lunghezza dipende unicamente dalla massa vibrante, o dalla sua forza viva. Queste onde sono in piccolo numero e nettamente definite; tutto al più sono accompagnate da alcune altre ondulazioni, che potremmo chiamare armoniche, e le cui lunghezze hanno dei rapporti commensurabili con quella dell'onda principale. Per esempio, le righe *C* ed *F* dell'idrogeno sono dovute a raggi, le cui lunghezze d'onda stanno quasi rigorosamente in rapporto di 4 a 3, rapporto che caratterizza in acustica l'intervallo dal *do* al *fa*; la differenza è soltanto di 1/81.

La terza riga del violetto (comparata) alla riga *C*, dà il rapporto di 9/8 a 5/3, con una differenza egualmente piccolissima. Facendo astrazione da questa differenza, avremmo il rapporto che caratterizza l'intervallo dal *re* al *la*.

Secondo il signor Heinrichs, se si studiano le differenti righe di una stessa sostanza, si trova che le loro lunghezze d'onda possono essere rappresentate dai termini d'una progressione aritmetica. La ragione di questa progressione resta costante per uno stesso gruppo, e può sempre esprimersi con un numero assai semplice, che dipende dalla forma e dal volume degli atomi.

Queste teorie possono presentare qualche difficoltà di dettaglio, ma non è da contestarsi il principio generale, che ne forma la base. Le molecole perfettamente libere di un gas debbono vibrare in modo semplice e nettamente definito, assolutamente come i corpi di forma e di massa determinata, che si adoprano in acustica per produrre dei suoni musicali d'una grandissima limpidezza.

Accade sovente che alcuni corpi sonori, suscettibili di rendere suoni musicali ben determinati, si mettono in vibrazione per simpatia. Basta a ciò che, in vicinanza, un istrumento, qualunque faccia udire il suono che questo corpo è capace di produrre, o anche una delle sue armoniche. Così le corde d'un'arpa o d'un violino possono, senza essere state scosse direttamente, mettersi a risonare sotto la sola influenza dell'onde aeree, di cui sembrano comprendere il linguaggio. Le molecole di un gas debbono provare qualche cosa di simile relativamente alla luce. Quando sono colpite dalle onde eteree, esse rimangono il più delle volte indifferenti, perché non son capaci di vibrare all'unisono. Però, se sopraggiunge un movimento vibratorio, corrispondente alla lunghezza d'onda, ch'esse possono produrre, o avente con questa lunghezza un rapporto assai semplice, ne subiranno immediatamente la influenza, come le corde sonore subiscono l'influenza delle vibrazioni aeree. Ma allora le molecole così scosse assorbiranno il lavoro dell'onda luminosa, che le ha colpite, ed essendo così il movimento intercettato dal mezzo che avea voluto traversare, il raggio luminoso cesserà di propagarsi e parrà estinguersi. Uno strato di molecole gassose può dunque assorbire i raggi che gli sono simpatici, cioè quelli che corrispondono alla lunghezza d'onda, che può produrre esso stesso vibrando, ciò che equivale a dire che una sostanza, ridotta allo stato di gas o di vapore, assorbe precisamente i raggi che questa stessa sostanza è capace di emettere, quando è incandescente. È ben vero che, per il fatto stesso di questo assorbimento, la massa gassosa aumenta la forza viva ch'essa possiede, che la sua temperatura si eleva, e che per conseguenza diviene essa stessa raggiante, ciò che tende a sostituire una riga luminosa alla riga nera, ch'essa produce. Però la linea nera non potrà sparire che al momento in cui lo strato gassoso avrà acquistato uno splendore eguale a quello della sorgente, condizione difficile ad adempiersi, quando la massa di gas presenta uno spessore molto grande. Può

accadere che l'assorbimento sia dovuto a un gas che, invece di dare origine a onde della stessa lunghezza di quelle che cercano di traversarlo, sia solamente capace di produrre ciò che noi possiamo chiamare le *armoniche* di quelle stesse ondulazioni. Allora l'assorbimento non sarà completo, le righe non saranno perfettamente nere, ma la loro tinta più o meno cupa, si disegnerà sempre sul resto dello spettro.

La teoria che abbiamo esposta è attualmente ammessa dai fisici, e può dirsi che è confermata dalla differenza che esiste fra l'assorbimento prodotto dal gas, e quello che è dovuto ai corpi liquidi o solidi.

Nel primo caso, le righe son sempre nette, francamente terminate e perfettamente isolate le une dalle altre. Nel secondo caso invece, l'assorbimento produce larghe zone nebulose e mal terminate, che non si riesce a dividere in righe semplici, distinte le une dalle altre.

Questo risultato è evidentemente dovuto a questo, che i vincoli molecolari, assai forti nei solidi ed anche nei liquidi, sono debolissimi o quasi nulli nei gas.

I vincoli della coesione molecolare non sono i soli che contribuiscono a determinare la natura di questo assorbimento; i vincoli dell'affinità chimica e lo stato di combinazione esercitano pure una influenza considerevolissima. Così, un semplice miscuglio d'idrogeno e di azoto, compressi in maniera da occupare lo stesso volume del gas ammoniacco, al quale potrebbero dar vita, assorbe una tenuissima quantità di calore. La cosa è ben diversa per l'ammoniaca, che, nelle stesse circostanze, manifesta una forza assorbente 60 volte più considerevole. Si può dire altrettanto dell'ossigeno e dello idrogeno: la loro mescolanza possiede una forza assorbente molto più debole di quella del vapore acqueo, che resulta dalle loro combinazioni.

In generale i gas semplici hanno un potere assorbente debolissimo, e, per conseguenza, emettono pure ben poca luce, anche quando la loro temperatura è elevatissima, d'onde avviene che la mescolanza d'ossigeno e d'idrogeno dà una fiamma pallidissima, quantunque molto calda. Oltre le irradiazioni

luminose, il Sole emette pure delle irradiazioni chimiche e termiche, e ne parleremo più tardi. Applichiamo adesso allo studio della fotosfera e della sua costituzione i principi che abbiamo esposti.

### **§ III. — *Applicazione dei principi precedenti alla costituzione della fotosfera solare.***

È facilissimo attualmente spiegare la presenza delle righe nere nello spettro solare. Queste lacune non sono altro che righe di assorbimento, prodotte da vapori metallici, che fanno parte dell'atmosfera del Sole. Abbiamo veduto, nel capitolo precedente, che questo astro è circondato da un'atmosfera, la cui altezza è eguale a molti diametri terrestri. Basandoci sopra osservazioni fotografiche, fatte durante le eclissi, e la cui autorità è incontestabile, possiamo affermare che l'altezza di quest'atmosfera è compresa fra la metà e il terzo del raggio solare. Vi abbiamo verificato direttamente la presenza dell'idrogeno, come componente uno strato rosa, che avvolge il Sole da tutte le parti, e produce le protuberanze. Se teniamo conto della temperatura estremamente elevata, che regna in quell'atmosfera, dobbiamo ammettere che essa contiene, allo stato di vapori, un gran numero di sostanze metalliche, che vediamo ordinariamente allo stato solido, per esempio il sodio, il potassio, il magnesio, il calcio, ed anche il ferro ed altri metalli poco fusibili. Partendo dalla legge del quadrato della distanza, siamo condotti a concludere che la temperatura del Sole è di più migliaia di gradi. Vedremo che in realtà è di più milioni. Però, anche arrendendoci a questo limite inferiore, possiamo dire con certezza che; in tali circostanze, tutti i metalli che abbiamo nominati, sono ridotti in vapore. È nota per ogni dove la fabbrica dell'acciaio secondo il processo di Bessemer. Questo processo consiste nell'eliminare il carbonio dalla fusione, lanciando una corrente di aria compressa attraverso la massa che si fonde. Durante siffatta operazione, al momento stesso in cui si comincia a soffiare, la fiamma dà origine ad uno spettro continuo, che presenta tutto al più le righe del sodio, dovute a frammenti di carbone o a polveri atmosferiche. Ma quando l'operazione tocca il suo fine, il carbonio essendo quasi completamente bruciato, ed essendosi la temperatura elevata

considerevolmente, si vedono di nuovo comparire le righe del sodio, poi lo spettro perde, a poco a poco, la sua continuità, e vedonsi disegnarsi le linee brillanti del calcio, del magnesio, e soprattutto quelle del ferro. Lo spettro è allora magnifico: oltre le righe che abbiamo indicate, ne contiene pure un gran numero provenienti dalle sostanze che trovansi nei metalli. La temperatura che allora si produce, non oltrepassa tuttavia i 3000 gradi, e si può concludere che bastano alcune migliaia di gradi per volatilizzare i metalli meno fusibili.

Si ha dunque il diritto di ammettere che l'atmosfera del Sole contiene dei vapori metallici, e che questi vapori, col loro potere assorbente, producono le lacune che costituiscono le righe di Fraunhofer. Questa induzione non è neppure necessaria. Il solo fatto della coincidenza perfetta delle righe dello spettro solare con le righe brillanti dei metalli, se ce ne stiamo ai principi che abbiamo esposti, prova direttamente e in modo bastante, l'azione e, per conseguenza, la presenza de' vapori metallici nel Sole. Se partiamo da questi dati, e studiamo le relazioni che esistono fra le righe dello spettro solare e le linee brillanti, che caratterizzano le differenti sostanze, arriveremo a convincerci che il Sole contiene, allo stato di vapori, nella sua atmosfera, il sodio, il magnesio, l'idrogeno, il calcio, il bario, il ferro, il cromo, il manganese, il nichel, il cobalto, il rame e lo zinco. Malgrado le differenze estreme, che esistono fra le loro intensità, questi vapori, in virtù della loro forza diffusiva, tendono a mescolarsi fra loro, come i gas ordinari. Tuttavia, troveremo vapori molto pesanti in maggior quantità nelle parti più basse dell'inviluppo.

Questa teoria suppone che si ammettano due ipotesi fondamentali: 1° al disotto dell'atmosfera che produce l'assorbimento, esiste uno strato luminoso che, nelle sue irradiazioni, emette raggi di ogni natura, e produce conseguentemente uno spettro continuo; 2° l'inviluppo atmosferico, in cui trovansi i metalli volatilizzati, è a una temperatura inferiore a quella dello strato luminoso.

La prima ipotesi può intendersi in due maniere. La fotosfera può esser composta, come le nostre nubi, di una specie di nebbia dovuta alla condensazione dei vapori metallici. Sarebbe un ammasso di gocciollette liquide, o anche di una polvere solida, estremamente fine, che avrebbe, in virtù della sua stessa condensazione, un gran potere emissivo. Tale era l'idea di Wilson.

Si può anche pensare che la fotosfera sia gassosa, come il resto del corpo solare, ma che la forte pressione, alla quale è sottoposta, le comunichi la potenza di emettere raggi di ogni natura e di produrre così uno spettro continuo. La prima spiegazione si accorda meglio colle apparenze che presentano le macchie, e con le osservazioni che abbiamo esposte nei capitoli precedenti. La seconda riposa sulle ipotesi di una forte pressione, la cui esistenza sembra lungi dall'essere dimostrata alla superficie visibile del Sole, quantunque debba essere considerevole a una grande profondità. Resulta infatti, da tutti i lavori e da tutte le osservazioni, che l'atmosfera trasparente del Sole non produce che una refrazione debolissima sui raggi che la traversano, ed è ben difficile a comprendersi che questo debole potere refrangente si concili con una pressione considerevole. Oltre a ciò, le righe dell'idrogeno non restano fini che alla pressione di 440 millimetri, al di là della quale, esse si allargano (Wüllner). Ne deduciamo che lo strato visibile del Sole non sopporta una pressione notevolmente più grande. È ben vero che sopra il Sole la gravità è 28 volte più grande che alla superficie della Terra, ma è anche possibile che la forza espansiva del calore apporti un compenso più che sufficiente. Questa questione domanda evidentemente di essere fatta più chiara con ricerche ulteriori. Ammetteremo, per il momento, come più probabile la spiegazione di Wilson. Quanto alla più debole temperatura di questo strato esteriore, essa è difficilissima a giustificarsi. Lo strato atmosferico, essendo il più lontano dal centro, è anche il più immediatamente esposto agli effetti dell'irraggiamento. E dunque naturale che si raffreddi più presto, e che la sua temperatura sia più bassa di quella degli strati interni: Esso resta pur sempre gassoso, in grazia della sua temperatura elevata e della natura delle sostanze che lo compongono, e quantunque una porzione dei vapori arrivi allo stato di saturazione e si condensi, ne rimane tuttavia una certa quantità allo stato di fluido elastico, come avviene nella nostra atmosfera per il vapore acqueo, che trovasi al di sopra delle nubi. In conseguenza di quello che abbiamo detto, lo strato incandescente che dà uno spettro continuo, non è altro che la stessa fotosfera; ma siccome i raggi che ce la fanno scorgere, debbono traversare l'atmosfera che la circonda, qualunque sia il punto verso il quale si dirige lo spettroscopio, trovasi sempre uno

spettro discontinuo, ovvero, se si esaminano le protuberanze, uno spettro a righe brillanti. Però, studiando con maggior cura l'orlo del disco, siamo riusciti a vedere uno strato sottilissimo, il cui spettro sembra continuo. E poiché questa scoperta è interessantissima, entreremo in qualche particolare.

Abbiamo usato un canocchiale di 25 centimetri di apertura, avente una gran forza d'ingrandimento, e montato equatorialmente. All'oculare adattavamo uno spettroscopio avente almeno tre prismi molto dispersivi. Essendo la fessura parallela all'orlo, regolavamo il movimento d'orologeria del canocchiale in modo da permettere al disco solare di avvicinarsi, a poco a poco, al campo dell'apparecchio. Allora abbiamo potuto costatare i fenomeni seguenti: 1° a una piccola distanza dall'orlo, la luce esteriore è così viva da produrre uno spettro listato di nero, in cui si possono nettamente distinguere le righe più fini; 2° la distanza divenendo ancora più debole, si vedono comparire le righe brillanti delle protuberanze e dello strato roseo; 3° queste righe brillanti perdono la loro intensità, e giunge un momento in cui tutte le righe nere spariscono, ad eccezione delle più forti come quelle *D* e *b*; 4° lo strato che dà così uno spettro continuo, è estremamente sottile, e si vede ben presto apparire lo spettro listato di nero, che annunzia l'orlo vero del disco solare. Il fenomeno osservato nella terza fase, non può spiegarsi che in due maniere: o lo strato che vediamo, è quello che irraggia direttamente, e fornisce uno spettro discontinuo; ovvero inverte parzialmente le linee nere di certi metalli, come lo strato roseo inverte quelle dell'idrogeno. In quest'ultima ipotesi, avendo lo strato stesso una forza troppo debole per rendere brillanti le righe sulle quali agisce, non produrrebbe che un rovesciamento parziale, cioè un cancellamento apparente delle righe, come avviene per l'idrogeno al di là delle protuberanze. L'ultima ipotesi ci sembra la più conforme alla verità.

Non deve far meraviglia il veder persistere le righe *D* e *b*, perché que' vapori hanno una tenue densità e una gran forza assorbente. Dopo l'idrogeno e i gas propriamente detti, questi corpi son quelli che hanno il peso specifico più debole che conseguentemente, allo stato fluido, elastico, sono specificamente più leggeri. I loro vapori debbono dunque elevarsi a una grandissima altezza, ed

essendo molto assorbenti, dovranno anche in piccola quantità produrre delle linee assai cupe e quasi nere. L'esperienza infatti ci mostra che, sotto uno spessore di alcuni metri soltanto, il vapore di sodio rovescia lo spettro così brillante della luce elettrica. Il Sig. Lockyer ha osservato le righe dirette di questi vapori in alcune protuberanze, come noi abbiamo osservato quelle del magnesio e del ferro. L'osservazione che abbiamo descritta, è molto delicata e difficile, ed esige quindi circostanze eccezionali e grandissime precauzioni.

L'immagine solare deve essere nettissima e perfettamente tranquilla: fa d'uopo usare un ingrandimento considerevole, e servirsi di uno spettroscopio fortissimo.

Il fenomeno che segnaliamo qui, è perfettamente d'accordo con quello che abbiamo osservato durante l'eclisse del 1860. Dopo aver veduto sparire l'orlo solare, noi segnalammo uno strato atmosferico bianchissimo e brillantissimo, e quindi apparvero lo strato roseo e le protuberanze. Ora sembra che quella parte brillante dell'atmosfera solare, che abbiamo veduta fra lo strato rosa e l'orlo vero del Sole, sia quella stessa che dà attualmente lo spettro continuo.

Potrebbe spiegare così un fatto osservato dal Signor Rziha nell'eclisse del 1868. Questo fisico ha notato che la corona, o atmosfera solare, dà uno spettro continuo.<sup>13</sup> Ora il sottile strato di cui parliamo, non è che la parte più viva della corona, quella in cui ondeggia lo strato d'idrogeno. Questa sostanza, a causa della sua tende densità, si eleva al di sopra di tutte le altre, ma è evidente che non forma, come è stato preteso, il limite estremo dell'atmosfera solare. Le forme definite e delineate, che presentano le protuberanze, provano che l'idrogeno, il quale le costituisce, ondeggia sospeso in un gas più leggero, ma che esercita pur sempre una pressione sensibile. Le osservazioni della corona nelle eclissi provano d'altra parte che l'atmosfera si estende molto al di là delle protuberanze. Fino ad ora, non si è giunti a riconoscere la sostanza a cui appartiene la riga gialla, che

---

<sup>13</sup> Il 7 agosto 1869, gli astronomi americani videro, nel verde, una riga brillante staccarsi su quel fondo uniforme. Questa osservazione non è in contraddizione con quella del signor Rziha.

brilla in vicinanza del punto *D*. Chi sa che non appartenga all'idrogeno dissociato, cioè agli elementi costitutivi di questo gas? Le osservazioni ordinarie mostrano che questa riga non subisce sempre le medesime alternative dell'altre righe dell'idrogeno. Essa è spesso debolissima, mentre in più circostanze, è assai più viva e più lunga della stessa riga *C*, il che fa supporre una sostanza differente dall'idrogeno, ma leggera almeno ugualmente. L'atmosfera solare deve contenere ogni specie di vapori; come abbiamo già detto; ma ciò non impedisce che s'inalzino ad altezza tanto più grande, quanto essi sono più leggeri. Lo si potrà riconoscere nel prospetto seguente, nel quale le sostanze, la cui presenza è stata segnalata nel Sole, sono disposte secondo l'ordine crescente dei loro pesi atomici. Abbiamo inserito in questo prospetto l'alluminio, il silicio e il potassio, quantunque la loro esistenza nel Sole non sia perfettamente dimostrata.

Idrogeno	1	Cromo	52,0
Sodio	23	Manganese	52,5
Magnesio	24	Ferro	56,0
Alluminio	27	Rame	63,5
Silicio	28	Zinco	65,0
Potassio	39	Bario	137,0,02+65,5
Calcio	40		

Se un gran numero di corpi riguardati come semplici dai chimici, e particolarmente i metalli preziosi, non sono stati ancora riconosciuti nel Sole, non bisogna concluderne che non vi si trovino. Questo fatto, puramente negativo, può derivare da ciò, che questi metalli, a causa della densità considerevole dei loro vapori, trovansi ritenuti in regioni profonde e inaccessibili all'analisi spettrale.

In tutto ciò che abbiamo detto, è stato sempre supposto che le sostanze esistenti in quella regione del Sole non possano dare che spettri continui. È ben possibile tuttavia che vi siano pure dei corpi capaci di dare direttamente righe luminose, che sfuggono ad ogni assorbimento. Si può citare, come prova di questa possibilità, la riga gialla, che brilla nello spettro delle protuberanze. Questa riga esiste in realtà nello spettro ordinario, e brilla anche di un notevole splendore, come molte altre situate nel verde e nel rosso.

Noi non possiamo entrare, a questo riguardo, in maggiori particolari, ma rinvieremo il lettore alle numerose comunicazioni che abbiamo indirizzate all'Istituto di Francia, e che sono state inserite nei *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, del 1868 e del 1869.

#### **§ IV. — *Analisi spettrale delle macchie solari. Conseguenze relative alla costituzione del Sole.***

I procedimenti ordinari dell'analisi spettrale ci fanno conoscere l'insieme dei raggi che emanano dal Sole, dopo avere attraversato la sua atmosfera; ma può domandarsi se tutte le parti del globo solare emettano raggi identici, e producano spettri perfettamente simili. Assai difficile sembra che, sopra una superficie di così grande estensione, vi abbia un'omogeneità completa, e naturalmente il pensiero ritorna sulle macchie, per indagare se queste regioni, sì differenti dalle altre sotto tanti punti di vista, non debbano pure offrire notevoli particolarità relativamente alle irradiazioni che c'invisano. Abbiamo procurato di risolvere questo problema, e a questo scopo abbiamo cercato di ottenere delle immagini delle macchie amplificate più che fosse possibile. Abbiamo adoperato per queste osservazioni il nostro grande equatoriale di Merz. Collocando ad una piccola distanza dal fuoco, un obiettivo acromatico di un microscopio di Amici, ottenevamo un'immagine del Sole, che proiettata sopra uno schermo, avrebbe avuto 22 o 23 centimetri di diametro. L'immagine delle macchie presentavasi allora con una grandezza notevole, e, per una fortunatissima coincidenza, il numero delle macchie essendo stato considerevole nei mesi di aprile e di maggio 1869, abbiamo potuto studiarle attentamente da questo punto di vista particolare, e seguire con buon risultato le differenti fasi che esse presentano. L'immagine delle macchie acquistava talvolta più di un centimetro di diametro, cosicché limitando, col mezzo di diaframmi, la lunghezza della fessura a 2 millimetri circa, si potevano esplorare successivamente le differenti parti dell'ombra e della penombra. Abbiamo adoperato dei prismi potentissimi, il cui numero variava da 3 a 5. Le misure erano prese o con una scala graduata sul vetro, e adattata all'oculare, o col mezzo di fili micrometrici. Nel seguito del

nostro lavoro, tutte le righe sono state comparate colle figure di Kirchhoff; ma qui le riferiremo a quella di Van der Willigen, che abbiamo già riprodotta. Ecco i risultati a cui siamo pervenuti, e che, godiamo dirlo, sono stati grandissima parte confermati dal signor Lockyer:

1° Dirigendo lo spettroscopio verso le differenti regioni del disco solare, si trovano per tutto le stesse righe principali. Quanto alle righe secondarie, non possiamo affermare lo stesso: esse svaniscono in certi punti, ma il loro sparire può essere l'effetto di un più grande splendore che, in quei punti, presenta la luce. Tuttavia si notano, presso all'orlo, delle variazioni considerevoli. Molti sistemi di linee finissime, che scorgevansi difficilmente al centro, diventano allora visibilissime, presentano in pari tempo un aspetto indeciso e quasi nebuloso, e i loro orli non sono nettamente terminati. Per fare rigorosamente uno studio comparativo, bisognerebbe giungere a porre accanto gli spettri di due punti del disco, separati l'uno dall'altro. Si verificherebbe così se le differenze dipendono solamente dall'intensità della luce, o dalla posizione delle righe. Ci è stato impossibile adoperare uno strumento che offrissi questo risultato, ma abbiamo verificato che la semplice diminuzione della intensità luminosa non può produrre un simile effetto. Quel risultato è quindi unicamente dovuto all'influenza dello strato atmosferico più denso, che i raggi traversano verso l'orlo. Le righe *D* sopra a tutto sono talmente diffuse, che è impossibile non riconoscerci un effetto dovuto all'assorbimento.

2° In vicinanza delle macchie, e principalmente sulle facole che le circondano, le righe dell'idrogeno sono sempre più deboli. Talvolta spariscono completamente, e finiscono anche coll'invertirsi. La riga *C* quella che subisce le più grandi variazioni. La riga *F* non sparisce mai completamente, ed è accompagnata da un'altra linea nera, che non appartiene all'idrogeno. Questi fenomeni si spiegano adesso perfettamente. Abbiamo visto che, in vicinanza delle macchie, vi sono d'ordinario enormi protuberanze composte di gas idrogeno. Queste protuberanze ci darebbero delle righe brillanti se fossero isolate, ma inondate, come sono, dalla folgoreggiante luce del Sole, giungono appena a produrre un effetto eguale all'assorbimento dello strato disteso attorno. Quando sono

abbastanza brillanti, possono produrre un effetto più considerevole, e dare realmente origine a righe brillanti, ciò che si manifesta molto di frequente. Quando una macchia è presso l'orlo, si vedono spessissimo le righe brillanti dell'idrogeno farsi sopra allo stesso disco solare, e prolungarsi di più secondi fino al nucleo scuro, dove arrestarsi bruscamente. Tuttavia quando un ponte traversa il nucleo, e specialmente quando vi sono dei veli rossi nei nuclei, vi si ritrova la riga C invertita, o almeno molto ridotta.

3° Nell'interno delle macchie, lo spettro subisce una modificazione profonda. Tutta l'armonia e il rapporto delle intensità luminose trovansi cambiati. Alcune linee, che d'ordinario sono appena visibili, diventano nerissime e larghissime; altre si fanno indecise sugli orli, altre infine restano senza alcun cambiamento. È evidente che tali modificazioni non possono essere attribuite a una semplice diminuzione nell'intensità luminosa. Siamo dunque dinanzi ad un assorbimento speciale ed elettivo, prodotto da alcune sostanze che trovansi nell'interno delle macchie. Vi sono quindi de' fenomeni ben marcati, che noi procureremo di analizzare.

A. Si distinguono nello spettro molti sistemi di linee finissime, molto serrate, egualmente distanti le une dalle altre. È stato dato a questi sistemi il nome di *persiane*, a causa delle apparenze ch'essi presentano. Nelle macchie queste righe diventano diffuse e nebulose, come si può vedere presso le righe 6, 7, 8 e 9 della figura di Van der Willigen, e in vicinanza delle righe 14 e 15. I sistemi di righe, che si formano in que' luoghi, hanno una intensità gradualmente crescente o gradualmente decrescente, e sono assai distinte, ma nebulose. Nella regione del verde, ve ne sono un grandissimo numero che diventano nerissime nelle macchie, mentre poi, quanto alle parti più luminose del Sole, si distinguono molto difficilmente. Questi sistemi non sembrano essere tuttavia creazioni nuove, affatto particolari alle macchie: corrispondono ordinariamente a righe debolissime indicate da Kirchhoff, ma queste righe prendono, nelle macchie, uno sviluppo straordinario, ciò che costituisce un fenomeno ben marcato e completamente caratteristico. Non si conoscono ancora le sostanze che producono queste persiane ma sembra che siano gassose. Il vapore acqueo ne produce delle simili, e qualche volta allo stesso posto.

*B.* Molte righe metalliche si dilatano in una maniera considerevole, pur conservando i loro orli nettamente delineati. È facilissimo costatare questo allargamento nelle righe 10, 11 e 12 di Van der Willigen. Nel verde, ve ne sono alcune che divengono 3 o 4 volte più larghe, quando le macchie sono tonde e profonde. Abbiamo accertato questo fenomeno sopra un grandissimo numero di righe, che troppo lungo sarebbe indicare qui. Diremo solamente che per quelle del calcio e del ferro, il fatto è più appariscente.

*C.* Le righe del sodio si allargano anch'esse; ma contrariamente all'altre, diventano diffuse sugli orli e veramente nebulose. È difficile tuttavia vedere se vi è una modificazione propriamente detta della riga metallica in sé stessa, o se è un risultato dovuto all'azione eli una causa estranea, come accade a queste medesime righe, quando il Sole è presso l'orizzonte, e per conseguenza l'atmosfera esercita una più considerevole influenza. Nel verde, abbiamo ancora delle righe che diventano diffuse, specialmente fra *b* ed *E*.

*D.* Le righe metalliche si allargano gradualmente dall'orlo esteriore della penombra fino al nucleo, cosicché le loro estremità finiscono in una punta affilata.

4° Oltre queste modificazioni caratteristiche, che presentano le righe, si vede pure variare la intensità luminosa delle differenti parti dello spettro, specialmente nel rosso, nel giallo e nel verde. Si vedono formare delle fasce scure, in particolar modo fra i punti *B* e *C*, e in vicinanza di *D*. Se ne vede una presso la riga 16, un'altra presso il punto 8, e un grandissimo numero fra 20 e 17. Queste variazioni d'intensità sono facili ad accettarsi, ma difficili a valutarsi, perché non presentano niente di ben definito. Il fenomeno è tuttavia incontestabile e indipendente dall'allargamento delle righe nere, perché lo spazio compreso fra 9 e 13 resta brillantissimo, malgrado l'allargamento delle righe del calcio e del ferro.

5° Malgrado l'assorbimento considerevolissimo che si osserva nell'interno delle macchie, vi sono delle righe che restano perfettamente brillanti, senza subire la minima variazione nella loro intensità. Le loro posizioni corrispondono a degli intervalli

indicati da Kirchoff come non contenenti alcuna riga. Queste posizioni sulla figura che abbiamo riprodotta, si trovano presso a poco fra 14 e 15, fra 16 e 17, 17 e 18, 19 e 20, 21 e 22.

6° Vi ha una grande analogia fra l'assorbimento che si produce nell'interno delle macchie, e quello che si osserva quando il Sole è presso l'orizzonte, ma nuove linee che si producono, e quelle che si allargano, non sono le stesse nei due casi. Così la riga  $C^6$  di Brewster, che diviene larghissima quando il Sole è all'orizzonte, è invisibile nelle macchie. Tuttavia la fascia che trovasi al di là del punto  $D$ , e che Brewster ha disegnato colla lettera  $\delta$ , quantunque prodotta dall'atmosfera terrestre, esiste pur sempre indipendentemente dalla stessa atmosfera, perché quando il Sole si avvicina all'orizzonte la si vede comparire sui nuclei delle macchie, mentre è ancora invisibile su tutti gli altri punti del disco. Riteniamo pure che le righe nebulose comprese fra 7 e 8, siano dovute al vapore acqueo, perché sono rafforzate fortemente quando il Sole è all'orizzonte, e lo son pure da un semplice cirro che passi davanti al disco solare.

I fenomeni che abbiamo analizzati provano adunque che le macchie sono regioni in cui l'assorbimento si esercita più potentemente, e il rafforzamento delle righe, che producesi all'orlo del disco, dipende evidentemente dalla medesima causa. Vi ha tuttavia una differenza fra questi due assorbimenti, perché, mentre in prossimità dell'orlo si rimarca sopra a tutto un assorbimento che sembra dovuto a dei gas propriamente detti, si osserva nelle macchie l'assorbimento proprio dei metalli. Quando le macchie sono superficiali, si vedono semplicemente rinforzarsi le righe  $D$ . Quando esse sono di profondità media, le righe del calcio si rinforzano egualmente, ma non si vede alcun cambiamento in quelle del ferro. Per ultimo, quando le macchie sono molto profonde, le righe del ferro subiscono alla loro volta una dilatazione notevole, ma minore di quelle del calcio. Il fondo delle macchie sarebbe dunque occupato da vapori metallici assai densi, per esempio da quelli del ferro e del calcio. Così il sodio e il calcio, il cui peso atomico è più debole, sono pur quelli le cui righe si allargano maggiormente. Gli altri metalli, il cobalto, il cromo, il piombo non presentano cambiamenti notevoli, e lo attribuiamo alla densità, dei loro vapori. Riflettendo su tutti questi

fenomeni, si è sospinti ad ammettere che, nell'interno delle macchie, i vapori metallici sono disposti per ordine di densità, i più pesanti al fondo, i più leggieri nella parte superiore, e al disopra di tutto il gas idrogeno che avvolge intieramente il globo solare, e produce de' getti luminosi, che designeremo col nome di protuberanze. Dall'insieme di questi fatti risulta pure una conclusione importantissima. Poiché, nelle macchie; lo spettro non presenta nuove righe, ma solamente le righe dell'atmosfera solare, più o meno rinforzate, dobbiamo credere che non vi sono sostanze nuove, già soltanto una densità più considerevole in alcuni vapori. Ora noi sappiamo che vi è nelle macchie, una dissoluzione continua di materia fotosferica, e dovrebbe risultarne un assorbimento elettivo tutto speciale, se la fotosfera contenesse altri elementi che quelli che costituiscono l'atmosfera stessa. Bisogna dunque concluderne che la fotosfera è composta di nubi o di nebbie dovute alla condensazione dei vapori atmosferici, ed è il solo mezzo di spiegare questo fatto capitale, che la fotosfera, risolvendosi nelle macchie, non produce alcuna riga nuova. Questa conclusione viene a sostegno dell'ipotesi fatta da Wilson, e adottata da Herschel sulla natura della fotosfera.

Da tutto ciò che precede, possiamo inoltre concludere che la profondità delle macchie, non può servire di misura allo spessore della fotosfera, come è stato creduto negli ultimi tempi. Ciò che così si misura, è lo spessore dello strato assorbente e più denso, che occupa le parti più basse delle macchie. Al modo stesso che sulla Terra vediamo dei gas più pesanti dell'aria, per esempio l'acido carbonico formare un'aria non respirabile in alcune cavità, particolarmente nella grotta del Cane, presso Napoli, così avviene che nel Sole i vapori metallici, malgrado la loro tendenza alla diffusione, occupano il fondo della cavità che costituiscono le macchie. Ciò non impedisce che quei gas pesanti si mescolino un poco per *diffusione* al resto dell'atmosfera, come nella nostra aria atmosferica fanno l'acido carbonico e il vapore acqueo.

Finalmente la parte nera che occupa l'interno delle Macchie, non può essere costituita né dal nucleo centrale e oscuro del Sole, né da scorie o da altre materie solide ondegianti alla superficie di un liquido. Quell'oscurità è dovuta a masse *trasparenti* ma molto *assorbenti* di vapori metallici, che, in forza della loro densità considerevole, occupano le parti più basse delle ineguaglianze

esistenti alla superficie della fotosfera, e riempiono i vuoti e l'interstizi che lasciano qualche volta fra loro le nubi brillanti che c'illuminano. Si potrebbe, a rigore, dare il nome di *nubi* a queste masse assorbenti, ma secondo quello che abbiamo esposto, questo nome si applica molto meglio alla materia fotosferica, perché mi par certo che essa, non essendo trasparente, sia quella che emette raggi di ogni sorta, come i solidi incandescenti. È ben possibile tuttavia che al disotto della fotosfera, vi siano dei gas, la cui luce dia egualmente uno spettro continuo, a causa dell'enorme pressione che essi sopportano, e della temperatura elevata a cui sono sottomessi. Resulta infatti dalle recenti esperienze del signor Frankland, che in quelle circostanze, tutti i gas diventano brillanti e producono uno spettro continuo. Secondo un'opinione esposta precedentemente, le macchie sarebbero cavità prodotte da emanazioni di gas uscente dall'interno, con una temperatura più elevata e dissolvente, in ragione di questa temperatura, una parte della fotosfera. Quest'opinione, già sostenuta da serie ragioni, acquista un grado altissimo di probabilità dalle osservazioni delle facole e delle protuberanze, poiché queste appendici non possono essere prodotte che da getti di gas uscente dalla massa interna del Sole. Si è anche cercato di valutare la velocità con cui l'idrogeno è messo in movimento, in vicinanza delle macchie e nelle protuberanze, e questa velocità sarebbe superiore a 30 chilometri per secondo. Ma le osservazioni che conducono a questo risultato, possono spiegarsi in altro modo, e bisogna aspettare che si sian fatte nuove ricerche.

Adesso che abbiamo una cognizione sufficiente dell'atmosfera solare, possiamo sperare di rispondere ai due seguenti quesiti:

1° Perché lo spettro solare non presenta le righe caratteristiche dei metalli preziosi, dell'oro, del platino, ecc.? La risposta è facile.

Il peso specifico di questi vapori è considerevole in modo che debbono trovarsi sepolti ad una grande profondità. Abbiamo veduto i metalli più leggieri stare per così dire, a galla: al modo stesso, i più pesanti debbono calare al fondo, ed essere, per conseguenza, invisibili a noi.

2° Perché non osserviamo nel Sole l'ossigeno, l'azoto e gli altri gas, che tuttavia debbono esservi, come appunto sulla Terra?

Questo quesito è, a risolversi, più difficile del precedente, e non pretendiamo quindi rispondervi in modo definitivo. Azzardiamo semplicemente una congettura. I gas hanno tutti più spettri, differenti gli uni dagli altri, secondo la temperatura in cui si trovano. Si prenda un tubo di Geissler, composto di due parti, l'una avente un diametro assai considerevole, l'altra avente una sezione capillare. Si osservano, in queste due parti, due spettri differenti per uno stesso gas. Plücher gli ha chiamati spettri di primo e di second'ordine. Notasi questo fatto per il bromo, il cloro e l'idrogeno. L'azoto presenta tre spettri molto nettamente definiti. Accade qualche volta che, per alcune temperature intermedie, due spettri di ordine differente si sovrappongono l'uno all'altro. Però, in generale, gli spettri del primo ordine sono poco brillanti, e per conseguenza non si staccherebbero sufficientemente sul fondo brillante del Sole. Oltre a ciò, se si eccettua l'idrogeno, è necessaria una temperatura elevatissima per ottenere lo spettro di second'ordine, il solo che presenti righe vivissime, analoghe a quelle dei vapori metallici. La scintilla elettrica, che basta per dare lo spettro dei metalli, è raramente capace di dare lo spettro di second'ordine. Per conseguenza, affinché noi riconosciamo la presenza di un gas nel Sole, bisogna che vi sia portato a una temperatura elevatissima; ma è ben possibile che, nell'involuppo esteriore, la temperatura non sia sufficiente per produrre gli spettri di second'ordine. L'idrogeno stesso dà lo spettro che corrisponde a una temperatura moderatamente elevata. Le righe terminate in punta, che si osservano in certi casi, mostrano ch'esso prova un raffreddamento nello strato più lontano dal centro, e alla sommità delle protuberanze. In questo caso, l'assorbimento, ridotto a quello degli spettri di prim'ordine, è troppo debole per essere sensibile, e dà luogo semplicemente a delle fasce più o meno diffuse, che è impossibile distinguere da un grandissimo numero di righe dovute a sostanze ignote.

Non può dirsi tuttavia che l'ossigeno faccia completamente difetto. Abbiamo riconosciuto nelle macchie, tracce di vapore acqueo: dunque vi è dell'ossigeno. Può darsi che nelle protuberanze, sempre più elevate verso le macchie, l'idrogeno si raffreddi, sollevandosi ad una grande altezza, e che giunga così alla temperatura in cui può effettuarsi la sua combinazione con l'ossigeno. Il vapore acqueo così formato, ricadrebbe in modo da

mantenere una vera circolazione. È possibile che l'azoto esista egualmente, e che dia origine alle linee scure, che orlano la riga *C* all'esterno del Sole, perché questa riga deve appartenergli, se non è dovuta al carbonio.

La spettrometria è una scienza ancora bambina: bisogna dunque evitare di trarre dalle sue indicazioni, conclusioni precipitate, e noi quindi crediamo di dover porre un termine alle nostre congetture. Possiamo sperare tuttavia che lo spettroscopio ci permetterà, un giorno, di determinare con qualche esattezza, non solamente la composizione chimica, ma anche la struttura del Sole, perché ogni sostanza ha una temperatura determinata in cui produce uno spettro con righe particolari. Mentre attendiamo questo risultato, al quale dovremo arrivare, studiamo quella temperatura coi mezzi che sono alla nostra portata.



## CAPITOLO IX TEMPERATURA SOLARE — SUA ORIGINE— SUA CONSERVAZIONE

Sembra, a prima giunta, che sia facil cosa determinare la temperatura del Sole; ma per poco che vi si rifletta, si riconoscerà che quest'impresa presenta grandissime difficoltà. Non basta infatti esporre un termometro al Sole, leggere il numero dei gradi che esso indica, e aumentare questo numero in proporzione al quadrato della distanza, perché: 1° questo numero è relativo al nostro zero convenzionale, corrispondente alla temperatura del ghiaccio che si fonde, e non ha alcun rapporto con lo zero assoluto, che i fisici hanno stabilito a — 273 gradi Centigradi; 2° le irradiazioni solari ci giungono a traverso l'atmosfera, e subiscono, in questo passaggio, un assorbimento di cui bisogna tener conto, giacché le ricerche fatte a questo riguardo, portano a concludere che, seguendo la verticale, la nostra atmosfera assorbe  $\frac{1}{4}$  dei raggi calorifici, che il Sole ci invia, e per i raggi obliqui, questo assorbimento cresce proporzionatamente alla secante della distanza zenitale;

3° finalmente, oltre la irradiazione solare, un termometro così esposto riceve le irradiazioni de' corpi che gli sono attorno, e questa circostanza complica singolarmente la questione.

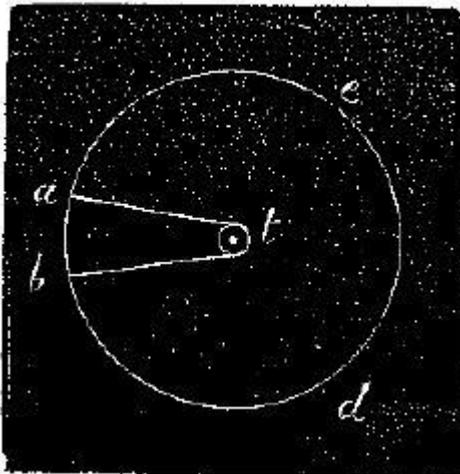
Per determinare completamente la temperatura solare, bisogna conoscere: l'intensità della irradiazione; 2° La quantità assoluta di forza viva termica, che il Sole comunica alla Terra in un tempo determinato. Mostriamo come si possano valutare questi elementi, e ne trarremo in seguito le conseguenze relative alla costituzione fisica del Sole, e alla conservazione della sua energia.

### § I. — Misura dell'intensità della irradiazione solare.

La irradiazione di un corpo è proporzionale alla sua temperatura, o alla forza viva molecolare delle sue irradiazioni termiche. Si misura determinando la temperatura a cui giunge un corpo esposto al Sole, e paragonando questa irradiazione con quelle che gli comunicano altri corpi portati a una temperatura conosciuta.

Quando un corpo è esposto al Sole, i corpi circostanti irradiano verso di lui, e si stabilisce così uno scambio d'irradiazioni fra il termometro e l'ambiente in cui si trova chiuso, raggiando tutti i corpi gli uni verso gli altri. Quando l'equilibrio è stabilito, l'intensità relativa delle temperature che possiedono le parti raggianti è in ragione inversa della superficie delle differenti parti dell'ambiente, essendo questa superficie stimata secondo la sua grandezza angolare, veduta dal corpo che riceve le irradiazioni. Così, sia  $aedb$  (fig. 33) un recinto di superficie  $\Sigma$ , avente un eccesso di temperatura  $\theta$ , sul corpo termometrico  $t$ ; sia  $S$  una porzione  $ab$  di questa superficie, avente un eccesso  $T$ ; si avrà, la relazione  $TS = \theta\Sigma$ , d'onde  $T = \theta\Sigma/S$

Fig. XXXIII.

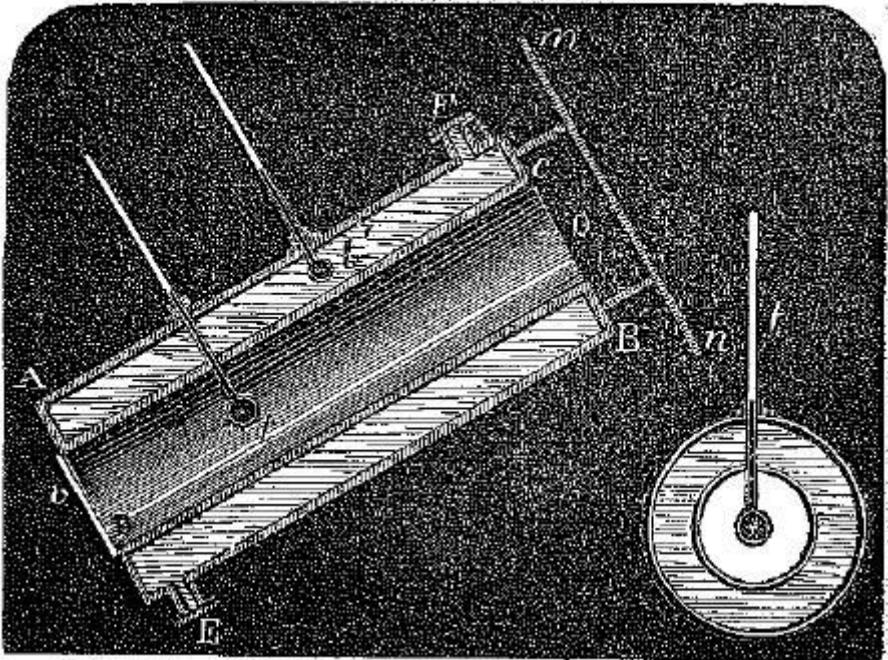


Questa equazione è sempre vera, purché tuttavia la superficie  $S= ab$  sia una porzione abbastanza piccola della cinta, e che, per conseguenza, sia negligibile in rapporto alla cinta intiera.

Ammessa questa teoria, si potrà facilmente determinare la temperatura del Sole, ed esprimerla prendendo per unità i gradi convenzionali del termometro. A far ciò, si esporrà un termometro al Sole in un recinto di temperatura conosciuta, si leggerà l'indicazione  $\theta^\circ$  data dalla colonna mercuriale, e si moltiplicherà questo numero per il rapporto che esiste fra la superficie della sfera e la superficie apparente del Sole. Ora avendo il disco solare un diametro medio di  $32' 3.6''$ , si trova il rapporto di  $\Sigma/S = 183960$ , e si può trascurare l'estensione del disco in rapporto alla intiera superficie della sfera. Si avrà dunque  $T=183960 \cdot \theta$ .

La figura 34 rappresenta l'apparecchio che abbiamo impiegato a Roma, per determinare il valore di  $\theta$ . È simile a quello che il Sig. Waterston ha adoprato alle Indie, e a quello di cui il Sig. Soret si è ultimamente servito sul monte Bianco.

Fig. XXXIV.



*AB* e *CD* (fig. 34) siano due cilindri concentrici, saldati l'uno con l'altro. Essi formano una specie di caldaia, la cui capacità anulare può essere riempita d'acqua o di olio a una temperatura qualunque. Può anche scaldarsi l'apparecchio con una corrente di vapore che entra per la tubulatura *E*, ed esce per la tubulatura *F*. Al posto del vapore si può adoperare un gas, per esempio l'aria calda, che sfugge dal tubo di una lampada. Un termometro *t* passa per una tubulatura a traverso lo spazio anulare, e penetra fino all'asse del cilindro; riceve i raggi solari che sono introdotti per mezzo di un diaframma *mn*, la cui apertura *o* è appena più piccola della palla del termometro. Un vetro grosso *v* chiude la parte posteriore dell'apparecchio, e permette di assicurarsi che il termometro è ben situato sulla direzione del fascio di raggi. Il cilindro interno ed il termometro *t* sono ricoperti di nero fumo.

Un secondo termometro  $t$  dà la temperatura dello spazio anulare, e per conseguenza quella della cinta. Tutto l'apparecchio è montato sopra un sostegno avente un movimento parallattico, per seguire con maggior facilità il movimento diurno del Sole. Essendo l'apparecchio stato esposto al Sole, come abbiamo detto, si osservano i due termometri. La loro differenza di temperatura, s'inalza gradatamente, e diventa costante dopo qualche tempo. Allora si notano le due temperature, e se ne fa la differenza  $t-t'=\theta$ . Questo valore s'introduce nell'equazione citata più avanti. Si è giunti così ai seguenti risultati:

In un gran numero di osservazioni fatte a Roma, sotto una pressione media di 758 millimetri, a un'altezza di 52 metri sopra il livello del mare, la differenza delle due temperature è stata di  $12.06^\circ$ ; e nei giorni in cui il cielo era più puro, si è inalzata a 14 gradi.

2° La differenza resta costante, qualunque sia la temperatura dell'ambiente, cosicché per  $t'=0^\circ$  si ha  $t=12.06^\circ$ ; per  $t'=60^\circ$ ,  $t=72.06^\circ$ . Questo risultato può sembrare sorprendente, ma l'abbiamo verificato con cura da 0 fino a 64 gradi. Il Sig. Waterston è anche andato fino a 220 gradi, facendo circolare dell'aria calda nell'apparecchio. La conclusione teorica che ne risulta, è che la superficie del disco solare può trascurarsi in rapporto alla superficie della sfera.

3° Quando si fanno osservazioni in stagioni differenti presso il meridiano, si ottengono risultati molto meno variabili di quanto si sarebbe potuto supporre. La media oscilla, nell'inverno, fra  $11.5^\circ$  e 12 gradi, e nell'estate, fra  $12.5^\circ$  e 14 gradi. Questa variazione è debolissima, specialmente se si osserva che da una stagione all'altra, l'altezza del Sole varia di 47 gradi. Ma in una stessa stagione, l'altezza del Sole esercita un'influenza più considerevole: quando è di 27 o 30 gradi, durante l'estate, la differenza delle due temperature si eleva appena a sei gradi.

Vi ha dunque una causa che modifica, da una stagione all'altra, la trasmissione dei raggi calorifici, perché tale altezza è precisamente quella che il Sole raggiunge al meridiano, durante l'inverno. Questa causa consiste specialmente nel vapore acqueo, che è molto più abbondante in estate, e che produce esso solo un assorbimento quasi uguale a quello che l'atmosfera produce

l'inverno. Del resto questa spiegazione è perfettamente confermata dalle esperienze di Tyndall, e da quelle del prof. Garibaldi, di Genova, sulla forza assorbente del vapore acqueo.

4° Operando ad una grande altezza sopra il livello del mare, si ottengono differenze più considerevoli. Così, a Genova, il Sig. Soret ha trovato, per un'altezza di 400 metri, il valore medio  $\theta=15.5^\circ$ : all'altezza di 2500 metri, trovò  $18.6^\circ$ ; sulla sommità del monte Bianco, a un'altezza di 4800 metri, trovò  $21.13^\circ$ . Sotto il cielo più puro delle Indie, essendo il Sole a un'altezza di 70 gradi, il Sig. Waterston trovò  $27.8^\circ$ . È evidente che quando i fisici cercano di risolvere questo problema sì curioso della temperatura del Sole, trovano sul loro cammino, difficoltà molto grandi. Noi non pretenderemo quindi esprimere quella temperatura con un numero preciso, ma stabiliremo soltanto il valore più piccolo che le si possa attribuire, e così la questione sarà sufficientemente risolta. Supponiamo dunque esatto il valore trovato da Soret alla sommità del monte Bianco: avremo allora

$T=21.13 \cdot 183960=3987075$  gradi centigradi, cioè 4 milioni di gradi circa. Ma questo numero è evidentemente troppo piccolo, perché bisogna tener conto dell'assorbimento atmosferico. Per ciò, applicando le leggi conosciute, si deve aggiungere alla differenza data dalle esperienze di Soret, il numero  $7.89^\circ$ .

Allora avremo  $\theta=29.02^\circ$ , e  $T=5334840$  gradi, o, in numeri tondi, cinque milioni e un terzo. Tale sarebbe la temperatura di un corpo situato sul Sole. E ben vero che questo risultato non è dovuto solamente alle irradiazioni della superficie. Godendo gli strati sovrapposti di una trasparenza assai grande, le loro azioni si sommano l'una coll'altra; ma non meno vero che questa sarebbe l'indicazione di un termometro situato nello strato superficiale, indicazione che esprime evidentemente la temperatura di questo strato medesimo. Volendo partire dallo zero assoluto, bisognerebbe aggiungere 273 al numero trovato; e questa modificazione, come si vede, sarebbe molto insignificante. Si troverebbe una temperatura molto più elevata ancora, partendo dal valore  $\theta=27$  gradi, trovato dal Sig. Waterston avanti di applicare la correzione relativa all'assorbimento atmosferico. Non conosciamo quindi la temperatura del Sole, che a qualche milione di gradi circa, e il Sig. Waterston crede che si possa valutare a 9 o

10 milioni di gradi. Osserviamo infine che le irradiazioni così valutate sono quelle che hanno traversato l'atmosfera solare, il cui assorbimento totale estingue la metà dei raggi emessi dalla massa incandescente.

Così, fissando come limite inferiore 5 o 6 milioni di gradi, siamo certi che non ci possono accusare di esagerazione; ma in realtà il suo valore non può essere inferiore a 10 milioni di gradi.

Per dare un'idea di questa temperatura, faremo una sola osservazione. Tenendo conto semplicemente della distanza, questa temperatura è 46215 volte più elevata di quella alla quale può pervenire un corpo situato alla superficie della Terra, con la sua esposizione ai raggi del Sole. Per produrre lo stesso effetto, bisognerebbe concentrare sopra uno spazio di 1 centimetro quadro, i raggi che cadono sopra una superficie di 4.6 m. Ora le lenti a gradinata, che hanno soltanto un metro, e assorbono molti raggi, sono capaci anch'esse di volatilizzare la maggior parte delle sostanze conosciute. Da ciò si giudichi degli effetti che può produrre temperatura del corpo solare.

## **§ II. — *Quantità assoluta di calore, emessa dal Sole.***

Nel paragrafo precedente, abbiamo espressa la temperatura del Sole in gradi convenzionali. Per valutare la irradiazione di questo astro, bisogna indicarla in quantità assoluta di calore, riferendo questa quantità ad una determinata unità di lavoro termico. Questo lavoro misurato dal riscaldamento prodotto, nell'unità di tempo, in una massa avente un peso determinato e una capacità calorifica conosciuta. L'apparecchio che si adopera a questo effetto, è stato immaginato dal Sig. Pouillet. Esso consiste in un cilindro di rame molto sottile, annerito alla sua superficie o base anteriore, che si dirige perpendicolarmente ai raggi solari. Il cilindro è riempito di acqua, e se ne determina la temperatura col mezzo di un termometro. Quando questo apparecchio è esposto al Sole, si nota l'accrescimento di temperatura, che producesi in un minuto, e si pone questo dato nel calcolo. Si ha cura di tener conto del vaso, e per ciò si moltiplica il suo peso per il suo calore specifico, e si aggiunge il numero così ottenuto al peso dell'acqua, sulla quale si opera. Bisogna inoltre notar bene che l'apparecchio, pur riscaldandosi, perde del calore per

irraggiamento. Per tener conto di questa causa d' errore, si fa una seconda esperienza, nella quale si determina di quanto la temperatura del cilindro s'abbassa in un minuto, riparandolo contro l'irraggiamento diretto. Si aggiunge il numero così determinato a quello che è stato trovato nella prima esperienza, e la somma rappresenta il riscaldamento definitivo della massa.

Questo compenso non è perfettamente esatto, ma, ove si voglia una precisione estrema, gli scienziati hanno a loro disposizione dei mezzi più perfetti di correzione per arrivare al risultato.

Stando alle esperienze, un grammo d' acqua esposto all'irraggiamento solare sopra una superficie di un centimetro quadro, si scalda in un minuto di  $1.763^{\circ}$ . Si può dedurre la quantità totale di calore, che cade sull'emisfero terrestre. Essa è uguale alla irradiazione compresa nella sezione di un cono, circoscritto alla Terra e al Sole, quando questa sezione sia fatta rasente alla Terra. È, approssimativamente, la superficie, di un circolo massimo, e per conseguenza il quarto della superficie terrestre. La irradiazione solare potrebbe quindi, in un minuto, riscaldare di  $1.783^{\circ}/4$  o di  $0.4403^{\circ}$  uno strato d'acqua avente un centimetro di spessore, e sparsa uniformemente su tutta la superficie della Terra. In un anno, questo medesimo strato si scalderebbe di  $0.4403^{\circ} \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365.25 = 231580$  gradi, supponendo nulle le perdite dovute all'evaporazione e alla irradiazione. Se lo spessore fosse di un metro, la temperatura si eleverebbe, in un anno, di  $2315.80^{\circ}$ .

I fisici usano esprimere questa quantità di calore con lo spessore dello strato di ghiaccio ch'essa farebbe fondere nel medesimo periodo di tempo. Viene determinata dividendo il numero già trovato per il calore latente di fusione del ghiaccio. Apparisce così che la irradiazione solare farebbe fondere, in un anno, uno strato di ghiaccio avente 30.89 m, o quasi 31 m di spessore.

Possiamo valutare adesso la quantità di calore emessa alla stessa superficie del Sole, moltiplicando il valore precedente per il quadrato alla distanza dal Sole alla Terra, espressa in raggi del globo solare. Resulta per tal modo che quella quantità di calore può, in un minuto, elevare di  $816.71^{\circ}$ , la temperatura di uno strato d'acqua di un metro di spessore, o fondere, nel medesimo tempo, uno strato di ghiaccio di 10 m 7.

La teoria moderna del calore considera l'attività termica come un lavoro meccanico, e ci fornisce il mezzo di valutare in forza la irradiazione solare, ed anche di risalire alla sua primitiva sorgente.

Abbiamo veduto che il Sole può riscaldare in un minuto, di  $816.71^\circ$  uno strato d'acqua, avente un metro di spessore, ovvero, ciò che torna lo stesso, scaldare di un grado uno strato di 816 m 71, e infine uno strato di 13 m 61 in un secondo. Questa forza è la stessa su tutta la superficie del Sole, ma noi, per maggiore semplicità, considereremo soltanto gli effetti che essa produce sopra una superficie di un metro quadro. Allora il peso dell'acqua così scaldata di un grado, in un secondo, sarà di 13610 chilogrammi. Ora la forza meccanica, capace di elevare di un grado la temperatura di un chilogrammo d'acqua, equivale a 424 chilogrammetri, essendo ogni chilogrammetro il lavoro necessario per inalzare un peso di un chilogrammo a un metro di altezza. Così dunque, per ottenere in chilogrammetri l'espressione della sostanza termica del Sole, bisogna moltiplicare 13610 per 424, e il prodotto 5791840, esprime il numero cercato dei chilogrammetri. Questo lavoro equivale a quello di 77232 cavalli-vapore, essendo il cavallo-vapore la forza capace di produrre, in un secondo, un lavoro di 75 chilogrammetri.

Si vede quindi che basterebbe il calore speso sopra alcuni metri quadri, presi alla superficie del Sole, per far funzionare tutte le macchine a vapore che esistono sul nostro globo.

Una delle più grandi macchine che siano state costruite, quella della fregata *le Friedland*, che figurava, nel 1867, all'Esposizione universale di Parigi, aveva una forza di 4000 cavalli, ed esigeva, per produrre il vapore che le era necessario, otto caldaie tubulari, che bruciavano cinque tonnellate di carbone ogni ora.

Si potrebbe così valutare la potenza meccanica, a cui equivale la totale irradiazione della superficie solare, e si avrebbe un numero di cavalli-vapore eguale a 470 triloni, cioè  $470 \cdot 10^{18}$ . Tale è l'immensa potenza che emana dal Sole, e di cui è impossibile che ci facciamo un'idea esatta. Possiamo, è vero, porre in un numero sufficiente di cifre per rappresentarla, ma questo numero non dice nulla alla nostra immaginazione, che è impotente a concepirlo.

### § III. — *Delle perdite forza viva subite dal Sole.*

Abbiamo valutato l'immensa quantità di calore, che emana ad ogni istante dal Sole, e i numeri che abbiamo determinati misurano le perdite d'energia, che questa massa incandescente subisce ad ogni secondo. Ciò fatto, siamo naturalmente sospinti a considerare se è possibile che, malgrado un irraggiamento tanto considerevole, il Sole abbia una temperatura costante, e quali sono le sorgenti di calore, che possono compensare perdite così grandi.

Bisogna notare, avanti tutto, che la irradiazione si produce soltanto alla superficie, e che per conseguenza è ben possibile che la temperatura sia ancora più elevata all'interno. Ma poiché le masse raffreddate a causa dell'irraggiamento, mescolansi di continuo con le altre, il globo solare, preso nel suo insieme; perde realmente del suo calore, e il problema della costanza di temperatura resta sempre a risolversi.

Per valutare esattamente l'abbassamento della temperatura solare, bisognerebbe conoscere ciò che nel linguaggio dei fisici si chiama la sua capacità calorifica, o fare almeno, a questo riguardo, una ipotesi plausibile. Si sa infatti che per una stessa quantità di calore o di forza viva, i corpi non si riscaldano egualmente.

Per esempio, la quantità di calore che eleverà solamente di un grado la temperatura di un chilogrammo d'acqua, basterà per riscaldare di 9 gradi, un egual peso di ferro. Resulta evidentemente da questa proprietà che, per due masse eguali, ma di natura differente, la durata del raffreddamento sarà proporzionale alle loro capacità calorifiche. Così dunque, a massa eguale, e partendo da una stessa temperatura, il ferro si raffredderà 9 volte più presto dell'acqua.

Per il Sole, ci sembra impossibile assegnare rigorosamente la sua capacità quanto al calore, perché non conosciamo in modo esatto i materiali di cui è composto. Però sappiamo che si compone idrogeno e di vapori metallici. Mettendo da parte l'idrogeno, il cui calore specifico è 3.41, mentre quello dell'acqua è 1, tutti gli altri vapori hanno una capacità inferiore a 0.5.

Non possiamo dunque ammettere, per capacità media un numero più grande dell'unità, e possiamo al più prendere questo numero come limite superiore.

Si può con maggior precisione, la superficie del Sole, il suo volume, la sua massa, la sua densità media.

La superficie, espressa in metri quadri, è rappresentata dal numero  $6032\ 900\ 000\ 000\ 000\ 000 = 60329 \cdot 10^{11}$ ,

Il volume, espresso in metri cubi, è rappresentato dal numero  $1\ 393\ 350\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 130935 \times 10^{22}$ ,

prendendo la densità dell'acqua distillata per unità, quella del Sole è di 1.42, e il suo peso, espresso in chilogrammi, è rappresentato dal numero

$M = 1946600\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 19466 \cdot 10^{25}$ ,

o, in numero tondo, due quintilioni di chilogrammi.

Abbiamo veduto che in un minuto, sopra un metro quadro, esso emette una quantità di calore capace di elevare di  $816.71^\circ$  la temperatura di un metro cubo, o di 1000 chilogrammi d'acqua, ciò che rappresenta  $816710$  calorie.<sup>14</sup> Ne risulta che, durante un anno, ogni metro quadro perde un numero di calorie, uguale a  $429\ 552\ 000\ 000$ ; ciò che fa, per la superficie intiera, una quantità  $C=25914 \cdot 10^{16}$ .

Supponiamo che la capacità media della massa solare per il calore sia eguale a quella dell'acqua: il numero  $M$  esprimerà le calorie che deve perdere il Sole, perché la sua temperatura si abbassi di un grado:  $C$  essendo il numero delle calorie che perde in un anno, l'abbassamento annuale di temperatura sarà  $C/M=1.33^\circ$ . Il risultato diverrebbe  $2.8^\circ$  se il Sole avesse una capacità calorifica uguale a quella del vapore acqueo, e per conseguenza un po' superiore a quella de' vapori metallici.

Si vede già che l'interno del Sole non può essere né oscuro né solido. Se lo supponessimo, incandescente, come il ferro fuso, a una temperatura di 2000 o 3000 gradi, basterebbe, per abbassare la sua temperatura a zero, un periodo molto più corto dell'epoche storiche meglio conosciute. Non può neppure ammettersi che sia composto di materia combustibile, capace di produrre, bruciando, tanto calore quanto il carbone. In questa ipotesi, secondo i calcoli del Sig. Thomson, si sarebbe estinto al termine di ottomila anni, anche supponendo che i prodotti della combustione non dovessero arrestarne l'attività.

---

<sup>14</sup> Si chiama caloria, in Fisica, la quantità di calore necessario per inalzare da 0 a 1 grado centigrado, la temperatura di un chilogrammo d'acqua.

Ora è incontestabile che, per tutta la durata dei tempi storici, l'azione del Sole è stata sensibilmente ciò che è adesso; essa non è diminuita in modo apprezzabile. Gli esseri viventi animali e vegetali, che trovansi sulla superficie del globo, sono da gran tempo gli stessi, e le loro variazioni sono state poco considerevoli, il qual fatto è incompatibile con un abbassamento notevole della temperatura solare. È dunque impossibile ammettere che il calore del Sole sia dovuto ad una combustione, o alla irradiazione di una massa semplicemente incandescente.

Del resto, per spiegare la costanza della temperatura solare, non possono farsi che due ipotesi: quella d'un'attività interna, e quella di un'azione esterna, completamente differente dalla combustione propriamente detta.<sup>15</sup>

Herschel aveva supposto delle correnti elettriche, capaci di produrre della luce come nelle nostre aurore boreali; ma sappiamo adesso che anche quelle correnti elettriche debbono avere una causa, che non possono nascere spontaneamente, che debbono esser prodotte da una forza, la quale non può, neppur essa, esser creata dal nulla. La loro esistenza deve essere spiegata colle leggi della Fisica. Ci prepariamo ad esporre le ipotesi più importanti che sono state immaginate fino ad ora, e cercheremo d'indicare la causa vera, che produce il calore del Sole, e mantiene la sua temperatura costante. Noi non pretendiamo tuttavia che questa costanza sia assoluta, perché, anche facendo astrazione dalle variazioni periodiche, notate dagli osservatori, i nostri mezzi di osservazione sono troppo imperfetti, ed abbiamo, sopra a tutto, dati troppo incompleti sulle epoche già passate, per potere emettere un'opinione così nettamente formulata. Supponiamo infatti che la temperatura solare sia di 6 milioni di gradi, e che diminuisca ogni anno di 2.8°. Al termine di 4000 anni, la diminuzione di 11200 gradi, cioè di 1/535. La irradiazione sulla superficie della terra, al livello del mare, essendo al più di 15 gradi, come abbiamo veduto, avrebbe diminuito nello stesso rapporto, cioè di 0.028°, quantità evidentemente inapprezzabile nelle nostre osservazioni. Esamineremo dunque il fenomeno in se stesso, e nei suoi elementi fisici, attendendo che la teoria o l'osservazione ci somministrino dati più precisi.

---

<sup>15</sup> Si tratta infatti della fusione nucleare, scoperta negli anni trenta del novecento (n.d.r.)

#### § IV. — *Sorgenti di calore, esteriori al Sole.*

Il problema di cui cerchiamo la soluzione, non è nuovo.

Già Newton, considerando le perdite immense di materia, che il Sole doveva subire per remissione continua di particelle luminose e calorifiche, cercò una sorgente, la cui azione fosse capace di compensare la irradiazione solare. Egli suppose che le comete potessero essere destinate a quest'uso. Cadendo sul Sole, esse ne alimenterebbero la combustione, e impedirebbero alla sua massa di diminuire. A quel tempo, attribuivansi alle comete masse considerevoli, ed oltre a ciò, la irradiazione luminosa era considerata come un'emissione di particelle metalliche.

L'ipotesi di Newton era dunque ammissibile, perché spiegava i fenomeni secondo i principi conosciuti e le teorie ammesse. Non è oggi lo stesso. Noi sappiamo che le comete posseggono masse debolissime, e riguardiamo la luce e il calore, non come un'emissione propriamente detta, ma come un movimento vibratorio, che si comunica con l'intermediario di un mezzo imponderabile.<sup>16</sup>

Ciò che Newton diceva della massa del Sole, noi possiamo dirlo della forza viva, ch'esso possiede. La sua massa non diminuisce per la irradiazione, ma il movimento, dal quale le sue particelle sono animate, deve diminuire incessantemente, se non vi sono in abbondanza sorgenti per riparare le perdite ch'esso subisce. Il dott. Mayer, di Heilbronn, ha per il primo formulato questo problema dal punto di vista meccanico, e primo ne ha cercata la soluzione, che ha cambiato completamente la teoria ammessa fino ad allora.

L'ipotesi di Mayer è stata sviluppata da Waterston, Thomson, Joule, e noi ne daremo qui i risultati, almeno per ciò che concerne il nostro soggetto.

Il dott. Mayer, considerando la quantità di materia che cade annualmente sulla Terra, sotto forma di aeroliti o di stelle cadenti, e la quantità di calore dovuta alla trasformazione della loro forza viva, è stato sospinto a considerare se un fenomeno simile potesse prodursi nel Sole, e qual massa di materia dovrebbe essere adoperata a

---

<sup>16</sup> Prevalava, per Secchi, l'ipotesi ondulatoria della luce su quella corpuscolare (n.d.r.)

compensar così la diminuzione di forza viva, prodotta dalla irradiazione.

Posto in tal modo, il problema può esser risolto con l'aiuto delle nozioni ordinarie della Meccanica. È facile calcolare la velocità che deve acquistare un corpo, partendo dai limiti dello spazio, o da una distanza infinita per cadere sul Sole, e si può quindi conoscere la forza viva che avrà giungendo alla superficie di quell'astro. Si vede così che la sua velocità è quella che acquisterebbe cadendo, con un movimento uniformemente accelerato, da una distanza eguale al raggio solare, e questa velocità è di 915 chilometri per secondo. Un chilogrammo d'acqua, cadendo per tal modo sul Sole, produrrebbe col suo urto una quantità di calore, capace di sollevare la propria temperatura a mille milioni di gradi.

Se la Terra cadesse sul Sole, produrrebbe una quantità di calore, eguale a quello che esso perde in 69 anni con l'irraggiamento. Una massa di ferro che cadesse, nel modo già indicato, dalla profondità dello spazio sulla Terra, svilupperebbe una quantità di calore, sufficiente ad elevare la sua temperatura a 1350000 gradi. E così potrebbe volatilizzarsi completamente.

Bisogna notare che le cose non avvengono completamente come noi qui supponiamo. Il calore prodotto dall'urto non è proprio tutto concentrato nel corpo che cade; la Terra ne assorbe necessariamente una parte, un'altra parte è usata a riscaldare l'aria e metterla in movimento.

Tuttavia si capisce come gli aereoliti divengano incandescenti per il loro attrito contro l'aria atmosferica, e per la compressione che esercitano su di essa, e come arrivino alla terra, coperti di uno strato di materia fusa e vetrificata.

Per la stessa ragione, una parte di quei corpuscoli si volatilizzano completamente, e prendono l'aspetto di stelle cadenti.

Può valutarsi così, in forza dinamica, il calore che la Terra riceve dal Sole, e si giunge al risultato seguente.

Supponiamo che la Terra, divenuta immobile nella sua orbita, e obbedendo alla sola forza di gravitazione, cada verso il Sole; supponiamo di più che l'attrazione del Sole sia costante, e che conseguentemente produca un movimento accelerato in modo uniforme, e analogo a quello che osserviamo nella caduta dei corpi pesanti.

Al termine di un giorno, la Terra avrebbe così percorso uno spazio eguale a 3 volte e mezzo il suo raggio, e la sua velocità sarebbe rappresentata da 7 raggi terrestri. Supponiamo che allora un urto l'arresti bruscamente. La forza viva che possedeva si trasformerà in movimento vibratorio, e la quantità del calore così prodotto, sarà cento volte minore di quello che riceve giornalmente dalla irradiazione solare.

Il principio della conversione dell'energia in calore costituisce una delle più belle scoperte della scienza moderna: resta a vedersi fino a qual punto si possa applicarlo al Sole. Che delle meteore cadano sul Sole come sulla Terra, è facilissimo ad ammettersi, ed anche tanto più probabile che trattasi di una massa considerevolissima e molto più capace della Terra a far deviare i corpi dalla loro direzione primitiva. È certo ugualmente che ove un corpo simile cada nella superficie del Sole, vi deve produrre tremila volte maggior calore di quello che produrrebbe, bruciando, una massa uguale di carbone.

Potrebbe anche sostenere questa teoria con fatti che sembrano confermarla. Così in Inghilterra il Signor Hodginson e il Signor Carrington, in due osservazioni differenti, videro, nello stesso momento, una luce vivissima svilupparsi in un punto del Sole, vicinissimo ad una macchia, e attribuirono siffatto fenomeno alla caduta d'una meteora e al calore che n'era la conseguenza.

La Cometa del 1843 traversò, senza dubbio, l'atmosfera solare, e vi s'infiammò, producendo una coda meravigliosa di 63 gradi. Sappiamo adesso che le comete e le stelle cadenti sono meteore della stessa natura.

In realtà però, ecco come deve esser posta la questione. Quei fatti che, sono assolutamente possibili, esistono in realtà? Si può spiegare, in tal modo, la costanza della temperatura solare. Perché fosse così, bisognerebbe che cadesse in media, ogni ora, un chilogrammo di materia sopra ogni metro quadro.

Supponiamo che questa sostanza abbia una densità, semplicemente eguale a quella dell'acqua. In capo ad un anno, essa formerebbe, sulla superficie del Sole, uno strato avente 10 metri di spessore, ciò che non è assolutamente impossibile, e sarebbe insensibile per noi, perché seguendo questa proporzione, occorrerebbero quattromila anni per produrre un aumento di un secondo nel diametro solare, aumento che sarebbe passato inosservato per la poca precisione delle misure più antiche.

Noi non possiamo però far lo stesso ragionamento per l'accrescimento della massa. Nello stesso intervallo di quattromila anni, essa si accrescerebbe di  $1/5000$  e, secondo i calcoli del signor Thomson, in duemila anni, il movimento della terra troverebbesi ritardato di  $1/8$  di anno, risultato inconciliabile coi dati più certi dell'astronomia. Per rispondere a tale difficoltà, potrebbe ammettersi che la materia che cade in tal modo sopra il Sole, si trovasse all'interno dell'orbita terrestre, e che da essa si partisse la luce zodiacale. Però quest'ipotesi è inammissibile, perché noi conosciamo un gran numero di comete periodiche, aventi una parte della loro orbita in quella regione interna, ed esse dovrebbero trovare una pari resistenza in quella materia meteorica. La forma della loro traiettoria e la velocità del loro movimento dovrebbero essere completamente modificate. Ma non indicando l'osservazione alcuna di quelle perturbazioni, bisogna concluderne che quelle comete non incontrano, nel loro movimento, alcuna massa apprezzabile, che possa farle deviare dalle loro orbite.

Le considerazioni che abbiamo accennate, bastano per distruggere l'ipotesi meteorica, e perciò questa teoria è attualmente abbandonata da' suoi partigiani ed anche dai suoi più ardenti promotori. Tuttavia, se essa non spiega in modo completo la persistenza della temperatura solare, ha pur sempre qualche valore. Un certo numero di meteore debbono necessariamente cadere sul Sole, e produrvi una quantità determinata di calore.

Applicata alla Terra, questa stessa teoria potrebbe spiegare alcuni fenomeni ancora oscuri, e dar ragione, per esempio, dell'accelerazione secolare della Luna. Infatti, se la massa della Terra accrescesse costantemente con gli aereoliti che cadono sulla sua superficie, il suo movimento di rotazione deve rallentarsi, mentre deve sembrare che quello della Luna si acceleri. Perché questa spiegazione fosse plausibile, basterebbe che cadesse, ogni anno, una quantità di materia capace di coprire la superficie della Terra dello spessore di un decimo di millimetro.

Questa condizione non è forse impossibile, poiché il numero delle stelle cadenti, è considerevolissimo, e cadono di sovente degli aereoliti, che pesano più migliaia di chilogrammi.

D'altra parte, la massa del Sole non è conosciuta con una precisione molto grande. Anche qualche anno indietro, era considerata come uguale  $354936$  volte massa della Terra, ma siccome è stata

riconosciuta la necessità di aumentare la parallasse di  $1/28$  del valore ammesso, così si è dovuto rappresentare la massa col numero 326800.

Il merito incontestabile dell'ipotesi di Mayer è spiegare l'origine del calore solare, riducendolo a non esser più che un effetto della gravitazione, considerata come una semplice forza meccanica.

Gli astronomi ammettono adesso che il nostro sistema solare risulta dalla condensazione di una nebulosa.

Tutta la materia, che compone attualmente il Sole e i pianeti, trovavasi una volta allo stato di materia cosmica, sparsa negli spazi immensi, abbracciati dal sistema solare: essa costituiva dunque una vera nebulosa, analoga a quelle che vediamo ancora in più parti del cielo. Herschel, che ha studiato queste nebulose, ha riconosciuto che esse si presentano a differenti gradi di condensazione: le loro forme sono differentissime, irregolari, globulari, ellittiche, anulari;<sup>17</sup> la materia di cui son composte, è in uno stato completo di dissociazione, e noi conosciamo, per mezzo dello spettroscopio, che nella maggior parte sono completamente gassose. Ora la massa che costituisce il nostro sistema solare, supponendola soltanto diffusa fino all'orbita di Nettuno, presenterebbesi in uno stato di rarefazione, comparabile a quello che producono le nostre migliori macchine pneumatiche.

Se supponiamo che una massa di tal fatta si condensi, precipitandosi sopra un punto centrale, potremo perfettamente applicare la teoria di Mayer. L'urto reciproco delle molecole porrà tutta la massa in vibrazione termica, e svilupperà al centro una quantità considerevolissima di calore. Tenendo conto della massa, o della maniera con cui ha dovuto essere primitivamente repartita a differenti distanze dal Sole, si è calcolato che la quantità di calore, sviluppata in tal modo, ha dovuto elevare la temperatura a 500 milioni di gradi. Tale dunque sarebbe stata la temperatura iniziale del globo solare; e così quella che oggi osserviamo, non sarebbe che un tenue residuo dell'enorme quantità di calore, dovuta alla sola gravitazione. Bisogna notar bene che questa teoria non suppone nulla relativamente al modo di condensazione, né alla rapidità con la quale, ha dovuto effettuarsi.

---

<sup>17</sup> All'epoca non si conosceva ancora la natura galattica delle "nebulose bianche" (n.d.r.).

Non è necessario, per spiegare l'elevazione della temperatura, ammettere che l'urto si sia prodotto in un tempo cortissimo. La condensazione ha potuto essere molto lenta, e sviluppare tuttavia una grande quantità di calore. Così, supponendo che il Sole attualmente si contragga, questa contrazione, producendo una vera caduta verso il centro, deve compensare una parte della forza viva, che va perduta per l'irraggiamento.

Devesi, senza dubbio, riferire alla stessa origine il calore centrale de' pianeti, e probabilissimamente anche la loro energia di traslazione. Quest'energia non è che i  $\frac{2}{3}$  di quella che essi acquisterebbero cadendo sopra il Sole, e questa basterebbe per compensare le perdite prodotte, in 45 mila anni, dalla irradiazione.

Tali sono le conclusioni a cui conduce la teoria di Mayer, ammesse attualmente dai fisici. La teoria meteorica è stata incapace di render conto dei fenomeni che pretendeva spiegare, ma ha avuto sempre un risultato molto vantaggioso, giacché ci ha fatto conoscere l'origine del calore del Sole, sorgente universale della vita nel nostro sistema planetario.

Rimangono a spiegarsi, con qualche particolare, le conseguenze dell'alta temperatura che possedeva primitivamente il Sole, sorgente universale della vita nel nostro sistema planetario,

Rimangono a spiegarsi, con qualche particolare le conseguenze dell'alta temperatura che possedeva primitivamente il Sole, e rimane a dichiararsi come quest'astro possa bastare a se stesso, per un lungo intervallo di tempo, senza che a noi sia dato notare variazioni apprezzabili nel suo stato di calore.

### ***§ V. - Costanza della irradiazione solare, e sua spiegazione.***

Quando il Sole, all'epoca della sua formazione, ebbe raggiunto un volume sensibilmente uguale a quello che oggi possiede, la sua temperatura, come abbiamo dichiarato nel paragrafo precedente, sarebbe stata almeno uguale a 500 milioni di gradi.

Oltre a ciò, l'esperienza c'insegna che, alla sua superficie, la temperatura è, anche attualmente, di più milioni di gradi, ed è probabilissimo che nell'interno sia anche più elevata. Bisogna concludere da questi fatti, che il Sole non può essere composto di

una massa solida; ed anche, per quanto sia enorme la pressione che esiste in questa massa, essa non può, propriamente parlando, trovarsi allo stato liquido; e siamo quindi necessariamente indotti a ritenerla come gassosa, malgrado il suo stato di estrema condensazione. Noi siamo già venuti a questa conclusione (Cap. V, § III), quando, senza discussione, ammettevasi l'esistenza di un nucleo solido ed oscuro.

Essendo estremamente considerevole l'effetto dovuto alla gravitazione, nell'interno del globo solare, deve risultarne uno strato gassoso ben differente da tutto ciò che conosciamo sulla Terra. Da un lato, una pressione enorme deve favorire l'affinità; ma dall'altro, la temperatura è talmente elevata, che nessuna combinazione propriamente detta può sussistere, tranne alla superficie, dove la irradiazione può abbassare la temperatura in modo sufficiente.

I differenti corpi semplici possono infatti restare l'uno in presenza dell'altro, senza combinarsi, malgrado la loro attività reciproca; e dicesi allora che sono *dissociati*.

Secondo le belle scoperte del signor H. Sainte-Claire Deville, sappiamo che le fiamme contengono una certa quantità di gas, i quali, in virtù del calore, sfuggono ad ogni combinazione. Il dotto chimico è riuscito, con procedimenti ingegnosisimi, a isolare questi gas in modo da misurarne i volumi. È stato così dimostrato che, nella combustione del miscuglio d'ossigeno e d'idrogeno, una metà del gas è mantenuta allo stato di dissociazione dalla gran quantità di calore che l'altra metà produce bruciando. Questi fenomeni sono comparabili a quello della condensazione dei vapori. La parte della massa gassosa, che si condensa, sviluppa una quantità considerevole di calore che era latente, e che ritorna sensibile; e questo calore serve a mantenere ad una temperatura sufficientemente elevata, la parte che sfugge alla condensazione. Così, una massa di vapore acqueo, condensandosi allo stato liquido, perde una quantità di calore uguale a 540 calorie, e per solidificarsi, ne perderà ancora 79, di maniera che il vapore, per passare allo stato liquido, potrà emettere 540 unità di calore, senza che la sua temperatura s'abbassi, malgrado le perdite del calorico. Lo stesso avviene per una massa liquida che si solidifica. È evidente che il raffreddamento è singolarmente rallentato da queste proprietà. Vi è la massima analogia fra i fatti che abbiamo ricordati, e quelli che accompagnano le combinazioni chimiche. Allo stato di dissociazione, i gas contengono una certa quantità di calore latente, che diviene sensibile al momento in cui la

combinazione si effettua. Tutto il calore che sparisce nella dissociazione, ricompare nella combinazione, senza perdita alcuna, e secondo le ultime determinazioni, questa quantità di calore è eguale, per l'acqua, a 3830 calorie. Così, supponendo che questi due gas si combinassero completamente, senza che alcuna parte rimanesse dissociata, ne risulterebbe una quantità di calore uguale a 3830 calorie. Una bella esperienza di fisica ci dà un esempio notevolissimo di questo assorbimento di calore nelle decomposizioni. Si tuffano in un bicchiere d'acqua due fili di platino sottilissimi, e si fanno comunicare coi poli di una pila di molta forza. Se i fili immergonsi a una tenue profondità, l'acqua si scalda rapidamente senza decomporsi; ma se si tuffano maggiormente, la decomposizione comincia, e la temperatura cessa di crescere.

Supponiamo che una massa di gas passi allo stato di combinazione: tutto il calore latente di dissociazione diverrà sensibile, e per conseguenza, il raffreddamento sarà molto più lento. Supponiamo che l'irraggiamento faccia perdere al corpo una quantità di calore, capace di raffreddarlo di un grado in un anno: siccome la dissociazione fornisce 3830 calorie, quello stesso raffreddamento di un grado non si produrrà che in 3830 anni. Si obietterà, senza dubbio, che non essendo il Sole, unicamente composto di ossigeno e d'idrogeno, il calcolo precedente non ha alcuna applicazione. Ma, innanzi tutto, le osservazioni spettrali provano, che l'idrogeno trovasi in grandissima quantità nel Sole, ed oltre a ciò, vi sono sostanze per le quali la dissociazione richiede una temperatura talmente elevata, che non possiamo studiarla. In ogni caso, non è necessario conoscere esattamente il calore latente di dissociazione di tutti i corpi, per comprendere la parte importante, ch'esso ha nel fenomeno che vogliamo spiegare. Supponendo che la massa solare abbia un calore di dissociazione media uguale a quello dell'acqua, occorrerebbero 40 secoli per un raffreddamento di un grado. È dunque impossibile che giungiamo ad accorgerci di quei cambiamenti, perché devono essere molto meno considerevoli di quelli che si producono alle epoche dei massimi e dei minimi delle macchie, e questi ultimi sfuggono completamente alle nostre valutazioni.

È quindi evidente che, quantunque la temperatura del Sole non sia costante in modo assoluto, pure le sue variazioni sono così poco considerevoli, che è possibile accertarle soltanto dopo più migliaia d'anni.

Dopo un lasso di tempo molto più considerevole, dopo molti milioni di secoli, per esempio, il Sole si sarà considerevolmente raffreddato, e verrà certo un'epoca in cui non avrà più la forza di mantener la vita alla superficie de' pianeti. È possibile che l'Autore della Natura abbia, fin dal principio, disposte le cose in modo da riparare quella attività con qualche fenomeno straordinario, per esempio con la caduta di una nebulosa; ma queste sono questioni oziose, sulle quali avremmo torto di fermarci. Chi sa se l'ordine che regna attualmente nel nostro sistema solare, debba regnarvi infinitamente? Lo stato attuale non ha sempre esistito, ce lo insegna la geologia, e poiché ha dovuto avere un principio, perché non dovrebbe avere una fine?

Se si ammettono le idee che abbiamo indicate sullo stato attuale del Sole e sulla sua maniera di formazione, bisogna trarne le due conclusioni seguenti: 1° in virtù della legge sulle aree gli strati interni debbono possedere un movimento di rotazione, più rapido degli strati esterni, e l'attrito non ha forse stabilito ancora, in tutta la massa, un movimento identico; 2° i punti situati all'equatore debbono essere animati da una velocità più grande che i punti più vicini ai poli. Abbiamo veduto che questo fatto è accusato dal movimento delle macchie. Dobbiamo tuttavia confessare che la teoria esatta della circolazione nella massa solare non è ancora stabilita, e quanto abbiamo detto a questo riguardo, deve riguardarsi come una semplice ipotesi.

Si presenta tuttavia un'obiezione che può a prima giunta, sembrare imbarazzante, ma che non è seria. Il Sole è centro potente di attrazione: ciò posto, come ammettere che si trovi allo stato gassoso? L'attrazione è proporzionale alle masse: come adunque una massa gassosa, avente un volume limitato, potrebbe produrre degli effetti tanto considerevoli? Per rispondere a questa obiezione, notiamo che lo stato gassoso non è incompatibile con una densità considerevolissima. Comprimendo un gas, per diminuire il suo volume e aumentare il suo peso specifico, si finisce presto o tardi col liquefarlo, ma per impedire questa liquefazione, basta elevare la temperatura. Ora queste due circostanze si trovano riunite nel Sole: la temperatura vi è elevatissima, e pressione, almeno negli strati interni, vi diviene enorme. D'altra parte, la densità media del Sole, riferita a quella dell'acqua, è soltanto di 1.42, e non è quindi considerevolissima, specialmente se si nota che in questa massa vi sono molti metalli, il cui peso atomico è elevatissimo in rapporto ai

gas propriamente detti. La teoria termodinamica aveva già indicato che lo stato gassoso e lo stato liquido non sono separati da una discontinuità reale: le belle esperienze di Andrews sull'acido carbonico hanno provato che fra i due strati vi è una legge di continuità. Una porzione considerevole della massa solare potrebbe ben trovarsi sul limite, viste le circostanze di temperatura e di pressione.

Da tutto quello che abbiamo esposto in questo capitolo, possiamo trarre le conclusioni seguenti, che ne saranno il riassunto:

1° La temperatura del Sole si eleva a più milioni di gradi, ma ci è impossibile determinarla con precisione.

2° Questa temperatura è molto probabilmente il risultato della gravitazione, e sarebbe stata prodotta dalla caduta della materia che costituiva la nebulosa primitiva, e che compone attualmente il Sole e i pianeti.

3° A quell'epoca di formazione, la temperatura doveva essere molto più elevata di quanto adesso. Il Sole è dunque in un periodo di raffreddamento.

4° Quantunque il Sole perda continuamente quantità enormi di calore, l'abbassamento della temperatura è estremamente debole, e non oltrepassa 1 grado in quattromila anni. Questo risultato deve essere allo stato di dissociazione, in cui si trova la materia sotto l'azione del calore.

5° Sebbene la temperatura del Sole non sia assolutamente invariabile, pure le sue variazioni secolari sono più deboli che le fluttuazioni a corto periodo, delle quali constatiamo l'esistenza, senza poterle studiare in modo completo; e perciò dobbiamo pensare che il nostro pianeta resterà abitabile per una lunga serie di secoli.

# PARTE SECONDA

## ATTIVITÀ ESTERIORE

### DEL SOLE

#### CAPITOLO 1.

#### LE IRRADIAZIONI

Fino ad ora, abbiamo considerato il Sole in se stesso, e abbiamo cercato di determinare la sua natura, per quanto le osservazioni ottiche ce lo hanno permesso. Studieremo adesso la sua attività esterna, la qual cosa terminerà di farci un po' conoscere la potenza incalcolabile di questo centro di forza e di vita. La sua attività esterna si esercita in due maniere nello spazio che lo circonda: con le irradiazioni e con la gravitazione. Studiamo la prima di queste due forme d'azione, riservando la seconda per un altro capitolo.

#### *§ I. — Influenza delle irradiazioni nell'Universo.*

Abbiamo parlato molto delle irradiazioni luminose e calorifiche; ma le abbiamo esaminate soltanto dal punto di vista delle idee che potevano fornirci sulla costituzione del Sole. Dobbiamo adesso esaminarle dettagliatamente, e studiare l'influenza che esercitano sopra i pianeti. Il Sole è, per così dire, il primo motore, dal quale dipendono tutti i movimenti del sistema planetario, non soltanto per la regolarità delle orbite che descrivono i differenti astri, ma anche per i fenomeni fisici o fisiologici, che si compiono alla loro superficie. Sulla Terra, in particolare, i movimenti atmosferici, i movimenti delle acque, lo sviluppo della vegetazione, la produzione di forza che risulta dalle combustioni e dalla nutrizione degli animali, tutti questi fenomeni sono dovuti all'influenza delle irradiazioni solari.

L'atmosfera è una vera macchina, quantunque non vi si veggano né ruote né stantuffi; masse considerevoli d'aria e di vapore vi sono

mantenute in circolazione dall'azione del calore solare. La forza del Sole, dilatando l'aria in alcune regioni, la solleva in masse considerevoli, e produce così un vuoto che altre masse gassose vengono a colmare rapidamente. Da ciò quelle correnti atmosferiche, e quell'azione vigorosa del vento, che trasporta sui mari i nostri vascelli. La forza emanata dal Sole solleva le acque sotto forma di vapori, e le lascia poi ricadere in pioggia benefica destinata a fecondare le nostre campagne. Al Sole noi dobbiamo altresì i ruscelli che ci dissetano, i fiumi le cui acque fanno muovere le nostre macchine. Col vapore tolto all'Oceano, esso alimenta le nevi che, dalla sommità delle montagne, distribuiscono il movimento, la fecondità e la vita.

Ma qualche cosa di più ammirabile ancora il modo con cui la forza del Sole si trova, per così dire, racchiusa nei vegetali, e non solamente in quelli che, vivendo ancora, agli usi nostri e alla nostra alimentazione, ornando in pari tempo ed abbellendo la nostra dimora quaggiù, ma anche in quelli che, sepolti da più migliaia di anni nelle viscere della terra, n'escono adesso per riscaldarci e per produrre la forza motrice necessaria alle nostre macchine. I raggi solari, cadendo sulle piante, non riflettonsi né sono dispersi come accade quando cadono sulle pietre nude, o sulle sabbie del deserto; ma vi sono ritenuti in gran parte, e la forza delle loro vibrazioni serve a distruggere le combinazioni, che l'ossigeno forma col carbonio e coll'idrogeno, combinazioni stabili conosciute sotto il nome di acqua e d'acido carbonico, due elementi essenziali dell'aria atmosferica. Le piante si assimilano allora l'idrogeno e il carbonio, formando dei composti meno stabili, i quali, più tardi, sia nelle nostre case, sia negli organi respiratori degli animali, si distruggono, per costituire di nuovo l'acqua e l'acido carbonico, restituendo la forza viva, che il Sole aveva spesa con l'azione precedente. Ogni pianta è dunque una vera macchina, nella quale si elaborano quelle sostanze eminentemente combustibili, che servono a somministrarci, in assenza del Sole, il calore e la luce, ovvero a produrre, servendoci di alimento, la forza e il calore vitale, di cui abbiamo bisogno. Dal Sole dunque, in ultima analisi, dipendono in maniera più o meno lontana, tutti i fenomeni della Natura e della nostra stessa esistenza.

La maniera con cui si compiono queste meravigliose operazioni, ci è tuttora sconosciuta. Sappiamo soltanto che questi fenomeni producono per l'intermediario delle vibrazioni luminose, calorifiche e

chimiche: l'energia solare si propaga fino a noi sotto forma di vibrazioni, ed eseguisce le opere stupende che noi sappiamo porre a profitto. Quando due molecole sono unite coi vincoli dell'affinità chimica, è necessaria una forza per distruggere siffatta combinazione, e la forza così adoprata produce un lavoro, che può paragonarsi ad un lavoro meccanico qualunque, per esempio, per inalzare un corpo ad una corta altezza, cioè per separare un corpo dalla terra, bisogna usare una certa forza, e produrre un certo lavoro: ricadendo, il corpo restituisce la forza che era stata usata per sollevarlo.

Il Sole produce qualche cosa di simile tra le molecole dei corpi situati alla superficie della Terra. Si può dire che la sua forza è racchiusa nei vegetali, come quella della Terra lo è in una massa elevata ad una grande altezza, come quella di una macchina nel volano che gira con essa.

Ciò che il Sole opera ai nostri giorni lo ha egualmente prodotto nei secoli innumerevoli, che hanno preceduta la creazione dell'uomo. I vegetali sorti in certi periodi geologici, sono stati trasformati dall'azione del tempo in carbon fossile e in lignite. E quando noi bruciamo attualmente quelle sostanze nei fornelli delle nostre macchine a vapore, ne facciamo uscire la forza che altre volte è stata loro comunicata dal Sole.

Queste nozioni, che la scienza ha rese sì popolari, mostrano quale immenso potere posseggano le irradiazioni del Sole, che ci proponiamo studiare adesso minutamente.

## **§ II. — *Distinzione delle irradiazioni.***

Ciò che colpisce a prima giunta nell'irraggiamento solare, è la luce che ci rischiara e il calore che l'accompagna; ma oltre questi due ordini di fenomeni, ve ne ha un terzo importantissimo, vogliamo dire le azioni chimiche che accompagnano i due altri. Debbonsi quindi distinguere tre ordini di azioni che emanano dal Sole, e che confondonsi ordinariamente sotto l'unica denominazione di luce. Esse sono: 1° l'azione illuminatrice la quale non produce che effetti fisiologici, con la sua azione sull'organo della vista; 2° l'azione termica, che agisce indistintamente su tutti i corpi, riscaldandoli; 3° l'azione chimica, che produce certi fenomeni di disgregamento

molecolare.

Queste attività non sono tre entità distinte, ma effetti differenti di una stessa azione, consistendo semplicemente in una serie di ondulazioni le quali non differiscono tra loro che per la loro lunghezza, e per la rapidità con cui si producono. Le onde, la cui lunghezza è compresa fra 768 e 369 milionesimi di millimetro, sono capaci di far vibrare il nostro nervo ottico, e producono la sensazione della luce. La diversità dei colori non dipende che dalla lunghezza delle onde. Le più grandi si trovano nel rosso, e vanno decrescendo verso il violetto. Partendo dal color verde, e andando verso il violetto, le onde luminose posseggono inoltre la facoltà di disgregare i gruppi molecolari, e di produrre delle azioni chimiche, suscitando in pari tempo alla superficie alcune sostanze, vibrazioni luminose molto notevoli. Quelle onde si estendono molto al di là dello spettro visibile, in regione in cui l'occhio nulla può scorgere; il che si verifica adoperando dei preparati fotogenici, o delle sostanze di una natura particolare che si chiamano *fluorescenti*, dal nome di una sostanza che presenta questo fenomeno, lo spato fluore. Partendo dal verde, e andando dal lato del rosso, le onde divengono più lunghe, e posseggono la proprietà di scuotere i gruppi molecolari con un'azione semplicemente fisica, senza decomporli, almeno ne' casi ordinari. Queste onde si estendono egualmente al di là del rosso, o formano così una seconda parte invisibile dello spettro. In realtà, tuttavia, non esiste nella natura che una sola ed unica serie di onde, la cui lunghezza va costantemente decrescendo dall'estremità dello spettro calorifico oscuro fino all'estremità dello spettro chimico, nella sua parte invisibile. Fra questi due estremi, non vi ha che una porzione limitatissima, dotata della proprietà di scuotere il nostro nervo ottico. La fig. 35 ci mostra l'estensione e la intensità relativa di quelle differenti azioni, separate l'una dall'altra, come ce le presenta l'azione dispersiva dei prismi. La zona *PW*, che forma la base di questa figura, ci mostra, nella parte visibile, le principati righe di Fraunhofer, e al di là del violetto, quelle che sono state rivelate dall'azione chimica. Al di qua del rosso, e nella zona *AP* e *BA*, trovasi la regione che corrisponde alla parte oscura dei raggi termici. Le curve che trovansi di sopra, fanno conoscere, colle loro ordinate, le intensità relative di ogni irradiazione nelle differenti parti dello spettro.

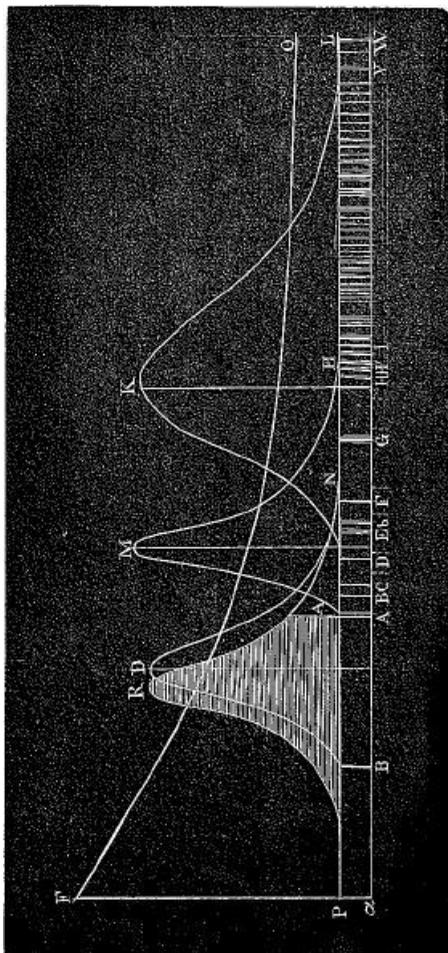


Fig. XXXV

L'intensità della luce è rappresentata dalla curva *AMN*, quella dell'azione chimica da *IKL*, quelle delle irradiazioni calorifiche da *BDN*. La curva *PBN* rappresenta la intensità dei raggi calorifici dell'arco voltaico, secondo il signor Tyndall.

La curva superiore *FO* rappresenta la lunghezza relativa delle onde appartenenti ad ogni regione del Sole.

Le onde estreme dello spettro ordinario hanno delle lunghezze che stanno nel rapporto di 1 a 4,3. Se prendiamo le due parti oscure, per

lo spettro calorifico da un lato e per lo spettro chimico dall'altro, troviamo che le lunghezze delle onde estreme stanno nel rapporto di 1 a 24; ma vi ha qualche incertezza per le onde meno refrangibili. Diamo qui il prospetto delle lunghezze di onda, che corrispondono ai punti principali, aggiungendovi il numero delle vibrazioni che si operano in un secondo.

	LUNGHEZZA in milionesimo di millimetro	NUMERO delle vibrazioni in un secondo
Limite estremo dei raggi calorifici (prisma in sal gemma) . . . . .	4900	63 milioni
Limite del rosso . . . . .	1445	155 »
Riga gialla D . . . . .	589	509 »
Violetto estremo H . . . . .	395	753 »
Estremità dello spettro chimico	317	843 »
Estremità dello spettro di cadmio . . . . .	210	1364 »

Tab. XV

Il primo numero di vibrazioni è stato dato dal Sig. Miller, l'ultimo dal Signor Mascart.

È cosa importante comparare la lunghezza di queste vibrazioni con quelle dello onde sonore suoni più gravi che il nostro orecchio possa ricevere, corrispondono a 31 vibrazioni per secondo, i più acuti a 36000 vibrazioni. Forse, orecchio esercitato può giungere ad afferrare i suoni che corrispondono a 40000 vibrazioni; per conseguenza i numeri estremi sono fra loro nel rapporto da 1 a 130 circa.

I limiti son dunque molto più distanti l'uno dall'altro che per le vibrazioni rapide conosciute e misurate, e, in particolare, le vibrazioni sonore sono molto più estese delle vibrazioni luminose, poiché queste ultime comprendono appena un'ottava. Se si adottano certi risultati del Prof. P. M. Garibaldi, di Genova, si avrebbe per limite inferiore delle onde termiche, alla temperatura di 73 gradi centigradi, un numero di vibrazioni che non sorpasserebbe 40000000 per secondo, di maniera che la lacuna che esiste fra la serie acustica e la serie termica sarebbe rappresentata da un rapporto di 1 a 1000. È certo tuttavia che le vibrazioni intermedie esistono nei solidi, perché, percolando delle verghe cortissime, come ha dimostrato il Sig. Koenig, si ottiene un suono la cui durata è cortissima, donde avviene che si può difficilmente distinguerlo da un semplice rumore. Ora

questa medesima percussione produce una elevazione sensibile di temperatura; e fa, per conseguenza, vibrare l'etere. Però noi manchiamo di mezzi per riconoscere la presenza di siffatte onde intermedie fra quelle che producono il suono e quelle che producono la luce.

Fermiamoci a queste considerazioni generali, e studiamo adesso ogni irradiazione in particolare.

### § III. — *Irradiazione luminosa.*

Ci occuperemo prima di tutto della irradiazione luminosa, perché è quella che conosciamo più immediatamente, quella che possiamo più facilmente studiare, e alla quale sono state da prima consacrate le differenti espressioni, che costituiscono la terminologia adottata in seguito per le altre. Non ripeteremo qui i particolari già dati, relativamente allo spettro luminoso e all'origine delle righe nere, che vi si notano. Esporrò soltanto ciò che ha rapporto all'intensità della luce.

La curva *AMH* (fig. 35) è stata tracciata da Fraunhofer con un procedimento molto imperfetto, ma che è il solo che possa adoprarsi, perché è molto difficile confrontare rigorosamente la potenza illuminatrice dei raggi di differenti colori. Noi non possiamo che paragonare, da questo punto di vista, le sensazioni che un occhio ben conformato prova sotto l'azione di differenti onde luminose. La buona costituzione dell'occhio è una condizione essenzialissima, perché vi sono individui affetti dalla malattia conosciuta sotto il nome di daltonismo, per i quali le sensazioni del rosso e del verde si confondono. In realtà non si può esser certi che la stessa onda luminosa faccia provare la stessa sensazione a tutti gl'individui, perché un colore non è, dopo tutto, che una denominazione puramente convenzionale, che resta costante nei casi simili, circostanza che rende impossibile scoprire una differenza, salvo il caso, molto raro, che uno stesso individuo dia lo stesso nome a due colori differenti.

Il potere illuminatore de' differenti raggi consiste dunque, per il fisico, nell'attitudine più o meno grande che essi possiedono di scuotere il nervo ottico dell'uomo. È probabile che la facoltà di percepire i fenomeni luminosi non abbia la stessa scala per tutti, e

che sia molto più estesa in alcuni animali che nell'uomo, tanto dal lato del rosso che da quello del violetto. L'acqua pura possiede una forza assorbente considerevolissima per i raggi termici, e perciò quando si adopera un prisma cavo empito d'acqua, il calore non comincia ad essere sensibile che nel rosso, ed ha il suo massimo nel giallo. Gli umori che tiene l'occhio differiscono poco dall'acqua pura, ciò che rende l'organo della vista insensibile ai raggi calorifici. L'estensione delle onde luminose sensibili all'occhio, corrisponde ordinariamente a ciò che si chiama, in acustica, un'ottava, sicché l'uomo non è posto in relazione col mondo lontano, che da una debolissima parte d'irradiazioni solari. E tuttavia quale immensa varietà di sensazioni, e qual bellezza di contrasti! Noi non vogliamo entrare in ordine di considerazioni, ma ci è impossibile non far qui un'osservazione importante. È stato creduto a lungo che la irradiazione luminosa fosse il solo mezzo di azione del Sole sopra il mondo. Tuttavia essa è secondarissima, e la sua importanza è molto tenue, so la paragoniamo colle altre irradiazioni. Che cosa sono dunque le impressioni prodotte sulla materia delicata della nostra retina: Se le paragoniamo colle modificazioni che il calore fa provare a tutti i corpi, e colle azioni molecolari che producono i raggi chimici?

Sono state fatte molte ricerche per sapere se vi fossero relazioni semplici fra le lunghezze d'onda e le sensazioni dei colori principali. Si ammette, secondo Newton, un gamma conosciuto da tutti i fisici, ma nel quale, in realtà, vi è molto di arbitrario. Dopo la scoperta di Fraunhofer, si è cercato se la posizione delle righe principali corrispondesse a intervalli musicali, ma non si è giunti a nessun risultato ben certo. Così è stato trovato che le righe *C, D, H, I* corrispondono sensibilmente alle note musicali *re mi si do<sub>2</sub>*, e di più la riga *A* sarebbe poco lontana dalla posizione che corrisponde a *do<sub>1</sub>*. Se si prende la lettera *C* come corrispondente a *re*, *F* sarebbe un *sol*, con una differenza di  $1/81$  cioè di un comma. Ma tutti questi rapporti non hanno alcuna influenza alla visione, perché sappiamo che non c'è somiglianza fra l'armonia musicale e ciò che può chiamarsi l'armonia cromatica. Questa esiste senza dubbio, ma deve studiarsi *a posteriori*, con metodi che escono affatto dal nostro soggetto.

La curva delle intensità luminose, come quella delle altre irradiazioni, non è simmetrica in rapporto all'ordinata del vertice, e monta più rapidamente che non discenda.

È un effetto dovuto alla refrazione del prisma. I corpi rifrangenti non deviano i raggi luminosi in proporzione alla lunghezza delle onde, ma la deviazione è più sensibile per le più piccole, e quindi la dispersione è maggiore nel violetto. Negli spettri prodotti dalla diffrazione per mezzo di reticolati, questa causa sussiste, e la curva delle intensità luminose è simmetrica in rapporto al massimo che si trova nel giallo. Mossotti ha verificato col calcolo la spiegazione che abbiamo data.

I limiti dello spettro visibile non sono gli stessi per tutti gl'individui, specialmente dal lato del violetto ve ne sono alcuni che vedono una parte considerevole dei raggi chimici, che sono oscuri per la maggior parte degli osservatori. Questo risultato può derivare in parte dalla fosforescenza che quei raggi sviluppano sulla sostanza che li riceve: o nei mezzi dell'occhio stesso, la fluorescenza dei quali è stata accertata. Si è cercato di paragonare l'intensità della luce solare con quella delle stelle e delle altre luci conosciute, ma tutte quelle misure sono lungi dall'esser precise. Bond ha trovato che il Sole ha una forza illuminatrice rappresentata da 470000, se si paragona a quella della Luna piena, a 622000000 se si paragona a quella di Venere, presa in tutto il suo splendore, a 5980000000 se si paragona a quella di Sirio. Ma noi crediamo che tutti questi numeri siano troppo deboli, perché, durante un'eclisse totale, la piccola quantità di luce che rischiara l'atmosfera è più considerevole di quella della Luna piena, e sarebbe molto difficile determinare numericamente il rapporto di questa fioca luce con quella dell'astro radioso.

La difficoltà che incontrasi a comparare la luce del Sole con un'unità determinata, fa sì che è quasi impossibile accertare se il suo splendore è costante. Gli astronomi sono generalmente d'accordo per porre questo astro fra le stelle variabili, ma non si sono potute ancora verificare le sue variazioni in una maniera perentoria. Se mai ci si riuscirà, ciò accadrà, senza dubbio, per un mezzo più preciso della semplice sensazione della vista. Si avrà probabilmente ricorso agli effetti termici o chimici, o a qualche altro fenomeno suscettibile di una misura esatta e precisa. Sappiamo adesso che le macchie presentano variazioni periodiche, ma non possiamo conchiuderne che la potenza illuminatrice del Sole presenti variazioni analoghe, perché è possibile che la diminuzione di splendore proveniente dalla presenza macchie sia compensata dall'accrescimento di luce dovuto alle facole.

#### § IV. — *Irradiazioni termiche.*

Abbiamo già esposto ciò che concerne le intensità di queste irradiazioni; ci resta a esaminare ciò che si riferisce alla loro natura e alle loro proprietà. Dopo aver fatto passare un fascio di raggi solari attraverso un prisma, se si ricevono sopra un termoscopio molto delicato, o meglio sopra una pila termo-elettrica, si trova che il massimo di calore corrisponde a una regione differente, secondo la natura del prisma. Con un prisma di vetro ordinario, si trova nel rosso; corrisponde al giallo, quando si adopra un prisma concavo pieno di acqua, il flint lo respinge un poco di là del rosso. Finalmente, con un prisma di salgemma, quel massimo trovasi molto al di là del rosso, ad una distanza della riga *A*, eguale a quella che separa le due righe *A* e *C*.

Queste differenze posero i fisici in un grande imbarazzo fino al tempo delle esperienze di Melloni. Questo scienziato mostrò che le differenti sostanze possiedono una forza assorbente elettiva e particolare, poiché ciascuna di esse agisce su differenti raggi calorifici, assorbendo gli uni e lasciando passare gli altri, quasi come i mezzi coloriti agiscono sulla luce bianca. Egli chiamò questa proprietà *termocrosi*. Se si analizzasse la luce del Sole col prisma rosso, giallo o verde, si troverebbe che il massimo di forza illuminatrice corrisponde a regioni differenti, secondo i casi, ed è quasi ciò che accade per il calore nelle esperienze che abbiamo citate. Il salgemma è la sostanza più diatermane che possiamo usare per l'analisi dei raggi solari, ma non è completamente priva di potere assorbente.

Gli stessi gas posseggono la facoltà di assorbire i raggi calorifici, e per conseguenza, la nostra atmosfera assorbe una porzione considerevolissima di questi raggi. Le onde più lunghe son quelle che vengono più facilmente assorbite, e per ciò un gran numero raggi meno refrangenti, che cadono sulla nostra atmosfera sono arrestati e non giungono fino a noi.

L'assorbimento prodotto dai gas semplici, ossigeno e azoto, è estremamente debole. Se si fa variare la pressione da 5 a 760 millimetri, quello stesso assorbimento varia presso a poco in rapporto da 1 a 1,15. Non è lo stesso pei gas composti, che trovansi

nella nostra atmosfera, come l'acido carbonico, il vapore acqueo, l'ammoniaca e alcuni altri. Il prof. P. M. Garibaldi, di Genova, ha provato, con esperienze perentorie, che per una pressione di 760 millimetri, quei gas hanno delle forze assorbenti rappresentate dai seguenti numeri:

Aria atmosferica	1
Acido carbonico	92
Ammoniaca	546
Vapore acqueo	7937

Una quantità di vapore acqueo, capace di produrre una pressione da 9 a 10 millimetri, esercita già

assorbimento 100 volte più grande che quello dell'aria atmosferica.

Resulta da queste proprietà che ci è impossibile di ricevere, e per conseguenza, di analizzare tutte le irradiazioni calorifiche del Sole.

La curva *BDN*, tracciata nella (fig. 33), non rappresenta che quelle che hanno già traversata la nostra atmosfera, subendovi un assorbimento molto considerevole.

Per riconoscere le altre irradiazioni, i fisici hanno ricorso a sorgenti artificiali di calore. Il Sig. Tyndall, in particolare, ha analizzato con molta precisione la sorgente più attiva che conosciamo, cioè l'arco voltaico. Per stabilire più facilmente un confronto fra i differenti risultati, riproduciamo qui tre curve. La fig. 36, dovuta a W. Herschel, rappresenta la variazione dell'intensità calorifica nello spettro ottenuto col prisma di flint; la parte nera è relativa ai raggi di colore oscuro.

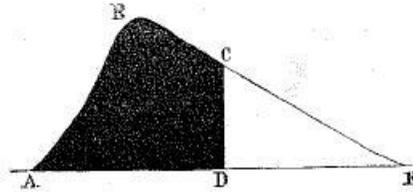
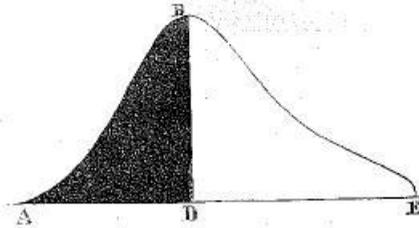


Fig. XXXVI e Fig. XXXVII

La fig. 37 rappresenta lo spettro ottenuto dal Signor Müller con un prisma di salgemma.

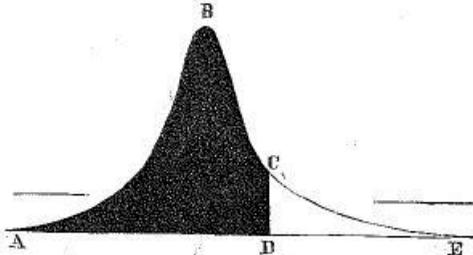


Fig. XXXVIII

La fig. 38 dà lo spettro dell'arco voltaico, ottenuto dal Sig. Tyndall, e che per maggior chiarezza abbiamo egualmente riprodotto nella fig. 35. Si vede da queste curve quanto è piccola la parte luminosa paragonata colla parte oscura.

Di più, confrontandole colla curva delle intensità calorifiche del Sole (fig. 35), si vede quanto assorbe di raggi oscuri la nostra atmosfera.

Malgrado tutte le cure del Signor Tyndall, i mezzi impiegati nelle esperienze non potevano essere assolutamente diatermani; l'aria del suo laboratorio non poteva essere perfettamente pura, perché conteneva necessariamente del vapore acqueo, che possiede una sì gran forza assorbente. Il prof. Garibaldi ha fatto esperimenti nel vuoto, sul calore oscuro del platino, portato prima a una temperatura

di 78 gradi, e riscaldato progressivamente fino al rosso bianco. Egli ha trovato per tal modo, che l'estensione dello irradiazioni oscure è almeno 4 volte e mezzo tanto considerevole quanto quella delle irradiazioni luminose. Ma bisogna osservare che queste esperienze, essendo state fatte senza prisma, si è evitato il raccorciamento della parte oscura dello spettro, che ha luogo nelle esperienze di Tyndall, ciò che deve produrre una distesa più grande di quella che si ottiene col procedimento ordinario.

Sia che vuolsi di tutti questi particolari, è certo che una porzione considerevole dei raggi oscuri, partiti dal Sole, è intercettata dall'atmosfera, senza potere arrivare fino alla superficie della Terra.

Questo assorbimento è più considerevole per i raggi calorifici che per i raggi luminosi, perché le onde, a misura che la loro lunghezza diminuisce, acquistano una proprietà sempre più grande di traversare i mezzi trasparenti.

Lo studio di questi fenomeni ha cagionato la scoperta di un fatto interessantissimo, che prova la forza e l'energia dei raggi solari, perché l'intensità delle irradiazioni oscure aumenta più rapidamente di quelle delle irradiazioni luminose, e noi dobbiamo concluderne che, essendo la luce del Sole estremamente viva, le irradiazioni termiche, che emanano dalla sua superficie, debbono avere un'intensità molto maggiore di quanto possiamo supporre. Questa conclusione può porsi in evidenza, togliendo ai raggi solari tutta la loro forza illuminatrice, in modo da lasciare intatta la loro forza calorifica, ciò che permette di valutare il rapporto delle due irradiazioni. Per ottenere questo risultato, si fa passare un fascio di raggi solari a traverso uno strato di solfuro di carbonio, contenente dell'iodio in dissoluzione. I raggi diventano invisibili senza perdere la loro potenza calorifica, e se il vaso che contiene questa dissoluzione, ha la forma di una lente convergente, al fuoco invisibile di questa lente, si sviluppa una temperatura così elevata da infiammare i corpi combustibili. Il prof. Garibaldi ha provato, con esperienze consimili, che, per il platino incandescente, il rapporto delle irradiazioni luminose alle irradiazioni oscure, è tutto al più eguale a 13/320. Quanto al Sole, il Sig. Tyndall ha provato che il calore che accompagna la parte luminosa, è soltanto di quello che si trova nella parte oscura.

Dal verde fino al violetto, i nostri termoscopi più sensibili non accusano più alcuna specie di calore ma non bisogna concluderne

che le ondulazioni corrispondenti siano inattive. È là che comincia un'attività nuova, che ha per effetto di scuotere gruppi atomici, di distruggere le combinazioni risultanti dall'affinità.

L'atmosfera terrestre assorbendo una porzione così considerevole di raggi solari, non gli annienta, li tiene in riserva, per usarli più tardi a nostro vantaggio.

Da prima, la parte che giunge fino a noi, riscalda i corpi e, per la loro azione molecolare, trovasi trasformata in calore di bassa temperatura a onde lunghissime. Quei raggi così trasformati non son più capaci di traversare l'atmosfera, e ciò produce un'accumulazione di calore negli strati più bassi. Si può anche, prendendo certe precauzioni, condurre così l'acqua alla temperatura della sua ebollizione. Basta a ciò, far cadere i raggi solari sopra una scatola annerita, foderata di sostanze non conduttrici, e la cui apertura, volta dal lato del Sole, sia coperta da più lamine di vetro trasparente. Un termometro esposto in questa scatola indica ben presto una temperatura superiore a 100 gradi, perché i raggi di bassa temperatura, che nascono là dentro, non potendo traversare il vetro, restano nell'interno della scatola, e la scaldano sempre più. E siccome, secondo la legge della irradiazione solare, il termometro deve sempre indicare 13 o 14 gradi al disopra della temperatura del mezzo in cui si trova, si giunge così ad un limite che può sorpassare i 100 gradi. È stato anche proposto di utilizzare quel calore per riscaldare l'acqua o economizzare il combustibile.

Il calore racchiuso nell'atmosfera ci rende anche un altro servizio. La irradiazione notturna è considerevolmente diminuita dalla presenza dell'aria atmosferica, e si trova quindi rallentato e diminuito il raffreddamento del globo e delle piante che esso nutrisce. Il vapore acqueo agisce con una grandissima efficacia, e uno strato umido, avente soltanto alcuni metri di spessore, arresta il raffreddamento notturno quanto l'atmosfera intiera.

Ma la circostanza più importante è l'assorbimento del calorico che accompagna la trasformazione dell'acqua in vapore. L'acqua evapora in massa considerevole, specialmente nelle regioni equatoriali, e assorbe così una gran quantità di calore di vaporizzazione, che rimane latente. Quel calore è destinato ad essere trasportato verso le latitudini più lontane, e a stabilire, nell'inviluppo atmosferico, che circonda il globo, un'eguaglianza di temperatura, che la irradiazione diretta sarebbe lungi dal produrre da se stessa. La quantità di calore,

che passa così dall'equatore ai poli, è estremamente considerevole, come si comprenderà con una valutazione anche grossolanamente approssimativa.

Osservazioni numerose e assai precise ci hanno fatto conoscere che, nelle regioni equatoriali, l'evaporazione fa sparire, ogni anno uno strato avente almeno 5 metri di spessore. Supponiamo che nelle stesse regioni, cada annualmente uno strato di pioggia di due metri: resta sempre una quantità d'acqua rappresentata da uno strato di 3 metri, che deve passare allo stato di vapore nelle contrade più prossime ai poli. Può valutarsi a 70 milioni di miglia geografiche la superficie, su cui si produce l'evaporazione, e partendo da questo dato, si trova che lo strato di tre metri rappresenta un volume di acqua uguale a 721 trilioni di metri cubi ( $721 \times 10^{12}$ ). La quantità di calore, contenuta in questa massa di vapore, è capace di far fondere una massa di ferro di un volume uguale almeno a 6000000 di miglia cubiche.<sup>18</sup>

Questa massa enorme di calore passa incognita, per così dire, dall'equatore ai poli, trasportata dall'azione del vapore, e questo vapore trasformandosi in acqua e in ghiaccio, lascia sfuggire tutto il calore che aveva assorbito, contribuendo così ad addolcire il clima di quelle regioni desolate. Il capitano Maury, a cui dobbiamo queste belle considerazioni, fa osservare che non si sarebbe mai ottenuto un tal risultato con un gas propriamente detto, perché, per trasportare col suo intermediario la stessa quantità di calore, sarebbe stato necessario scaldarlo sino alla temperatura delle fornaci.

È dunque impossibile non vedere nell'insieme della creazione, una Sagghezza infinita che, imponendo certe leggi elementari alla materia, le ha definite in modo, che le loro più lontane conseguenze fossero in armonia colla conservazione della vita organica, e colla prosperità degli esseri ragionevoli, che dopo tanti secoli, dovevano popolare la superficie dei pianeti. In questi inattesi risultati brilla, in special modo, la Sagghezza eterna, stupefacendoci con l'estensione dei suoi concepimenti, e colla precisione con cui giunge ai suoi fini.

Le osservazioni più esatte, ci provano che l'atmosfera terrestre assorbe, seguendo la verticale, i 28/100 del calore che cade sulla superficie, e l'assorbimento totale dell'emisfero illuminato, è quasi uguale ai 3/5 del calore incidente, sicché alle differenti altezze, la

---

<sup>18</sup> Adottiamo qui il miglio marino di 1852 metri.

parte trasmessa è rappresentata come segue:

Altezza	Quantità trasmessa
90°	0,72
70°	0,70
50°	0,64
30°	0,51
10°	0,16
0°	0,00

Quello che abbiamo detto de' movimenti atmosferici può applicarsi alla circolazione delle masse che compongono l'Oceano. Il calore solare mette in movimento questa massa considerevole, e determina le correnti interne, il cui officio è sì importante. Contentiamoci d'indicare questa idea, giacché il suo sviluppo non può trovar posto nei limiti che ci siamo assegnati.

### § V. — *Azione chimica dei raggi solari.*

In grazia della fotografia, tutti conoscono l'azione che i raggi luminosi esercitano sopra i sali d'argento: essi li decompongono e gli anneriscono. Però i raggi solari producono un grandissimo numero di fenomeni simili, che passano comunemente non avvertiti, o non si manifestano che dopo una lunga esposizione alla luce, come sono il colorimento e lo scolorimento di alcune sostanze, e in special modo la respirazione dei vegetali, di cui abbiamo già parlato.

L'azione chimica è, come il calore, un'azione meccanica, e può pure essere valutata meccanicamente.

Però la determinazione del suo equivalente presenta una difficoltà particolare, perché l'azione del Sole non fa che provocare l'attività interna delle molecole, e nel risultato finale, è impossibile stabilire la parte delle due cause.

I Sigg. Bunsen e Roscoe hanno valutato l'azione chimica, prendendo come punto di partenza la combinazione del cloro con l'idrogeno. L'americano Draper aveva già notato che, quando un raggio di luce diffusa agisce su que' due gas, per determinare la loro combinazione, vi è indebolimento della sua intensità e del suo potere illuminante. Su questo fatto fondamentale della trasformazione dell'energia

luminosa delle onde eteree in energia chimica, i Sigg. Bunsen e Roscoe hanno stabilito il loro computo. Hanno così ottenuto dei risultati che qui sotto indichiamo:

1° L'intensità della irradiazione chimica, cadendo sulla nostra atmosfera, è così grande da produrre, in un minuto, la combinazione d'un miscuglio di cloro e d'idrogeno, formante uno strato di 35 metri di altezza;

2° Non arrivano sulla Terra che circa 2/3 di quelle irradiazioni;

3° L'atmosfera possiede una gran forza diffusiva per i raggi chimici, donde avviene che nelle regioni solari, quelle irradiazioni sono proporzionalmente più energiche che la irradiazione termica;

4° Fino a 50 gradi di latitudine, i raggi diretti sono più intensi che i raggi diffusi; ma là avviene il contrario. A S. Pietroburgo, a Roma e all'equatore, i raggi diretti stanno fra loro come i numeri 1, 2, 4;

5° Tutta l'energia chimica, che emana dal Sole, sarebbe sufficiente per combinare, in un minuto, 25 milioni di miglia cubiche del miscuglio di cloro e d'idrogeno. Se si conoscesse l'equivalente termico di questa azione, si potrebbe valutarlo in forza meccanica; ma è impossibile farlo adesso, a causa delle difficoltà che abbiamo già indicate. Tali sono le interessanti conclusioni del lavoro dei Sigg. Bunsen e Roscoe.

L'azione dei raggi chimici non produce soltanto delle combinazioni e delle decomposizioni. Innanzi tutto, non è impossibile che que' raggi, penetrando nell'interno dei corpi, si trasformino in onde più lunghe, in modo da produrre un riscaldamento. Certi corpi, designati col nome di corpi fluorescenti, producono un simile effetto alla loro superficie, come per esempio, la dissoluzione di solfato di chinino, l'infusione di scorze di castagno d'India, il vetro di uranio, la dissoluzione alcoolica di clorofilla, ecc. Queste sostanze mandano, per riflessione, raggi che corrispondono a onde più lunghe di quelle dei raggi incidenti; oltre di che, quantunque illuminate dalla luce monocromatica, esse riflettono luce composta.

I raggi chimici hanno la proprietà di suscitare la fosforescenza nei corpi che ne sono suscettibili, come per esempio, nel famoso fosforo di Canton. Anche allora, la loro refrangibilità è modificata, come può vedersi nel gran lavoro del signor Becquerel sulla luce, perché i corpi fosforescenti danno spettri differentissimi gli uni dagli altri.

L'azione molecolare, che aumenta la lunghezza delle onde più corte, può pure diminuire quella delle onde più lunghe. Se ne trova un

esempio sorprendente in una curiosa esperienza immaginata dal sig. Tyndall. I raggi solari cadono sopra un vaso contenente una dissoluzione di iodio in solfuro di carbonio. I raggi oscuri soltanto la traversano, e subiscono poi l'azione di una lente convergente. Il fuoco resta invisibile, ma se vi si colloca una lamina di platino, essa non tarda a divenire incandescente, essendo i raggi oscuri divenuti luminosi.

Il Sole non è il solo corpo illuminante, che mandi in pari tempo dei raggi chimici. Certe sorgenti artificiali, come la luce elettrica e quella del magnesio ne sono anche più ricche, fatta ogni debita proporzione. Però è ben probabile che, senza l'azione assorbente della nostra atmosfera, il Sole la vincerebbe sotto questo rapporto, come sotto il rapporto di forza illuminatrice. Regna ancora tuttavia molta incertezza su tutte queste questioni. Vi sarebbe luogo di fare delle esperienze sopra un altipiano molto elevato, quello di Quito, per esempio, per riconoscere con maggior precisione l'influenza della nostra atmosfera. In regioni così poco elevate, come le nostre, al disopra del livello del mare, non ci è possibile valutarla che in maniera indiretta e imperfettissima.

## **§ VI. — *Attività magnetica del Sole.***

Il titolo di questo paragrafo sorprenderà, senza dubbio, più di un lettore, perché sembra impossibile che la forza magnetica risieda in un corpo la cui temperatura è sì elevata. Ma innanzi tutto, e si noti subito bene, noi non pretendiamo che esista nel Sole un'azione magnetica diretta: come quella che osserviamo sulla Terra: diciamo soltanto, ed è un fatto incontestabile, che il Sole esercita un'azione sopra i fenomeni magnetici, che si manifestano sul nostro globo. Se quest'azione sia diretta o indiretta, è una questione puramente speculativa, e noi, per il momento, ci contenteremo di esporre i fatti. Aggiungeremo soltanto che, siccome il globo terrestre non deve tutta la sua forza magnetica ai metalli calamitati, ma, ad altro principio tuttora poco conosciuto, lo stesso può accadere del Sole. Non vi è in ciò nulla che ci debba sorprendere, perché sappiamo che ogni corpo circondato da correnti elettriche, può agire come una calamita. Gli Inglese hanno, in special modo, contribuito, negli ultimi anni a porre in evidenza le leggi che governano i misteriosi fenomeni del

magnetismo terrestre. Essi hanno eretto numerosi osservatori magnetici nei due emisferi, e i lavori eseguiti hanno condotto alle conclusioni seguenti:

1° Quando una sbarra calamitata è liberamente sospesa, la sua posizione in rapporto alla Terra non è assolutamente fissa: essa varia continuamente, e queste variazioni presentano un periodo diurno, e un periodo annuale. Consideriamo, nella bussola di declinazione, l'estremità che è diretta verso il Sole, cioè il polo Sud nel nostro emisfero, e il polo Nord nel, l'altro. Quella estremità sembra fuggire il Sole dal momento in cui esso si leva, e il movimento cessa un'ora e mezzo dopo che quell'astro è passato per meridiano magnetico. A partire da quell'istante, l'ago torna in addietro fino al tramontare del Sole. Durante la notte, quel si ripete, ma la sua ampiezza è molto men grande;

2° Si riconosce pure nel movimento dell'ago calamitato, un periodo annuale. L'oscillazione diurna della bussola di declinazione risulta da due elementi, l'uno costante, l'altro dipendente dalla declinazione del Sole. Questi due movimenti si sommano, o si sottraggono secondo che il Sole è nello stesso emisfero dell'ago, o nell'emisfero opposto;

3° La forza orizzontale, che si misura col mezzo di una sbarra disposta perpendicolarmente al meridiano magnetico, è soggetta a oscillazioni simili, ma i massimi e i minimi si trovano a tre ore di distanza da quelli della declinazione;

4° Vi sono un massimo e un minimo annuali indipendenti dall'emisfero, in cui si trova il Sole, ma dipendenti dalla sua posizione, apogeo o perigeo;

5° Oltre le variazioni regolari e normali, le sbarre calamitate sono soggette a variazioni straordinarie, che dipendono dalle aurore boreali e dalle burrasche elettriche della nostra atmosfera;

6° Finalmente l'ampiezza della oscillazione diurna è variabilissima, e in un periodo di circa dieci anni, può prendere valori differenti del doppio l'uno dell'altro. Però la circostanza più straordinaria è che i massimi e i minimi coincidono colle aurore boreali, e con i massimi e i minimi delle macchie visibili Sopra il Sole. La stessa variazione nelle oscillazioni periodiche, si riscontra anche all'epoca delle perturbazioni straordinarie, a cui si dà il nome di burrasche magnetiche.

Siccome quest'ultima osservazione è importantissima noi la

metteremo in evidenza, riportando un estratto del prospetto comparativo di quei fenomeni. Lo caviamo dai lavori dei Signori Wolf e Fritz, già menzionati altrove.

*Tab. XVI*

MASSIMA DELLE MACCHIE	MASSIMA delle aurore boreali	OSCILLAZIONE DIURNA della bussola. (Media)
1706	1707	»
1718	1721	»
1728	1728	»
1739	1738	»
1750	1749	»
1761	1760	»
1770	1769	»
1779	1779	»
1788	1788	»
1804	1804	»
1817	1816	»
1830	1830	13,07 Parigi
1837	1839	11,47 Monaco.
1848	1848	11,55
1860	1859	11,17

MINIMA DELLE MACCHIE	MINIMA delle aurore boreali	VARIAZIONI DIURNE delle bussola
1698	1700	»
1712	1714	»
1723	1724	»
1733	1733	»
1745	1745	»
1758	1755	»
1766	1766	»
1776	1766	»
1785	1785	»
1799	1799	»
1811	1811	»
1823	1823	8,18 Gottinga.
1834	1834	7,79 Monaco.
1844	1844	5,24
1856	1856	5,02
1867	1867	5,05

Disgraziatamente, le osservazioni magnetiche ci mancano per la prima parte di questo prospetto; ma gli ultimi periodi bastano per non farci temere un disinganno.

Discutendo più seriamente quei risultati, sembra che si scorga la traccia di un secondo periodo semi-secolare di 55 anni e mezzo; ma siccome essa non è certa, per mancanza di antiche osservazioni, così ci contenteremo di indicarla, senza dirne di più.

L'esistenza del periodo decennale è stata confermata dalle osservazioni fatte dal Collegio Romano negli ultimi dieci anni. Avevamo eretto precisamente a questo scopo un osservatorio magnetico, e a partire dal 1858, facevamo enumerazione esatta di tutte le macchie solari.

Gli astronomi ammettono dunque unanimemente il fitto di un periodo decennale nelle variazioni del magnetismo terrestre, coincidente con un periodo simile nella variazione delle macchie solari.

Per quanto sia inattesa, questa conclusione non è meno certa. Disgraziatamente siffatta relazione è più difficile a spiegarsi che ad accettarsi. L'influenza del Sole sull'ago calamitato, può essere diretta o indiretta: è diretta, se per un'azione magnetica che gli è propria, o per correnti elettriche di cui è la sede, il Sole esercita, di per se stesso, un'azione sulla bussola o sulla calamita terrestre; è indiretta, se essa produce, nello stato del globo, cangiamenti fisici capaci di modificare il magnetismo terrestre, o le correnti telluriche.

La prima opinione è stata sostenuta dal Signor Sabine, e noi l'abbiamo altre volte adottata. È difficile, senza dubbio, ammettere che la materia, onde è composto il Sole, goda di una vera forza magnetica, ma può darsi che questo astro sia circondato da forti correnti elettriche, che agiscono a distanza come vere calamite. Il Sole non sarebbe il solo corpo celeste che presenta un'azione simile, perché la Luna esercita un'influenza, debole è vero, ma incontestabile sull'ago calamitato.

Tuttavia la seconda opinione ci sembra più probabile. Vediamo infatti che il periodo decennale delle variazioni giornaliere ha una relazione certa con le aurore boreali, e che il valore assoluto delle variazioni dipende, in modo indiscutibile, dal numero delle aurore. Le aurore polari sono certo fenomeni meteorologici, prodotti dalla elettricità che è trasportata ai poli, a traverso le regioni superiori dell'atmosfera. Questa elettricità produce sul globo terrestre delle vere correnti, che agiscono sull'ago calamitato. L'esistenza di queste correnti telluriche è oggi perfettamente provata: esse producono nei fili telegrafici delle correnti derivate, capaci talvolta di produrre scintille. In quattro anni che noi abbiamo avuto a nostra disposizione un filo telegrafico di 50 chilometri, abbiamo notato che quelle correnti esistono sempre, e che, nelle perturbazioni, hanno una grande intensità. Ultimamente il Sig. Airy ha tolto, dalle osservazioni

di Greenwich, la conclusione che tutti i movimenti magnetici sono dovuti a correnti che circolano nella Terra.

L'elettricità, essendo la causa immediata di tutte quelle perturbazioni straordinarie, si potrebbero riferire alla stessa causa le variazioni periodiche di ciascun giorno. È ben facile comprendere che esiste ogni giorno, nell'atmosfera, una variazione periodica capace di produrre quel risultato. Siffatta variazione si ricollega principalmente colle differenti fasi che presenta lo stato del vapore acqueo. Si era cercato di spiegare questa variazione unicamente col movimento del termometro; ma l'influenza della temperatura basterebbe al più a render conto delle oscillazioni della declinazione, le sole che si conoscessero allora. Adesso che si conoscono le variazioni della inclinazione e della forza orizzontale, bisogna ricorrere ad un altro modo di spiegazione. Il solo possibile consiste, secondo noi, nell'ammettere che le variazioni della temperatura non agiscono che in modo indiretto sul magnetismo, modificando lo stato elettrico del globo coll'intermediario dei vapori.

Quantunque questa teoria sembri la più seducente, e sia da noi riguardata come la più probabile, pure essa presenta alcune difficoltà. Allo stato attuale della scienza, non può trovarsi con certezza il vincolo che ricollega queste variazioni elettriche con quelle delle macchie. Certo la formazione di una macchia deve essere accompagnata da fenomeni elettrici, ma noi non sappiamo immaginare come questi fenomeni possano reagire sui nostri aghi calamitati. Quanto alle aurore boreali, che vedonsi talvolta apparire simultaneamente nei due emisferi, esse non coincidono quasi mai rigorosamente con l'apparizione delle macchie, e se questa coincidenza avviene tal volta, non vi si deve annettere molta importanza, perché noi non possiamo accertare il momento in cui si formano le macchie che hanno origine nell'emisfero del Sole opposto a quello da noi veduto.

Non si può quindi stabilire fra quei due ordini di fenomeni una relazione da causa ad effetto.

Nel secolo passato, Mairan cercò di ricollegare le aurore boreali coll'atmosfera solare. Ma la sua teoria suppone che l'atmosfera del Sole si estenda fino alla Terra, ipotesi insostenibile.

Tutto ciò che può dirsi adesso è che la periodicità delle macchie suppone una periodicità nell'attività solare, allo stesso modo che le regioni polari del Sole non presentano mai macchie, forse perché in

quei punti, l'attività è meno grande, così l'intero corpo solare, all'epoche del minimo, sarebbe in uno stato di tranquillità e di riposo generale. Le variazioni di quest'attività potrebbero comunicarsi alla Terra, sia per mezzo del calore, sia per qualche altro mezzo sconosciuto, per esempio, per l'induzione elettro-dinamica, producendo così sul nostro globo dei fenomeni meteorologici o elettrici.

Tutto ciò che abbiamo detto non è, ben inteso, che una semplice congettura, perché questa questione è una di quelle di cui dobbiamo lasciare la soluzione alle generazioni che verranno dopo di noi. Per risolverla, bisognerà trovare un mezzo più perfetto per misurare esattamente la irradiazione solare, e oltre a ciò, bisognerà misurare le irradiazioni per lunghi periodi, a fine di accertare le loro variazioni e i limiti in cui sono comprese. Queste misure dovranno farsi in differenti punti dei due emisferi terrestri, per evitare le influenze locali. Soltanto dopo avere svolto questo programma, potrà formarsi un'opinione ed ammettersi una teoria con cognizione di causa. Giudichi il lettore quanto ne siamo ancora lontani.

## CAPITOLO II

# IL SOLE CENTRO DI FORZA— GRAVITAZIONE

Il Sole è il centro intorno al quale tutti i pianeti descrivono le loro orbite. Esso deve questa prerogativa alla sua massa considerevole che è circa 1000 volte più grande di quella di tutti gli astri che gli fanno corteggio. Esporremo qui i fenomeni planetari che sono intimamente legati alla costituzione del Sole, senza entrare tuttavia nei particolari propri di un trattato di cosmografia o di astronomia. Per questi particolari, possono consultarsi una quantità di opere speciali, fra le quali ci sarà permesso indicare il nostro *Prospetto fisico del sistema solare*, Roma 1859.

### **§ I. — *Formazione del sistema planetario.***

Gli scienziati sono unanimi, ai nostri giorni, nell'ammettere che il nostro sistema solare è dovuto alla condensazione di una nebulosa, che estendevasi, un tempo al di là dei limiti attualmente occupati dai pianeti più lontani. Quella nebulosa era dapprima dotata di un movimento di rotazione lentissimo, che doveva accelerarsi più tardi. Secondo una legge meccanica, conosciuta sotto il nome di legge delle aree, ogni particella libera deve muoversi in modo che il suo raggio vettore descriva delle aree eguali in tempi eguali; donde segue che diminuendo il raggio costantemente per la sua contrazione progressiva, l'arco descritto nell'unità di tempo, ha dovuto crescere affinché l'area restasse costante.

Da questo accrescimento di velocità risulta un accrescimento di forza centrifuga, e quando questa è divenuta eguale alla forza di gravitazione, si sono formati degli anelli, che sono rimasti liberamente sospesi intorno alla massa centrale. La velocità aumentando sempre, quegli anelli si sono rotti, e i diversi frammenti, obbedendo individualmente alle leggi dell'attrazione, hanno formato, alla loro volta, nuove masse isolate le une dalle altre, e che son divenute centri di azione simili al centro principale. Queste masse hanno potuto, alla loro volta, circondarsi di anelli di second'ordine,

alcuni dei quali hanno persistito fino ai nostri giorni, mentre gli altri, rompendosi, hanno formato dei satelliti.

Questa teoria proposta da Kant, Herschel e Laplace è stata confermata dalle ingegnose esperienze del Signor Plateau. Una massa d'olio, ove sia in sospensione in un liquido della medesima densità, formato di un miscuglio di acqua e di alcool, la si vede prendere spontaneamente la forma specifica, che tende a darle l'attrazione molecolare. Se si fa girare attorno al suo diametro con una velocità crescente, si vede la sfera da prima schiacciarsi, poi giunge un momento in cui staccasi un anello simile a quello di Saturno, e finalmente, crescendo sempre la velocità, viene un momento, in cui l'anello si rompe, e formansi delle piccole sfere, che girano sopra se stesse, girando attorno massa principale. La materia che componeva la nebulosa primitiva, doveva essere in uno stato di rarefazione molto più considerevole di quello che noi otteniamo con le migliori macchine pneumatiche: essa si è enormemente contratta e condensata, lasciando a differenti distanze pianeti e satelliti, e il Sole è il residuo ancora incandescente e gaseiforme di quella massa primitiva.

Nel mondo siderale troviamo vestigia di questa formazione: nel mondo planetario, vi sono gli anelli che circondano Saturno, e nel mondo stellare, le nebulose spirali e le nebulose anulari. Queste masse sono composte di una materia ancora gassosa, e sembrano costituire dei mondi in formazione.

È impossibile precisare attualmente le circostanze che hanno determinato la formazione di ogni pianeta; ma la legge che regola le loro distanze, sembra imprimere a tutto intero il sistema l'impronta di una formazione graduale, in cui quegli astri hanno dovuto ciascuno alla sua volta staccarsi dalla massa centrale.

Kepler fu il primo che scoprì una certa regolarità nella distribuzione dei pianeti. Vi era però un'anomalia nella distanza che separa Marte e Giove, e perciò, basandosi su questa sola osservazione, egli osò annunziare che si scoprirebbe, in seguito, in quella regione, un astro fino allora sconosciuto. Occorsero quasi due secoli perché il fatto gli desse ragione, e noi sappiamo adesso che invece di un solo pianeta, che Kepler aveva in vista, ve ne sono un centinaio. Il 108° è stato scoperto il 29 aprile 1869. Pure tutti quegli astri tengono semplicemente il posto di un solo pianeta, la cui massa, secondo i calcoli del Sig. Le Verrier, è, al più, uguale al terzo di quella della

Terra. Una divisione siffatta ci mostra che all'epoca in cui si son formati i piccoli pianeti, ha dovuto esservi una gran perturbazione nella massa solare.

Dopo Kepler, Tizio trovò una legge più esatta per esprimere le relazioni che esistono fra le distanze dei pianeti dal Sole.

Se noi chiamiamo  $n$  il numero di ordine del pianeta osservato, incominciando da Venere, la legge di Tizio è contenuta nella formula seguente.  $D=4 \times 3 \times 2^{n-1}$

Riproduciamo qui un prospetto comparativo delle distanze vere, dedotte dall'osservazione, e delle distanze approssimative, calcolate secondo la formula precedente.

Il lettore potrà valutare l'accordo mirabile che esiste fra le due serie di numeri.

Tab. XVI

PIANETI	DISTANZE VERE	DISTANZE APPROSSIMATIVE secondo la Legge di Tizio
Mercurio . . . . .	3,871	4
Venere . . . . .	7,233	7
La Terra . . . . .	10,000	10
Marte . . . . .	15,237	15
Piccoli pianeti . . . . .	22,0 — 31,6	28
Giove . . . . .	52,028	52
Saturno . . . . .	95,388	95
Urano . . . . .	191,826	196
Nettuno . . . . .	300,369	338

Il Sig. Hinrichs, combinando le leggi di Kepler con l'ipotesi della rotazione primitiva, ha provato che la formula di Tizio è la conseguenza della condensazione progressiva della nebulosa solare, la qual condensazione ha dovuto esser regolare e proporzionale al tempo in modo che i numeri, i quali misurano le distanze dei pianeti, misurassero pure il tempo che è corso di mezzo alla loro formazione. Le differenze, del resto assai piccole, che trovansi fra i numeri calcolati secondo la teoria, e quelli che si deducono dall'osservazione, possono facilmente spiegarsi colla resistenza dell'etere, o con le influenze perturbatrici, che i pianeti hanno dovuto esercitare gli uni sugli altri, dopo la loro formazione. La resistenza

dell'etere deve essere stata più sensibile sui pianeti più antichi: in essi infatti si notano le più grandi differenze. Le distanze dei satelliti, nei sistemi secondari, sono egualmente soggette ad una legge consimile; ma qui pure le differenze sono più considerevoli per i pianeti più antichi.

Il Sig. Hinrichs adotta una conclusione molto importante, cioè che la legge della condensazione si trova collegata alla terza legge di Kepler. La terza legge di Kepler è anch'essa una conseguenza della gravitazione universale, che agisce in ragione diretta delle masse in ragione inversa del quadrato delle distanze.

Questo gran principio, dovuto al genio di Newton, è in realtà un riassunto delle tre leggi di Kepler, di cui ricordiamo qui l'enunciato: 1° le aree descritte dai raggi vettori sono proporzionate al tempo; 2° le orbite sono ellissi, di cui il Sole occupa uno dei fuochi; 3° i quadrati delle durate di rivoluzioni stanno fra loro come i cubi dei grandi assi. Come dunque si vede, la legge della formazione del sistema planetario sarebbe una semplice conseguenza della gravitazione universale.

Giova esaminare, con alcuni particolari, le principali circostanze di questa gran formazione. Abbiamo già detto che l'esistenza dei piccoli pianeti sembra corrispondere ad un periodo di perturbazione. Questa ipotesi pare confermata da un certo numero di fatti, che servirebbe a spiegare;

1° Tutti i pianeti esteriori a quella zona hanno una densità debolissima, inferiore generalmente a quella dell'acqua: gli altri invece hanno un peso specifico 5 volte più grande di quello dell'acqua.

2° Lo spazio occupato dai piccoli pianeti è più grande di quello che separa la Terra dal Sole. Alcuni di essi si avvicinano talmente all'orbita di Marte, che questo pianeta sembra, per così dire, far seguito alla serie degli asteroidi, cosicché la sua formazione sarebbe stata influenzata da questa gran causa di discontinuità.

3° Tutti i pianeti esteriori hanno un numeroso corteggio di satelliti: Giove ne ha quattro, Saturno otto, Urano quattro, Nettuno ne possiede uno almeno: fra i pianeti più vicini al Sole, la Terra soltanto possiede un satellite.

4° Le masse de' pianeti esteriori sono incomparabilmente più grandi; la più piccola è essa sola più considerevole di tutti i pianeti interiori

riuniti. Questo fatto è dovuto, almeno in parte, all'immensa estensione in cui era primitivamente repartita la massa che compone quei pianeti.

5° È stato scoperto un fatto importantissimo, studiando collo spettroscopio la luce riflessa dalle loro atmosfere.

I pianeti esteriori mostrano tutti per la luce solare una forza considerevole di assorbimento elettivo. Giove presenta nel rosso una fascia nera, che non troviamo nelle nostre righe atmosferiche. Saturno possiede la stessa fascia, ma anche più cupa. Lo spettro d'Urano ha due righe speciali fortissime nel verde e nel turchino, e il giallo vi fa completamente difetto.

Lo spettro di Nettuno è ancora più singolare. Esso presenta tre fasce nere principali, la prima fra il giallo e il verde, ad egual distanza dalle righe *D* e *b* del Sole; la seconda coincide con la riga *b*, la terza situata nel turchino. Il giallo è assai brillante, ma il rosso fa completamente difetto; il verde è molto abbondante, ciò che spiega il color verde che presenta questo pianeta.

Questi pianeti sono dunque circondati di atmosfere densissime ed estesissime. L'esistenza di queste atmosfere si manifesta anche con fasce, da cui sono solcate parallelamente all'equatore. Giove presenta nel suo aspetto variazioni grandissime, e fenomeni che sembrano avere molta analogia colle nostre nubi e coi nostri uragani. Al contrario i pianeti interni hanno atmosfere sottili in paragone e trasparenti, ciò che permette distinguere il rilievo che presenta la loro superficie. Le variazioni che esse offrono sono senza dubbio dovute a delle nubi; ma non vi si riconoscono che sostanze analoghe, per la loro forza assorbente, a quelle del nostro globo terrestre. Non si va dunque troppo al di là ciò che i fatti sembrano indicare, supponendo i pianeti in uno stato molto vicino al nebuloso.

6° I pianeti esteriori hanno una velocità di rotazione che è, in media, due volte e mezzo più considerevole di quella de' pianeti interiori. Una differenza così grande e che non presenta alcuna transazione, non può essere opera del caso.

Il Sig. Kirkwood ha cercato una legge empirica, che ricollegasse insieme la massa dei pianeti, la durata della loro rotazione e quella della loro rivoluzione, ed è giunto al risultato seguente. Considerando un pianeta qualunque, supponiamolo in congiunzione col pianeta inferiore più vicino, determiniamo col calcolo il punto in cui questi due astri esercitano attrazioni uguali, e chiamiamo *r* la

distanza da questo punto al pianeta osservato. Facciamo lo stesso calcolo relativamente al pianeta esteriore e chiamiamo  $r'$  la distanza dal nuovo punto di attrazione eguale. Poniamo  $r \times r' = D$ . Vi saranno così, per i differenti pianeti, delle quantità  $D, D', D''$  ecc., precise e determinate. Chiamiamo il numero di rivoluzioni siderali, che il pianeta osservato compie attorno al suo asse, mentre eseguisce una rivoluzione siderale intorno al Sole. Si trova secondo Kirkwood,  $n^2:n'^2::D^3:D'^3$  :ovvero  $n=n' (D/D')^{3/2}$ ; relazione simile a quella della terza legge di Kepler, che ricollega le distanze colle durate delle rivoluzioni. Questa relazione suppone che esista un pianeta unico fra Marte e Giove, attribuendogli una massa quasi uguale a quella che resulta dai calcoli del Sig. Le Verrier. L'astronomo americano S. Ch. Walker ha mostrato che questa relazione è una conseguenza dell'ipotesi nebulare. Essa dipende da elementi così poco certi che non si può, fino ad ora, riguardarla come una legge della Natura, e tuttavia costituisce un fatto notevole, il quale mostra sempre più che tutte le masse, che compongono il sistema solare, hanno un'origine comune.

Questa comunanza di origine è del resto accertata da un gran numero di fatti. Contentiamoci di citare i più notevoli.

7° A. In tutti i pianeti e in tutti i satelliti, il movimento di traslazione e quello di rotazione hanno luogo nello stesso senso, che è quello della rotazione del Sole. Questa direzione non può che quella del movimento della nebulosa primitiva.

B. I pianeti descrivono delle orbite pochissimo inclinate le une sulle altre, tanto che si può dire che son quasi comprese in un medesimo piano. Le sole eccezioni si trovano pei piccoli pianeti fra Marte e Giove, cioè nella regione precisa della grande perturbazione.

C. Le orbite dei principali pianeti sono pochissimo allungate. Alcuni asteroidi fanno eccezione a questa legge; ma la loro massa è sì piccola che si può non tenerne conto.

D. La massa centrale è preponderante, e sorpassa di molto quelle di tutti i satelliti. Queste differenti circostanze non sono accidentali, perché da esse dipende la stabilità di tutto il sistema.

E. Le orbite sono pochissimo inclinate su questo piano fondamentale del sistema solare, scoperto da Laplace, che si chiama il *piano invariabile*, perché resta costantemente lo stesso, malgrado le perturbazioni che resultano dalle azioni reciproche. Questo piano non può essere che quello della rotazione primitiva della nebulosa solare.

Questa ipotesi ci spiega dunque una quantità di circostanze che sono intimamente legate insieme, e che non si potrebbero spiegare altrimenti. La teoria di Newton ricollega fra loro i fenomeni principali del sistema solare, e li riduce al solo principio della gravitazione.

Al modo stesso, l'ipotesi nebulare ci spiega l'impulsione tangenziale e le circostanze fisiche di second'ordine, che scorgiamo nell'insieme del sistema.

Per meglio conoscere il meccanismo dal sistema planetario, dovremmo sapere quali sono l'origine intima della forza che spinga i corpi gli uni verso gli altri, e che si chiama attrazione o *gravitazione*; perché la caduta dei corpi gravi alla superficie della Terra non è che un caso particolare di questa forza, ma noi non possiamo dir nulla di certo a questo riguardo. I matematici e gli astronomi ammettono questa gravitazione come un fatto primitivo, capace di spiegare i movimenti dei corpi celesti, e le applicano le formule della meccanica, senza preoccuparsi della sua origine.

I fisici fanno egualmente, e non pensano che lo stato delle nostre cognizioni ci permette di andare più lontano.

Tuttavia l'opinione più probabile, quella che tende a diffondersi ogni giorno più, attribuisce i fenomeni di attrazione all'etere, il fluido universale che riempie il Mondo intiero, e concorre, con la materia ponderabile, alla costituzione di tutti i corpi. Ma in che consiste l'azione dell'etere? Non si è punto d'accordo su questo argomento. Certo che deve esservi fra il Sole e i pianeti un mezzo di comunicazione di forza e di trasmissione di movimento; e siccome l'esistenza del mezzo etereo è perfettamente provata dai fenomeni luminosi, non appare necessario immaginare un altro intermediario per la trasmissione dei movimenti.

Da un altro lato, le esperienze relative all'elettricità mostrano che tutti i cangiamenti d'intensità in quel fluido rendono i corpi, che lo contengono, capaci di esercitare delle attrazioni. Si sarebbe quindi portati a credere che anche la gravitazione fosse dovuta a una simile differenza di densità nel mezzo etereo che circonda il Sole, o qualsivoglia altra massa ponderabile. Noi non facciamo qui che indicare queste congetture, che abbiamo esposte altrove.<sup>19</sup> Del resto l'azione di quel mezzo si presenterà ben presto a noi, come

---

<sup>19</sup> Vedasi *l'Unité des forces physiques*, Paris, 1869, chez Savy.

produttore dei fenomeni di un ordine diverso dall'attrazione. Perciò noi dobbiamo riguardarlo come uno degli agenti più importanti della creazione.

Passeremo adesso rapidamente in rivista i corpi che compongono il corteggio del Sole.

## § II. — *I Pianeti.*

Abbiamo già parlato delle relazioni che esistono fra le distanze de' pianeti; ci contenteremo d'indicare qui per ciascuna di esse, i particolari più importanti della loro costituzione fisica, in ciò che può farci luce sul loro modo di formazione.

**MERCURIO.** — Questo pianeta è il più vicino al Sole e il più piccolo di quelli anticamente conosciuti. Esso ha la più gran densità (6,84, prendendo per unità quella dell'acqua). Presenta macchie sensibilissime specialmente presso l'orlo inferiore della curva a mezza luna, in cui la luce è più debole, e ciò prova che è circondato da una atmosfera la quale sembra anche più densa di quella dei pianeti vicini. Vi si trovano variazioni assai considerevoli, dovute, senza dubbio, a delle nubi. Questo pianeta è difficile ad osservarsi.

La durata della rotazione di Mercurio è di 24h 5m 28s. L'intensità della irradiazione solare vi è 6, 69 volte più forte che sulla Terra, ma l'eccentricità della sua orbita deve produrre, alla sua superficie, grandi variazioni di temperatura. Siccome è quasi sempre sommerso nei raggi del Sole, così non è stato possibile esaminarlo collo spettroscopio che presso l'orizzonte, posizione sfavorevolissima, e non si è potuto accertare nulla di particolare nella sua atmosfera. La durata della sua rivoluzione è quasi uguale a 88g (87,97). La sua massa è 0,05, prendendo per unità quella della Terra.

**VENERE** — Questo pianeta trovasi in condizioni più analoghe a quelle della Terra: il suo volume è quasi lo stesso, la sua massa 0,87, la sua densità 5,10: l'intensità della irradiazione solare vi è doppia di quella che subisce la Terra. Però, essendo l'asse di rotazione, secondo il P. De Vico, inclinato di 53° 12' sul piano dell'orbita, l'arco diurno vi deve essere variabilissimo, e per conseguenza i climi debbono presentare degli estremi molto più definiti che da noi.

L'anno di Venere è di 224g,7 e il tempo della sua rotazione di 24h 21m 21s,9. L'atmosfera di questo pianeta è così grande da produrre

un crepuscolo sensibilissimo, e noi stessi abbiamo potuto accertare che la parte rischiarata da questo crepuscolo corrisponde a un arco di 18 gradi. Ecco in quali condizioni abbiamo potuto notarlo. Il pianeta trovavasi in congiunzione inferiore, e per conseguenza la sua curva a mezza luna era ridotta a un filo tenuissimo. Malgrado la finezza delle punte, abbiamo potuto riconoscere che quella curva abbracciava più di una mezza circonferenza, e che da una parte dall'altra oltrepassava, di 18 gradi, l'estensione che avrebbe dovuto presentare, senza il fenomeno del crepuscolo. Talvolta si è creduto pure vedere il disco illuminato in tutta la sua estensione, e si sono notati altri splendori che potrebbero esser prodotti da aurore boreali.

Lo spettroscopio ci fa conoscere che l'atmosfera di Venere ha una composizione analoga quella della Terra; essa contiene in particolare del vapore acqueo; che produce delle nubi, ed infatti, Oltre le macchie fisse, se ne vedono anche altre, che sono assai variabili.

LA TERRA. — Diciamo qui qualche parola della Terra considerata come corpo celeste. La sua densità è uguale a 5,5. Il suo raggio equatoriale è di 6377 Chilometri 398. Vista dal Sole, essa sottende un angolo di 17",8; il suo diametro apparente è dunque, a questa distanza, uguale a quello che ci offre Venere alla sua distanza media. Per uno spettatore situato fuori di essa, presenterebbe macchie costanti e zone variabili, le prime dovute ai mari e ai continenti, le seconde alle nubi. Vi sarebbero due zone oscure, situate da una parte e dall'altra dell'equatore, e formate dalle regioni serene e trasparenti dei venti alisei: al di là si troverebbero delle zone brillanti più o meno interrotte, corrispondenti alle regioni piovose dei tropici. In vicinanza dei poli, il suo aspetto sarebbe variabilissimo secondo le stagioni.

I fenomeni geologici e vulcanici ci provano che l'interno della Terra è a una temperatura elevatissima, resto del suo calore primitivo. Questa temperatura è tale che, secondo le valutazioni più moderate, a una profondità di alcune centinaia di chilometri, tutte le sostanze debbono essere in fusione. La sua superficie è composta di materie solide, aventi un peso specifico meno considerevole: le più pesanti si trovano a una più grande profondità, e spesso nelle mine le troviamo in uno stato comprovante che sono state volatilizzate. Sotto questo rapporto, abbiamo qualche cosa di analogo con la disposizione delle sostanze che compongono il Sole. Del resto, la densità media del globo è molto più grande di quella dei materiali che compongono la

sua crosta, e bisogna quindi che l'interno contenga sostanze di una densità più considerevole.

**MARTE.** — Questo pianeta possiede pure un'atmosfera, ma tanto debole che permette di vedere i continenti anche molto meglio che su Venere. Presso i poli, si vedono delle macchie bianche, che vanno crescendo e decrescendo, secondo le stagioni; ciò che prova che sono delle masse di neve o di nubi. Nella stagione d'inverno, queste macchie prendono un grande sviluppo; ma in estate, si riducono ad una callotta poco estesa. Le macchie più lontane dai poli ci offrono un doppio colore, rosso e turchino, sparso qualche volta di giallo e di bianco. Le macchie turchine presentando tinte più cupe, corrispondono ai mari, il rosso ai continenti, il giallo alle nubi; non essendo questo giallo che il risultato del contrasto dovuto alla sovrapposizione del bianco e di altri colori. Una parte del rosso è dovuta del pari a effetti di contrasto, ma questo colore deve anche dipendere dai materiali che compongono la superficie del pianeta. In quelle vaste estensioni si vedono apparire talvolta delle macchie bianche, che sono nubi. Talvolta pure si vedono dei vortici ben ravvolti in spirali, e sono senza dubbio burrasche. La rivoluzione è di 1 a 321g,7; la rotazione avviene in 24h 37m 23s. Essendo l'anno più lungo che sulla Terra, l'asse più inclinato sul piano dell'orbita ( $30^{\circ}18'$ ), l'eccentricità più considerevole, le stagioni debbono offrire differenze molto più marcate. La irradiazione solare vi è 0,43 di quella che abbiamo noi; la massa totale è 0,13 di quella della Terra.

**PICCOLI PIANETI.** — Noi sappiamo ancora ben poco sulla costituzione fisica di questi asteroidi. Il loro volume è piccolissimo, e non ve ne ha neppure un solo che sia grosso quanto la Luna. A giudicarne dal loro splendore, i più considerevoli debbono avere dimensioni che permettono di paragonarli alla Sicilia; ma quelli scoperti più recentemente sono così piccoli che sembrano servire di transazione fra i pianeti e gli aereoliti. Le loro masse sono pure tenuissime. Essi sono così numerosi, e le loro orbite s'incrociano in tanti punti, che uno scontro non sarebbe impossibile, come l'ha benissimo dimostrato il Sig. Littrow di Vienna. L'urto li spezzerebbe immancabilmente, e potrebbe produrre degli aereoliti. Abbiamo già detto che le loro masse riunite non formano il terzo della massa terrestre.

**GIOVE.** — È il più grande di tutti i pianeti. La sua massa è 1/1030 di quella del Sole, o 334 volte quella della Terra, ed è 3 volte più

considerevole di quella di tutti gli altri pianeti riuniti. È quindi incontrastabile che ha dovuto esercitare un'influenza assai grande sulla formazione dei pianeti più vicini, e in special modo su quella dei piccoli pianeti. Giove è circondato da un magnifico corteggio di 4 satelliti, il più piccolo dei quali sorpassa di molto la Luna, e il più grosso presenta dimensioni che permettono di paragonarlo a Marte.

Il volume di Giove è 1500 volte più considerevole di quello della Terra, ma la sua densità è molto più debole; essa uguale a 1,29, minore di quella del Sole e appena più grande di quella dell'acqua. La gravità alla sua superficie è 2 volte e mezzo più considerevole che alla superficie della Terra, e deve risultarne una pressione considerevolissima, la quale circostanza, congiunta alla densità già ricordata, non permette di credere che questo pianeta sia allo stato solido.

D'altra parte il suo aspetto annunzia grandissime agitazioni, e le zone che vi si osservano, son lungi dall'offrire un sistema semplice e stabile. Noi abbiamo già parlato delle loro variazioni nel paragrafo precedente.

Il 10 ottobre 1856, si vedeva in questo pianeta una gran macchia nera, che non era l'ombra di un satellite, e che doveva essere un'apertura fatta in uno strato di nubi, senza dubbio da un uragano. Le zone di Giove possono subire profonde modificazioni in un tempo cortissimo, ed essendo l'asse di rotazione pochissimo inclinato sul piano dell'orbita, quelle modificazioni non possono attribuirsi al Sole, perché le stagioni vi debbono essere poco differenti. L'atmosfera densissima deve essere pure la sede di rivoluzioni analoghe a quelle che la Terra ha subite nell'epoche geologiche, e noi abbiamo già fatto osservare che la sua composizione è differente da quella dell'atmosfera terrestre. L'anno di Giove dura 11a 314g e .834; la sua rotazione dura 9h 55m 26s5. Questa rotazione sì rapida in un corpo tanto voluminoso, sviluppa una forza centrifuga considerevolissima, donde uno schiacciamento grandissimo e facilissimo ad accertarsi.

**SATURNO.** — Questo pianeta è il più grande dopo Giove. La sua massa è 1/3510 di quella del Sole, 102 volte quella della Terra. Il suo volume è proporzionalmente grandissimo, perché la sua densità è soltanto eguale a 0,73, per la qual cosa gli si può applicare, a più forte ragione, quanto abbiamo detto dello stato nebuloso di Giove. Confermano in questa opinione le fasce numerose, che presenta la

sua superficie, e le zone di assorbimento che presenta il suo spettro, e che sono anche più forti di quelle di Giove. I suoi poli hanno un colore che si avvicina al turchino; mentre l'equatore è di un bianco splendidissimo.

Saturno possiede il più bel corteggio che esista nel nostro sistema solare. Oltre 8 satelliti, il più grosso dei quali è comparabile al pianeta Marte, esso è circondato da quel meraviglioso anello, che sussiste là come a fare testimonianza dell'origine di tutto il sistema solare, e a confermare l'esattezza delle ipotesi che abbiamo esposte precedentemente. Quell'anello è sottilissimo in proporzione alla sua larghezza. Si compone in realtà di 3 anelli distinti e separati: quello più infuori è un po' scuro, l'altro è più brillante, il terzo è tutto nebuloso e trasparente. I contorni dell'ombra del pianeta sopra l'anello ci provano che le superficie di quegli anelli sono curve, e che le loro generatrici sono ellissi. Vi si vedono delle grandi differenze d'intensità luminosa, che indicano irregolarità notevolissime nella densità e nella composizione delle differenti parti.

L'anno di Saturno 29a 166g .97. E siccome l'anello è inclinato sulla nostra eclittica di  $28^{\circ} 10' 44''$ , la Terra si trova, ogni 15 anni, nel suo piano, al momento in cui esso passa a suoi nodi, che son situati a  $166^{\circ} 53'$  e  $346^{\circ} e 53'$  di longitudine. Allora l'anello non è visibile che di taglio, e lo si scorge come un tenue filetto slegatissimo, che oltrepassa il pianeta da parte all'altra.

L'equatore del pianeta coincide coll'anello, ed è inclinato di  $26^{\circ} 48' 40''$  sul piano dell'orbita. Il calore del Sole vi è solamente uguale agli 0,011 di quello che noi riceviamo. Visto dal pianeta, l'anello presenta fenomeni singolari, e produce occultazioni diurne del Sole variabilissime secondo le latitudini; ma tranne alcune zone poco estese, non produce eclisse permanente. Forse non è completamente opaco, e la sua costituzione potrebbe paragonarsi a quella delle nostre nubi. Abbiamo accertato che è leggermente ellittico, e che fa la sua rivoluzione in 14h e 12m circa: il tempo necessario, secondo la teoria, per la rivoluzione di un satellite, la cui distanza dal pianeta fosse uguale alla distanza media dell'anello. Quanto al pianeta, la sua rivoluzione si fa in 10h 20m 17s.

I satelliti, in numero di 8, sono tutti fuori dell'anello. I più vicini sono piccolissimi, i più grandi son più lontani. Per maggiori particolari vedasi la nostra opera intitolata: *Prospetto fisico del Sistema solare*.

URANO.— Sappiamo molto poco di questo pianeta. Come tutti i

planeti esterni agli asteroidi, esso ha una densità tenuissima (0,82), e la sua atmosfera ha una considerevolissima forza assorbente. Abbiamo studiato il suo spettro, e l'abbiamo trovato differentissimo da quello del Sole, e molto analogo a quello delle comete. La figura 39 rappresenta l'intensità della luce nelle sue differenti parti. Il giallo vi fa completamente difetto, nel verde e nel turchino vi sono due righe larghissime e nerissime, che non trovansi nello spettro solare, e si sarebbe quindi tentati a credere è poco luminoso di per se stesso.



Fig. XXXIX

La massa d'Urano è soltanto uguale a 22 volte quella della Terra. Questo pianeta possiede 4 satelliti, la cui esistenza è bene accertata. Il piano della loro orbita è inclinatissimo su quello del pianeta. Ignoriamo la durata della sua rotazione, e non conosciamo neppure la direzione del suo asse. La sua rivoluzione è di 84a 5g .83.

NETTUNO. — Questo pianeta è celebre, perché la sua scoperta stata un vero trionfo per il principio della gravitazione. Il suo diametro è 6 volte più grande di quello della Terra. La sua densità non è ben conosciuta, ma è debolissima, e suo volume è più considerevole di quello d'Urano. Il suo colore verde, analogo a quello dell'acqua di mare, mostra che la sua atmosfera esercita un forte assorbimento sui raggi solari, il qual fatto è confermato dalle osservazioni fatte collo spettroscopio.

Il vivo splendore di cui brilla questo pianeta, malgrado l'enorme distanza dal Sole, potrebbe anche far credere che fosse un poco luminoso. Noi non abbiamo mai veduto il suo contorno ben nettamente terminato, ciò che concorderebbe perfettamente coll'ipotesi di uno stato nebuloso. La sua massa è 1/15000 di quella del Sole. Possiede un satellite, che fa la sua rivoluzione in 5g 877, e il cui movimento è retrogrado. Non conosciamo la durata della sua rotazione: la sua rivoluzione si completa in 164a 225g 7.

Tali sono i principali corpi celesti, che fanno parte del sistema solare; sono i soli che conosciamo, ma non potremmo affermare che non ne esistano altri, È stata sospettata l'esistenza di un pianeta, la cui orbita

sarebbe inferiore a quella di Mercurio; si è fatto anche un gran chiasso di una osservazione dovuta al Sig. Lescarbaut, ma che niente ha confermato, quantunque a più riprese siano stati veduti, sul disco del Sole; dei punti neri animati da un movimento assai rapido.

Sono state fatte molte ricerche a questo riguardo, specialmente durante l'eclisse del 1869, ma non si è giunti ad alcun risultato. Se vi ha qualche altro pianeta al di là di Nettuno, la sua esistenza potrà esserci rivelata dalle perturbazioni che deve esercitare. Si potrà scoprirla con un'osservazione attenta delle piccole stelle, ma questa scoperta domanderà molto tempo, perché dovendo il suo movimento essere lentissimo, verrà confusa per lungo tempo colle stelle fisse, come accaduto per Nettuno.

SATELLITI. — Fra questi corpi di terzo ordine del nostro sistema, non conosciamo bene che quello che accompagna la Terra, cioè la Luna. Gli accidenti della sua superficie sono ben conosciuti, e noi ci arresteremo a farne la descrizione. La forma dei crateri che sono sparsi sulla sua superficie, prova in modo evidente che, un tempo, l'azione espansiva delle masse incandescenti, che essa conteneva nel suo seno, vi ha prodotto grandi convulsioni. Ignoriamo se questa attività dura ancora, perché non vi è prova certa di cangiamento nella forma dei suoi crateri, né alcun altro segno di esplosione, o di eruzione. Attualmente il nostro satellite è privo di ogni atmosfera sensibile, e non vi è acqua allo stato liquido sulla sua superficie; ma non si può assicurare che sia stato sempre così. Si vedono corrosioni manifeste in certi crateri vicini alle pianure che designansi col nome di mari. Questi mari non sono pieni di acqua liquida, e siccome son molto cupi, e polarizzano fortemente la luce, potrebbe darsi che fossero riempiti da ghiacciai.

È dunque evidente che la Luna è passata un tempo per i periodi geologici, che la Terra traversa adesso, ma siccome la sua massa è piccolissima, si è raffreddata più rapidamente. A giudicarne dalle apparenze crateriformi che essa presenta su tutta la sua superficie, all'epoca delle ultime sue rivoluzioni, essa doveva essere coperta di una crosta solida di debole spessore, facile a cedere a tutte le espansioni locali, che provenivano dall'interno, senza produrre vaste alterazioni, analoghe a quelle che, alla superficie della Terra, hanno prodotto così lunghe catene di montagne.

Di più, sulla Terra, le montagne sono ridotte, in gran parte, dalle erosioni dovute agli agenti atmosferici.

Nella Luna, questa causa manca, o la sua azione è debolissima, e per conseguenza l'aspetto deve essere differentissimo. La debole resistenza di quella crosta dipende in parte da questo, che la gravità è poco considerevole (0,16 soltanto della gravità alla superficie della Terra) e in parte dalla debole densità dei materiali che la compongono: questa densità è 3,40.

La Luna volge sempre il medesimo emisfero verso la Terra, sicché la sua rivoluzione ed il suo movimento di rotazione si eseguono nello stesso tempo. Questa particolarità mostra che il centro di gravità del nostro satellite è collocato fuori del centro di figura, ovvero che la sua figura è un ellissoide a tre assi ineguali.

L'osservazioni hanno confermato questa conclusione, ed hanno mostrato che il più grande dei tre assi è quello che è diretto verso la Terra.

Il diametro della Luna è considerevolissimo, perché eguaglia i 0,27 di quello della Terra: la sua massa è uguale a 1/77. Per tutti gli altri satelliti queste proporzioni sono molto più piccole. però la sua distanza dalla Terra è assai grande, quasi 60 raggi terrestri, e ad eccezione dell'ultimo satellite di Saturno, non vi ha esempio di una distanza così grande fra un pianeta e il suo satellite. È stato creduto che tutti i satelliti, come la Luna, volgano sempre la medesima faccia al pianeta, ma fino ad ora niente autorizza a riguardare quella legge come generale. Abbiamo potuto accertare la rotazione dei satelliti di Giove, in grazia delle macchie che si trovano alla loro superficie, e il Sig. Dawes ha confermato i risultati delle nostre osservazioni. Quantunque non possiamo stabilire esattamente la durata della loro rotazione, pure possiamo affermare che essa non è eguale alla durata della loro rivoluzione. La legge non si applica dunque certamente a Giove, ma probabilmente si verifica per alcuni dei satelliti di Saturno. Però è difficile dir nulla sulla costituzione fisica di questi astri di terzo ordine, eccetto la Luna. È stata tuttavia osservata una particolarità notevolissima, cioè che le durate de' loro movimenti sono commensurabili, specialmente per il sistema di Giove, e che ci è un rapporto assai semplice fra il numero che misura la loro rivoluzione, e quello che misura la loro rotazione; il qual rapporto, per la Luna, è il più semplice possibile, perché è eguale all'unità. Alcuni satelliti hanno velocità enormi. Il primo satellite di Saturno, per esempio percorre, in 22 ore, un'orbita quasi eguale quella che la Luna percorre in un mese.

### § III. — *Le comete.*

Le comete formano una parte importante del corteggio solare; ma provengono esse dalla medesima nebulosa, ovvero hanno un'origine estranea? Questa questione, fatta da tanto tempo, sembra adesso assai facile a risolversi. Le loro forme strane, il loro cammino, che ha luogo in tutte le direzioni, e spesso in senso contrario a quello dei pianeti, le loro orbite inclinatissime sull'eclittica, e spesso perpendicolari a questo piano fondamentale, sono altrettante prove che tendono ad assegnar loro un'origine estranea. Se dunque le studiamo è perché ci presentano delle particolarità istruttive, e possono darci la spiegazione di fenomeni importanti.

Si dividono comunemente le comete in due categorie, relativamente all'estensione delle loro orbite. Le periodiche sono quelle, la cui rivoluzione si compie nei limiti del sistema solare esse hanno tutte orbite ellittiche allungatissime. Se ne conoscono 6 o 7. La più celebre è quella di Halley, che compie la sua rivoluzione in 75 anni; le altre hanno periodi di 5 a 6 anni solamente, quella di Encke, il cui periodo è il più corto, compie la sua rivoluzione in 3 anni circa.

La seconda categoria, la più numerosa e molto, contiene le comete, le cui orbite sono paraboliche. A dir vero, non è probabile che questi astri descrivano rigorosamente delle parabole: essi tracciano, senza dubbio, delle ellissi sì allungate, o delle iperboli tanto determinate, che noi le confondiamo con delle parabole nella parte ristrettissima della loro corsa, in cui possiamo vederle. Se, entrando nella sfera di attrazione del Sole, possedessero velocità grandissime, esse dovrebbero descrivere delle iperboli, se al contrario la loro velocità fosse nulla o debolissima, dovrebbero percorrere delle parabole, o delle ellissi allungatissime. Bisogna osservare che se l'orbita di una cometa si estendesse fino a quelle regioni dello spazio, in cui l'attrazione del Sole è eguagliata da quella di qualche altra stella, per quanto vicina si possa supporre, la sua rivoluzione avrebbe almeno una durata di milione di anni. Sarebbe dunque impossibile distinguere se la sua orbita è parabolica o ellittica; tuttavia, una volta entrata nel dominio del Sole, essa potrebbe esservi trattenuta dall'azione perturbatrice dei grandi pianeti, e la loro attrazione potrebbe modificare completamente la forma, ed anche la natura della sua orbita, e abbreviare la durata della rivoluzione, facendole

descrivere un'ellisse a corto periodo. Lo ha dimostrato il Sig. Le Verrier per la cometa detta di Lexell, per quella di Vico e per molte altre.

La forma delle comete eccita, in special modo, lo stupore del popolo, e attira l'attenzione degli scienziati. La loro apparizione, spesso improvvisa, non è che un effetto della posizione della loro orbita in rapporto all'orizzonte. Esse possono, a causa della rapidità del loro movimento, passare in pochissimo tempo da un emisfero all'altro, così la cometa del 1861 apparve in Europa in modo improvviso, ma era visibile da qualche settimana nell'altro emisfero. Quella del 1842 uscì all'improvviso dai raggi del Sole, ma pochi giorni avanti, era stata veduta vicinissima questo astro,

In generale, quando una cometa apparisce dapprima in fondo allo spazio, dirigendosi verso il Sole, rassomiglia ad una debole nebulosa rotonda od ovale. Avvicinandosi al Sole, sembra ingrossare e sviluppare una parte interna più brillante, che chiamasi il *nucleo*. Questo nucleo è circondato da un'atmosfera vaporosa ordinariamente allungata e non simmetrica, il cui lato più stretto rivolto è verso il Sole. Tale è la forma definitiva delle piccole comete, ma avvicinandosi al perielio, le più grandi producono getti luminosi, che sembrano lanciarsi dal nucleo verso il Sole, si curvano quindi per formare in addietro, quasi oppostamente Sole, una traccia luminosa che chiamasi la coda della cometa.

Il massimo dello splendore si presenta qualche giorno dopo il perielio e, a partire da questo momento, l'astro diventa meno luminoso, i getti spariscono, la coda si dissipa, e la cometa riprende l'aspetto una semplice nebulosità, che presentava al principio della sua apparizione. Tale è la storia di tutte le grandi comete, quella del 1858, quella del 1861, e quella del 1862.

Arriviamo adesso a dei particolari della massima importanza, prima di tutto la densità delle comete è debolissima: anche attraverso le parti più brillanti, si possono facilmente distinguere stelle di 9a e di 10a grandezza. Il nucleo stesso non è solido, ma è composto di una massa vaporosa, poiché, nel 1861, è stato visto aumentare e diminuire con una rapidità così prodigiosa, che non potevansi quelle modificazioni spiegare in alcun modo con la variazione della distanza. La sua figura costantemente rotonda prova che era trasparente, perché nelle posizioni che essa occupava, avrebbe dovuto presentare delle fasi. Ora non è mai stato osservato

certamente nulla di simile. Le fasi, di cui parlano alcuni osservatori antichi, non sono che i getti luminosi da noi già descritti, i quali costituiscono quasi un ventaglio, che somiglia ad una mezza luna.

I getti luminosi sono più o meno irregolari; talvolta anche ricompariscono periodicamente, come è stato mostrato nel 1862. In quella cometa, un getto luminoso si formava al momento in cui il primo era sparito, e quando il secondo sembrava al termine, il primo ricompariva alla sua volta. Nel 1858 e nel 1861, vi era un gran numero di questi getti, che arrivati ad una certa altezza, formavano un alone, o un arco brillante, che prolungavasi in addietro sino alla coda. La luce di quegli astri sempre pallida e smorta, prova che non sono così densi da riflettere la luce come i pianeti.

Le ultime comete sono state esaminate collo spettroscopio, ed hanno dato uno spettro discontinuo: la loro luce riducesi in generale a alcune fasce verdi, gialle e rosse, separate da lacune. In quella di Winecke, giugno 1868, il massimo della forza illuminatrice trovavasi in tre regioni che, stando alle osservazioni nostre, coincidevano con le righe del carbonio. Come mai questa sostanza, celebre per la sua stabilità, potrebbe trovarsi allo stato di vapore nelle comete? Lo ignoriamo completamente. È stato pensato che la discontinuità dello spettro delle comete fosse un semplice fenomeno di assorbimento, e la scoperta dello spettro d' Urano ha confermato questa opinione. Noi non possiamo tuttavia ammetterla senza prove speciali.

Osservazioni positive provano che i nuclei ben potrebbero essere luminosi di per se stessi, perché la loro luce differisce da quella della capigliatura in ciò, che quest'ultima sola è polarizzata. Si può paragonare questa polarizzazione al fenomeno che ha luogo quando un fascio di raggi solari penetra in una camera oscura: allora i raggi si polarizzano, riflettendosi nelle numerose faccette dei granelli di polvere, che volteggiano in aria. Si sono quindi paragonate le comete ad ammassi di materia ponderabile, molto divisa. Il Signor Tyndall ha trovato dei gas, che ridotti ad uno stato di estrema rarefazione, riflettono la luce con una specie di fosforescenza speciale, che li rende luminosi, e fa loro emettere della luce polarizzata. Però non vi è in questo una semplice riflessione: vi sarebbe forse un fenomeno di fluorescenza?

Essendo le comete composte di una materia fluidissima, gas o polvere cosmica, non è da maravigliarsi che avvicinandosi al Sole, e ricevendo l'azione diretta dei suoi raggi che le penetrano e le

scaldano, esse si dilatino tanto più facilmente quanto più questa dilatazione non prova che una debolissima resistenza per parte della gravità. Infatti è stato calcolato che, a una piccolissima distanza dalla superficie della cometa, il nucleo esercita un'attrazione più debole di quella del Sole, sicché nell'interno stesso della capigliatura, la prima di queste due forze può trascurarsi in rapporto alla seconda. Una volta prodotta nella espansione dal calore, la massa deve dunque disperdersi nello spazio, senza che l'attrazione del nucleo sia capace di ricondurla. Vedevasi ciò nella cometa del 1868, la cui coda lasciava sfuggire delle zone luminose. Sono state anche vedute delle comete dividersi in due; quella di Biela, nel 1846, ci presentò questo fenomeno, che era stato già visto al tempo di Kepler.

Questi astri erranti non presentano dunque alcuna stabilità nella loro forma. Quanto alla loro massa, non si deve credere completamente nulla. La del 1861 aveva una massa eguale almeno a quello di 58 mc di acqua, e tutto al più equivalente a quella dell'atmosfera terrestre.

Se una massa simile venisse a cadere tutta intiera sopra a un pianeta, non mancherebbe di avere delle cattive influenze, ma visto il volume considerevole della cometa, il pianeta la traverserebbe facilmente, e la sua influenza non potrebbe mai essere grandissima. Tutto al più si vedrebbe nell'atmosfera una pioggia di polvere o di stelle cadenti.<sup>20</sup>

Gli astronomi si sono affaticati molto per tentare di spiegare la forma delle comete. È certo che quelle forme bizzarre sono, in parte, l'effetto dell'attrazione combinata col calore solare. Essendo la massa della cometa piccolissima, ne segue che ad una debolissima distanza dal nucleo, la forza dominante l'attrazione del Sole e non quella della cometa stessa. La irradiazione solare scalda la massa, la dilata e porta le molecole al di fuori della sfera d'attrazione del nucleo, ed allora esse diventano quasi masse distinte e senza legame fra loro, dovendo seguire la loro strada indipendentemente dall'astro, di cui testè facevano parte. Ora il calcolo c'insegna che le particelle, sono spinte dalla dilatazione verso la parte esterna, trasformano in questo caso la loro orbita parabolica in una orbita iperbolica, poco differente dalla precedente. Quelle che sono spinte verso il Sole, la trasformano in un'ellisse; e la massa si troverà così dispersa

---

<sup>20</sup> Noi scrivevamo queste parole nel 1861, ed eravamo lungi dal supporre che dovessero esser sì presto giustificate, come lo sono state dalla scoperta del Sig. Schiaparelli, della quale parleremo quanto prima.

all'interno molto più che all'esterno, e per conseguenza l'una delle due porzioni potrà rimaner visibile, mentre l'altra potrà sparire, anche in ragione del suo diffondersi.

Ciò non ostante, questa teoria non spiega certe emissioni violente, né il rovesciamento dei getti luminosi, che sono stati osservati nell'ultime comete. Sembrerebbe che il Sole agisse, in questa circostanza, in una maniera sconosciuta.

Pare che esso eserciti un'azione repulsiva, di cui è difficile render conto, ma che non è senza esempio nella Natura. Se il Sole agisce come le calamite, esso può con un'azione diamagnetica, respingere molte sostanze. È così che la fiamma di una candela e l'idrogeno puro sono respinte nella sfera magnetica di una forte calamita.

È stata pure invocata la presenza dell'etere, che potrebbe infatti agire, in una maniera a noi sconosciuta su questa massa riscaldata e ridotta ad uno stato di divisione estrema, e noi siamo ben lungi dal conoscere l'influenza di questo mezzo nell'Universo.

La conclusione generale di tutte queste osservazioni è che le comete sono molto probabilmente semplici masse di una materia nebulosa, estranea a quella che ha costituito il nostro sistema, e che, una volta entrate nei limiti dell'attrazione solare, vi sono ritenute dall'azione perturbatrice dei pianeti, finché l'azione diffusiva del calore solare non le abbia a poco a poco disperse nello spazio.

Questa teoria riceverà una conferma sorprendente da ciò che siamo per dire sul fenomeno delle stelle cadenti, secondo le recenti scoperte del Sig. Schiaparelli

#### **§ IV. — *Le stelle cadenti.***

1° Non vi ha un solo dei nostri lettori che non abbia veduto, in una bella serata di estate, alcuna di quelle brillanti meteore, che si accendono istantaneamente nel cielo, e sembrano staccarsi dalla volta del firmamento, per precipitarsi verso la Terra, lasciando una traccia luminosa, che presto svanisce. Questo fenomeno, benché si presenti quasi tutte le notti, prende tuttavia delle porzioni più considerevoli in alcuni giorni, il cui ritorno periodico ha richiamata fortemente l'attenzione degli scienziati.

L'epoche più rimarchevoli sono la notte del 10 agosto e la mattina del 14 novembre. Queste date fisse c'interdicono ogni teoria che procurasse di attribuire questo fenomeno ad una causa

meteorologica. L'apparizione del mese di agosto dura più giorni, ed ha il suo massimo il 10; quella di novembre non ha luogo che la mattina del 14. In questa ultima, le meteore sono così numerose che vennero paragonate a piogge di fuoco. Dal 1833 in poi, sono stati studiati i racconti degli antichi cronisti, ed è stato riconosciuto che le piogge di fuoco che hanno, in certe epoche, gettato lo spavento fra le popolazioni, altro non erano che l'apparizione delle stelle cadenti del novembre. Questa apparizione non è egualmente notevole ogni anno, ma il suo splendore varia periodicamente, ed il suo massimo ritorna quasi ogni 33 anni. Si rinnova in seguito per più anni, poi cessa di farsi notare per un lungo periodo, per quindi riprodursi più tardi, e ripassare di nuovo per il suo massimo, al termine di 33 anni. L'apparizione del mese di agosto è più costante; ma non egualmente brillante mai.

2° È stato verificato che le traiettorie delle differenti meteore divergono da uno stesso punto del Cielo, che è stato chiamato il *punto raggiante*.

Questo punto si trova fra le costellazioni di Perseo e di Cassiopea per le meteore del mese di agosto, e per quelle di novembre, nella costellazione del Leone, vicinissimo alla stella ζ. Non bisogna credere che le stelle cadenti partano, in realtà, dallo stesso punto del cielo. Ma le loro traiettorie prolungate s'incontrano tutte allo stesso punto, salvo un piccolo numero che chiamansi stelle *sporadiche*. Questa convergenza è un effetto di prospettiva: le vere traiettorie sono sensibilmente parallele; ma sembrano convergere secondo la medesima legge che ci mostra come divergenti i raggi del Sole, che passano fra le nubi.

3° È stato verificato che, anche nelle apparizioni meno notevoli e meno vi è spesso un punto del cielo, donde sembrano divergere le meteore. Il Sig. Heis, i Signori Grey e Al. Herschel ne hanno notato un numero molto grande.

Questi fenomeni sono certamente dovuti alla infiammazione di qualche materia combustibile nelle regioni superiori della nostra atmosfera. Nell'apparizione del novembre, sono state spesso notate delle piccole nubi che persistono qualche tempo dopo lo sparire delle meteore, e che sono portate dalle correnti atmosferiche. Queste masse sono leggerissime, e il calore sviluppato dalla resistenza che l'aria oppone al loro movimento, basta ad effettuare la loro combustione in un modo completo. Questo sviluppo di calore non

deve sorprendere, se si pensa alla velocità prodigiosa che esse posseggono. In una frazione di secondo, esse percorrono spazi estremamente grandi, e la loro velocità è valutata eguale a 30 u 40 chilometri per secondo.

Si sono fatte in Germania e in Inghilterra numerose osservazioni, per valutare l'altezza alla quale produconsi queste meteore.

Noi stessi abbiamo fatto osservazioni simili fra Roma e stazioni distanti 60 Chilometri e riunite da un filo telegrafico. La più grande altezza osservata è di 200 Ch., la più piccola di 50. Le più belle meteore appaiono a un'altezza compresa fra 90 e 100 chilometri, e si estinguono ad un'altezza compresa fra 30 e 50 Chilometri.

4° In tutte le apparizioni si trova un periodo giornaliero e un periodo annuale. Nel periodo giornaliero, il massimo ha luogo fra le ore 3 e le 6 del mattino.

Il periodo annuale consiste in questo, che le meteore son più numerose nella seconda parte dell'anno che nella prima. Stando ad una teoria stabilita del Sig. Schiaparelli, queste due circostanze notevoli derivano da questo, che la Terra incontra degli sciami di materia meteorica più direttamente la mattina che la sera, e più durante il secondo semestre, che nel primo.

Possiamo infatti paragonare la Terra che passa traverso uno sciame di questi corpuscoli, ad una palla di cannone che traversi uno sciame di moscerini. Essa, ne incontrerà un numero molto più grande nella parte anteriore, e lascerà dietro di sé un vuoto vero e proprio. E se la palla gira sopra a sé stessa, siccome la normale alla superficie che è diretta nel senso del movimento, varia in un modo continuo, così i punti situati in avanti, e che perciò trovansi più esposti agli urti, varieranno nel modo stesso. Il numero orario delle stelle cadenti dipenderà dunque dal punto verso il quale la Terra si dirige ad ogni istante, in rapporto alla verticale dell'osservatore: e sarà massimo quando questo punto sarà il più vicino possibile allo zenit. Tutto quello che abbiamo detto suppone una distribuzione uniforme dei corpuscoli meteorici. Quanto alle stelle sistematiche, vi sarebbe luogo d'introdurre altre considerazioni. Le osservazioni ed il calcolo confermano questa teoria però, siccome il massimo teorico ha luogo alle 6, cioè dopo il levar del Sole in estate, non può essere osservato esattamente.

Se si vedono delle stelle nella parte della Terra, che è opposta a quella in cui ha luogo il massimo, ciò avviene perché la loro velocità

è più grande di quella del globo terrestre. Era stato già segnalato questo movimento rapido delle meteore, e partendosi dai fatti osservati, il Sig. Schiaparelli ha provato che la loro velocità è circa una volta e mezzo (1,414) quella della Terra, ciò che fa loro supporre un'orbita parabolica. Ne risultano un attrito e una condensazione considerevoli, quando questi corpi penetrano nell'atmosfera: quindi elevazione di temperatura, incandescenza, volatilizzazione e combustione. Analizzata collo spettroscopio, la loro luce accusa ordinariamente la presenza del magnesio, del sodio e del ferro. Il calcolo dà loro per velocità massima 71,5 Chil. e per minimo 165 Chil. per secondo. La media di questi due numeri differisce poco dalle velocità che sono state osservate.

Le stelle cadenti sono dunque della stessa natura degli aereoliti. Questi, essendo composti di una massa più grande e più compatta, non bruciano completamente nell'aria, ma si fondono soltanto, e si vetrificano alla superficie, mentre le masse meno considerevoli delle stelle cadenti sono del tutto volatilizzate. D'altra parte, sembra accertato che la velocità delle stelle cadenti è più grande di quella degli aereoliti, ciò che determina un riscaldamento considerevole. Infatti, secondo il Signor Schiaparelli, la velocità relativa degli aereoliti è uguale alla differenza fra la loro velocità assoluta e quella della Terra, mentre, per le stelle cadenti, sarebbe la somma delle due velocità. Sono state riconosciute le stesse sostanze nelle stelle cadenti e nelle meteoriti. Uno dei più recenti conteneva del carbone, corpo la cui presenza come abbiamo detto, è stata riconosciuta nelle comete. Queste pietre meteoriche si ricollegano dunque colle stelle cadenti, ed è certo che sono masse estranee al nostro globo terrestre, e probabilmente anche al sistema planetario.

Restava a spiegarsi come e perché tali apparizioni tornino periodicamente a date fisse, come possono visibili per più anni, e subire le intermittenze che abbiamo notate.

Fino ad ora, gli astronomi attribuivano alle stelle cadenti un'origine planetaria. Si supponeva che esse formassero degli anelli che circolassero intorno al Sole su curve ellittiche quasi circolari, con una velocità comparabile a quella della Terra. Il Prof. Schiaparelli, colpito dalla loro velocità, che suppone una curva parabolica, come abbiamo fatto notare, sospetta che esse abbiano, come le comete, un'origine estranea al nostro sistema. Esponiamo brevemente la sua teoria.

Supponiamo una massa nebulosa situata al limite della sfera d'azione del nostro Sole, e che dotata d'un debole movimento relativo, cominci a risentire l'attrazione solare. Essendo il suo volume considerevolissimo, i suoi punti sono situati a distanze molto diverse. Quindi risulta che quando comincerà cadere verso il Sole, i punti inegualmente distanti acquisteranno col tempo velocità ineguali. Malgrado questo ritardo, il calcolo prova che le distanze perielie dei corpuscoli saranno pochissimo modificate, e le orbite talmente simili, che le differenti molecole si seguiranno in modo da formare una specie di catena, o di corrente che impiegherà un tempo estremamente lungo a passare intorno al Sole. Una massa, il cui diametro fosse soltanto uguale a quello del Sole, spenderebbe più secolo ad eseguire quel movimento. Quella corrente rappresenterà fisicamente e visibilmente l'orbita dei corpuscoli meteorici, come un getto di acqua la traiettoria parabolica dei proiettili.

Se, nel suo movimento di translazione, la Terra incontra quella specie di processione di piccoli corpuscoli, vi passerà a traverso, e un certo numero di essi la incontreranno, ricombinandosi la loro velocità con quella del globo terrestre. Se la catena è molto lunga, la Terra la traverserà così, ogni anno, nel medesimo punto, incontrando ad ogni passaggio corpuscoli differenti da quelli dell'anno precedente. È facile allora calcolare la posizione di questa corrente, perché il suo raggio vettore è dato dalla distanza che esiste fra la Terra e il Sole al momento dell'incontro. La longitudine della Terra alla stessa epoca dà la longitudine di uno dei nodi, e siccome l'orbita è parabolica, così se ne potranno determinare gli elementi nel modo stesso che si usa per l'orbita delle comete.

Il Sig. Schiaparelli ha fatto questi calcoli per le due correnti di agosto e di novembre, e, cosa mirabile, ha trovato che due comete conosciutissime hanno orbite che coincidono precisamente con quella catena di meteore. La prima è la grande cometa IIa del 1862, che passò al perielio il 23 agosto dello stesso anno, e la cui rivoluzione è di 132 anni. La sua orbita coincide con quella delle meteore del mese di agosto, la seconda è quella di Tempel, che comparve nel 1866, il cui periodo è di 33 anni, e che fa parte delle meteore di novembre.

Questo risultato inatteso ha gettato una gran luce sulla natura delle stesse comete. Abbiamo da ciò riconosciuto che questi astri non sono che grandi stelle cadenti, o piuttosto ammassi di meteore, derivati da

masse estranee al sistema planetario. È dunque vero, come abbiamo detto altra volta, che

una cometa incontrando la Terra, produrrebbe semplicemente l'aspetto di una pioggia di stelle cadenti.

Le correnti di materie meteoriche possono essere discontinue o abbracciare un arco limitato. Si spiegherebbero così facilmente le interruzioni che caratterizzano certe apparizioni, per esempio, quella di novembre. Una volta introdotte correnti estranee nel nostro sistema solare, potrebbero esservi ritenute dall'azione perturbatrice dei pianeti, la quale allora farebbe loro percorrere una curva chiusa, e così si spiegherebbero le apparizioni che si rinnovano ogni anno senza interruzione.

Perché uno di que' corpuscoli meteorici produca una stella cadente, non è necessario che la sua massa sia grandissima, e si calcola che un grammo di materia combustibile sia più che sufficiente. Tuttavia un gran numero di stelle cadenti debbono avere una massa considerevole, perché le loro tracce lasciano talvolta delle nubi di una grande estensione, per conseguenza la massa che costituisce una cometa sarebbe molto più considerevole. Sono state osservate delle comete a nucleo multiplo, e in questo caso, potrebbe darsi che ogni nucleo fosse capace produrre una stella cadente. Il volume delle comete è talvolta sì vasto, che la Terra, traversandolo, non farebbe che un piccolo foro nella loro massa.

La teoria di Schiaparelli spiega pure alcuni fenomeni curiosi, segnalati negl'annali della scienza, per esempio, certe traccie luminose viste durante una notte soltanto, e che sono passate da oriente a occidente come luci straordinarie somiglianti a comete, ma aventi una breve durata.

Non erano che piccole comete, o grandi stelle cadenti, che passavano vicinissime alla Terra, senza penetrare nella sua atmosfera, e per conseguenza senza infiammarvisi. (Vedansi, su queste questioni, le memorie del Signor Schiaparelli nel *Bollettino Meteorologico del Collegio Romano*, 1866.) Si potrebbe domandare se anche gli aeroliti non siano degli insieme di stelle cadenti. La costituzione di certe pietre meteoriche sembra favorevole a questa ipotesi, perché esse presentano ordinariamente una riunione di molti piccoli nuclei di metallo puro (miscuglio di ferro e di nickel) circondati d'altri materiali ossidati. Ogni granello pesa meno di un grammo, e avrebbe potuto comporre una stella cadente.

Sarebbe tuttavia difficile ammettere la stessa ipotesi per le masse meteoriche di ferro quasi puro, o di ferro ossidato, che rinchiodono nei loro poli dell'idrogeno condensato. Si vede in ciò una prova dell'alta temperatura alla quale quelle masse sono state portate, ed è probabile che abbiano fatto parte di corpi più considerevoli, e che siano, in una parola, frammenti di piccoli pianeti.

Si capisce facilmente che la stessa massa possa produrre, secondo le circostanze, una stella cadente o un aereolito.

Se il suo movimento è diretto in senso opposto a quello della Terra, la velocità relativa uguale alla somma de' due altri sarà di 70 chilometri circa, e la resistenza dell'aria produrrà un grande sviluppo di calore. Ove la stessa massa cada sulla Terra, procedendo nello stesso senso di questa, la velocità relativa sarà la differenza delle due velocità assolute, e molto più piccola, 16 chilometri al più, ed essendo il calore sviluppato meno considerevole, la combustione potrà non esser completa.

Questa opinione è confermata dalla direzione secondo la quale cadono generalmente gli aereoliti.

Oltre le due comete indicate di sopra, ne sono state trovate alcune altre, le cui orbite coincidono con correnti di meteore dagli astronomi, per esempio: la cometa di Biela, accompagna le meteore del 20 aprile. Non si aspira però a trovare una cometa per ogni apparizione di stelle cadenti. Le perturbazioni dei grandi pianeti sono considerevolissime su corpi così leggeri, e da tanti secoli che le correnti meteoriche sono entrate nel nostro sistema solare, hanno dovuto modificarne lo stato primitivo.

Qui ci troviamo dinanzi a una nuova conferma della teoria nebulare del sistema solare, e se alcuno considerasse come la gratuita ipotesi di masse sì considerevoli che possono mettere più secoli a passare presso di noi, gli risponderemmo che vi sono, nei vasti spazi del cielo, delle nebulose la cui estensione è molti milioni di volte più grande di quella del nostro intiero sistema planetario. Non vi è dunque alcuna difficoltà a ritenere che quelle masse di materia cosmica circolino intorno al Sole per un tempo estremamente lungo. Per farsi un'idea del numero delle meteore, notiamo che ogni osservatore dalla stazione che occupa, non può vedere che quelle che cadono sopra una parte limitatissima del globo. Questo spazio sarebbe rappresentato da un pezzo di una lira sopra un globo avente un metro di diametro. E tuttavia, nelle notti del 10 agosto o del 13

novembre, se ne contano più centinaia in un'ora, a ciascuna stazione.

### **§ V. — *La luce zodiacale.***

Si chiama luce zodiacale un tenue splendore, avente la forma di un ferro di lancia, che vedesi lungo lo zodiaco, quando il tempo è puro, la sera, alla fine del crepuscolo, e la mattina avanti l'aurora. Nelle regioni meridionali, questa luce s'inalza talvolta ad una grande altezza, ma raramente raggiunge lo zenit. La sua intensità e la sua estensione non sono punto costanti: sembra più viva, al tramonto, fra febbraio e marzo, e all'oriente, fra settembre e ottobre. All'equatore, si vede per tutto l'anno, e le variazioni annuali che essa subisce nella nostra latitudine, dipendono evidentemente dalla posizione dell'eclittica di fronte all'orizzonte. Molti osservatori assicurano che, anche a mezzanotte, la vedono tuttora nella parte del cielo, che è opposta al Sole, e il Signor Heis ce lo ha assicurato. Noi non siamo stati mai in condizioni favorevoli per far quell'osservazione, perché la luce della città di Roma la rende estremamente difficile.

Quella luce è dipendente dal Sole, lo precede e lo segue costantemente. Essa avvolge le orbite di Mercurio e di Venere, e avvolge pure la Terra. Se devesi prestar fede alle osservazioni, secondo le quali oltrepassa lo zenit. La sua forma non è che la figura di un'ellissoide molto schiacciata vista di taglio. Sembra che sia un'estensione molto attenuata dell'atmosfera solare, ma la sua materia deve essere in uno stato di rarefazione estrema, perché, malgrado il suo spessore di quasi 100 milioni di leghe, essa è così trasparente da lasciarci vedere delle piccolissime stelle, e non produce resistenza sensibile al movimento di Venere e di Mercurio.

Quale è la sua origine? Questo quesito è difficile a risolversi. Forse un resto dell'atmosfera solare, una continuazione di quella che nelle eclissi, dà luogo al fenomeno della corona. Ma perché non si vede mentre durano le eclissi? A questa, obbiezione si può rispondere che la luce atmosferica, avendo allora uno splendore superiore a quello della Luna piena, la luce zodiacale deve essere completamente vinta da quel contrasto. Alcuni scienziati pensano, e questa opinione sembra la più probabile, che quel fenomeno sia dovuto ad una materia meteorica, stelle cadenti e materia cometaria, che si dirige lentamente verso il Sole. Abbiamo veduto infatti che la materia delle comete si disperde lentamente nello spazio, e deve, senza dubbio,

dirigersi a poco a poco verso il centro generale di attrazione.

Noi non abbiamo ancora dati positivi che ci permettano di scegliere fra queste due ipotesi. Mairan nel secolo passato, credeva che l'atmosfera del Sole mescolandosi a quella della Terra, producesse la luce zodiacale e le aurore boreali. Ma non si può sostenere questa teoria, perché sappiamo adesso che le aurore boreali sono fenomeni elettrici. Vi sarebbe tuttavia da vedere se la luce zodiacale abbia relazioni col magnetismo terrestre, e col periodo decennale delle macchie solari. Se il Sole avesse un'azione immediata e assai considerevole su quel fenomeno, ciò costituirebbe un dato prezioso per ricollegarlo ai fenomeni magnetici, che si compiono negli spazi celesti. Però il signor Heis, al quale ha posto questo quesito, mi assicura che, fino ad ora, non è stato osservato nulla che giustifichi un tale ravvicinamento.

Ecco dunque un campo di ricerche assai vasto, e noi non ne verremo a termine che dopo lunghe e pazienti osservazioni. Questi lavori non offrono serie difficoltà, ma domandano soltanto attenzione e perseveranza.

Per chiudere questo capitolo, osserviamo che la formazione del nostro sistema solare è ricollegata allo stato attuale del Sole, che i pianeti facevano, altra volta, parte della stessa massa nebulosa, che le comete sono ospiti stranieri a questa formazione, e formano una stessa famiglia con le meteore o stelle cadenti. Tutte le parti del nostro sistema planetario avrebbero dunque origine comune, e l'intero sistema starebbe in comunicazione con i sistemi estranei per l'intermediario delle comete e delle meteore.

Avremmo molto da aggiungere su questo importante argomento, se non temessimo di uscire dal nostro compito. Contentandoci di rinviare, ancora una volta, al nostro *Prospetto del sistema solare*, e alle memorie così interessanti del signor Schiaparelli.



*PARTE TERZA*  
*I SOLI O LE STELLE*  
CAPITOLO UNICO

**§ 1. — *Rapporto del nostro Sole colle stelle.***

Il Sole che c' illumina, non è che una delle numerose stelle che popolano gli spazi celesti, e non ha niente che lo distingua da quegli astri, tranne la distanza, relativamente insignificante, che da esso ci separa. Se si trovasse trasportato alla distanza delle stelle a noi più vicine, potremmo appena distinguerlo, ad occhio nudo, come una stella di 5a o 6a grandezza. Il suo diametro sarebbe affatto insensibile, perché visto da Nettuno, esso non sottende che un diametro di 64 secondi, e le più vicine a noi, supponendo anche il loro parallasse annuo eguale a un secondo, sarebbero a una distanza eguale almeno a 206,265 volte il semi-asse maggiore orbita terrestre. Questa distanza è ancora troppo debole, perché le parallassi annuali meglio conosciute sono lungi dall'arrivare a un secondo; e tuttavia, a questa distanza, la luce impiegherebbe 3 anni e 83 giorni per giungere a noi. Essa impiega 12 anni a traversare lo spazio che ci separa dalla stella 61 del Cigno, la cui parallasse 0",34; e tuttavia, per arrivare dal Sole alla Terra, le basta un mezzo quarto d'ora (8 minuti e 15 secondi).

Questi elementi possono dare un'idea dell'immensità dello spazio siderale, e mostrare come gli astri siano a tal distanza gli uni dagli altri da rendere i differenti sistemi indipendenti nella loro azione.

La stella che si considera come più vicina a noi, non può agire in modo apprezzabile sul pianeta più lontano dal centro d'azione, cioè su Nettuno, perché essa ne è 6876 volte più lontana del Sole, e siccome l'azione varia in ragione inversa dal quadrato della distanza, così, supponendo che i due centri di attrazione abbiano masse eguali, la stella agirà su Nettuno con una forza 47,279,376 volte più debole di quella del Sole. Fino ad ora, la stella considerata come più vicina

al nostro sistema è  $\alpha$  del Centauro, stella doppia dell'emisfero australe; la parallasse sarebbe  $0",88$ ,<sup>21</sup> e la distanza 234,400 volte quella della Terra dal Sole, e 7813 volte quella di Nettuno.

Le stelle che comunemente si chiamano fisse, non sono del tutto immobili. Le osservazioni hanno provato che esse posseggono tutte dei movimenti propri, sempre piccolissimi ai nostri occhi, ma sensibilissimi per gli astronomi. Ve ne sono alcune che descrivono degli archi di alcuni secondi soltanto in un secolo, e tuttavia non occorrerebbe di più per cambiare, col tempo, l'aspetto del cielo e la forma attuale delle costellazioni.

È stata trovata, in quel movimento, una legge sistematica, che si spiega perfettamente bene, supponendo che il nostro Sole, col suo corteggio di pianeti e di satelliti, sia animato da un movimento di traslazione, che lo conduce verso un punto della costellazione di Ercole, avente per ascensione diretta  $259^{\circ}30'$ , e per declinazione nord 32 gradi circa. Questo movimento è senza dubbio curvilineo, ma c'è impossibile di costatarlo, di studiare la traiettoria che esso descrive, e di determinare il centro dove risiede la forza, a cui il movimento è dovuto.

Sembra, a prima giunta, che le grandi stelle siano distribuite a caso e senza alcuna legge sulla volta celeste. Tuttavia, un esame attento mostra assai facilmente che esse occupano una zona traversata, nel suo mezzo, da un gran cerchio, avente l'uno dei suoi poli presso la stella Fomalhaut del Pesce australe. Possiamo convincerene, disponendo un globo celeste in modo che quella stella corrisponda allo zenit. L'orizzonte passerà allora per le Iadi, per la cintura di Orione, fra Sirio e Canopo, dividerà in due la Croce del Sud, passerà presso le lucenti del Centauro e per il corpo dello Scorpione. Montando nell'emisfero boreale, al di sopra dell'eclittica, quel cerchio passerà fra le lucenti del Serpentario, traverserà la costellazione della Lira, toccando quasi Vega, poi, dopo esser passato per Cassiopea, e vicinissimo ad  $\alpha$  di Perseo, lascerà la Capra ad una piccola distanza. Esso traversa la costellazione di Ercole, vicinissimo al punto verso quale il nostro Sole è portato col suo corteggio di pianeti.

Questo gran cerchio taglia l'equatore a 4 ore e 45m d'ascensione

---

<sup>21</sup> Questo numero è dedotto dalle osservazioni di Maclear, di Mœsta e di alcuni altri astronomi.

diretta. Nella costellazione del Toro, presso Aldebaran, e nello Scorpione presso Antares, a 16h 45m. Questa zona contiene quasi tutte le stelle delle prime 4 grandezze. Non coincide con la via lattea, ma ne è vicinissima, e segue pure, per qualche tempo, la biforcazione, cioè quella bianca divergente, che si dirige verso lo Scorpione.

Quantunque sia assurdo pretendere di fissare il centro dell'Universo, pure dobbiamo cercare quali siano i rapporti che esistono fra il nostro Sole e i molti soli che brillano a sì grandi distanze. Analizzeremo dunque brevemente ciò che concerne le stelle, la loro composizione e i loro sistemi, per farci idee più chiare sulla costituzione del nostro Sole e sul posto che occupa nell'Universo. Studieremo egualmente quelle masse di materia cosmica, quelle nebulose, che sono mondi in via di formazione, e che passano adesso per le medesime fasi che il nostro Sole ha percorse altra volta.

## ***§ II. Rapporti di composizione fra i soli. Spettri stellari.***

L'analisi spettrale ci può far conoscere la composizione chimica di un corpo in due maniere, come abbiamo detto parlando del Sole: in primo luogo, per mezzo dei raggi ch'esso emette direttamente; in secondo luogo, per mezzo dell'assorbimento che produce sulle onde luminose. Si usano questi due procedimenti nello studio del cielo: il primo si applica alla maggior parte delle stelle; il secondo alle nebulose e a un piccolo numero di stelle. Entriamo in qualche particolare. Per analizzare la luce delle stelle, può usarsi lo spettroscopio indicato, per il Sole ma questo apparecchio assorbe una grandissima quantità di luce, a causa della fessura stretta e delle numerosi lenti che i raggi sono obbligati a traversare, e perciò ne abbiamo adottato un altro. Esso si compone di un prisma a visione diretta, dietro il quale è una lente cilindrica acromatica, che forma un'immagine lineare della stella.

Si guarda questa immagine con un oculare ordinario, formato da una doppia lente sferica, o meglio da una doppia lente cilindrica, il cui asse è perpendicolare al piano di dispersione. Si conserva così una grande intensità luminosa, e con un canocchiale di 25 centimetri di apertura, abbiamo ottenuto spettri sensibilissimi delle stelle di

settima e anche di ottava grandezza. Le stelle delle prime grandezze danno spettri estremamente brillanti, che permettono di disegnare con facilità le loro righe, e di misurarne la posizione con esattezza. Facciamo notare di passaggio che si può perfettamente adoperare un prisma ordinario, invece di un prisma a visione diretta.

Noi abbiamo esaminato, con un istrumento simile le stelle principali del cielo, ed anche moltissime delle piccole. Questo studio ci ha condotti a risultati interessanti, che riassumeremo nel più breve modo possibile.

Considerate dal punto di vista dello spettro che producono, le stelle si riferiscono a quattro tipi perfettamente distinti. Alcuni spettri poco numerosi invece di riferirsi nettamente a una di tali categorie, sembrano servire d'intermediari fra queste.

Il primo tipo è quello delle stelle bianche come Sirio, Vega, Altair, Regolo, Rigel, quelle della Grande Orsa ad eccezione di  $\alpha$ , quella del Serpentario, ecc. Tutte queste stelle, che chiamansi comunemente *bianche*, benché in realtà sieno leggermente turchine, offrono uno spettro che è formato dall'insieme ordinario dei 7 colori, interrotto da quattro grandi linee nere, la prima nel rosso, l'altra nel verde-azzurro, le due ultime nel violetto. Queste quattro righe appartengono all'idrogeno, e coincidono colle quattro righe più brillanti, che si distinguono nello spettro di questo gas, quando è portato a un'alta temperatura, per esempio, nei tubi di Geissler. Oltre queste righe fondamentali e larghissime, si vede nelle stelle più brillanti, come Sirio, una riga nera finissima nel giallo, che sembra coincidere con quella del sodio, e, nel verde delle righe più deboli che appartengono al magnesio e al ferro. La particolarità più sorprendente di questo tipo è la larghezza di certe righe, la quale tenderebbe a provare che lo strato assorbente possiede un grande spessore, e che è sottoposto a una pressione considerevole.

Nelle piccole stelle, la riga del rosso è difficile ad accertarsi, perché la luce fa difetto, ma in compenso la riga del turchino diviene talvolta larghissima. In realtà, come abbiamo già fatto osservare, queste stelle hanno una tinta turchina; e infatti i loro spettri contengono poco rosso e giallo. Sono il turchino ed il violetto che vi dominano.

Quasi la metà delle stelle del cielo si riferiscono a questo tipo, e perciò è facile studiarlo anche con un canocchiale molto debole.

Il secondo tipo è quello delle stelle gialle, come la Capra, Polluce,

Arturo, Aldebaran, della Grande Orsa, Procione, ecc. Lo spettro di queste stelle è perfettamente simile a quello del nostro Sole, cioè formato di righe nere finissime, serratissime, e che occupano la stessa posizione di quelle dello spettro solare. Tutte queste stelle non sono egualmente facili a studiarsi. Le righe nere sono estremamente fini nello spettro di Polluce e della Capra; sono più larghe e più facili a riconoscersi in Antares e in Aldebaran. Questa ultima stella potrebbe anche, considerarsi come destinata a servire di transazione fra il secondo e il terzo tipo, mentre Procione sarebbe intermediario fra il primo e il secondo.

Abbiamo detto che il secondo tipo presenta le righe del Sole: studiando Arturo, abbiamo accertato l'identità di trenta di esse, scelte fra le principali. Questa identità è tale che, in assenza del Sole, non esitiamo a servirci delle righe di quelle stelle, per controllare i punti di riscontro dei nostri strumenti. Le stelle del secondo tipo hanno dunque la stessa composizione del nostro Sole, e sono nello stesso stato fisico di esso. Molte sembrano dare uno spettro continuo, ma ciò dipende dalla finezza delle righe dalla difficoltà di distinguerle. Quando l'aria è calma si scorgono facilmente con buoni strumenti.

Abbiamo detto che il primo tipo contiene quasi la metà delle stelle osservate fino ad ora; due terzi di ciò che rimane, debbono porsi nella categoria delle stelle gialle, di cui abbiamo parlato.

Lo spettro del terzo tipo è molto straordinario; e si compone di un doppio sistema di fasce nebulose e di righe nere. Si può prendere come esempio quello di  $\alpha$  di Ercole. In realtà le righe nere fondamentali sono le stesse che nel secondo tipo, come si riconosce specialmente in Aldebaran e in Arturo. Ma il terzo tipo contiene inoltre un gran numero di fasce nebulose, che dividono tutto lo spettro, e ne fanno una specie di colonnato. Queste fasce di cui son variabilissime la larghezza e l'intensità formano per le stelle di questa categoria, differenze assai considerevoli. Abbiamo scelto per tipo fondamentale  $\alpha$  di Ercole, perché questa stella offre lo spettro più regolare. Possiamo anche citare  $\beta$  di Pegaso, o della Balena,  $\alpha$  di Orione, Antares, ecc. Queste stelle sono notevolissime, perché tutte variabili e di un colore che tira più o meno al rosso o all'arancio;  $\alpha$  di Orione presenta grandissime variazioni nelle sue fasce secondo il suo colore; o della Balena, questa celebre stella che stata chiamata meravigliosa, mostra vere lacune, che sono variabilissime secondo la sua grandezza.

In alcune stelle più piccole, invece di colonnati, si vedono gruppi di righe brillanti, separate da spazi oscuri. Le zone spettrali dipendono dunque dalle variazioni delle Stelle, e stesse variazioni dipendono dall'azione più o meno assorbente delle loro atmosfere. L'analisi spettrale delle differenti parti del Sole ci ha fatto conoscere che nel fondo delle macchie si ottiene uno spettro più profondamente rigato, e traversato da fasce nere, simili a quello che si vedono in  $\alpha$  di Orione. Possiamo concludere da questa osservazione che le stelle di cui parliamo, devono il loro spettro ad un assorbimento analogo a quello che si produce nelle macchie del Sole. Se dunque il nostro Sole si trovasse spogliato della sua brillante fotosfera e delle foglie, o dei granelli luminosi, che ricoprono la sua superficie, ci presenterebbe l'aspetto stesso di  $\alpha$  di Orione e delle altre stelle della medesima categoria.

Le belle stelle di questo tipo non sono numerose: le più notevoli sono in numero di 30 circa, e contando quelle di secondo ordine, ne abbiamo trovate un centinaio al più. Riproduciamo qui il catalogo delle più importanti, per guida degli amatori che volessero osservarle. Quando tutte le altre denominazioni fanno difetto, il numero di ordine è quello del Catalogo di stelle rosse del Sig. Schjellerup.

STELLE del terzo tipo	ASCENSIONE diretta	DECLINAZIONE	GRANDEZZA
	h m	°	
o Balena	2.12,6	+ 3.37'	Variabile.
α Balena	2.54,8	+ 3.52	idem
ρ Perseo	2.55,7	+ 38.15	idem
Selv 44	4.44,6	+ 14. 1	5
46	4.46,5	+ 2.15	5,5
59	5.24,1	+ 13.29	5,5
α Orione	5.47,6	+ 7.23	1 Variabile.
67	5.49,6	+ 45.55	5,6
129	9. 2,2	+ 31.32	6
nova	9.17,0	- 21.42	1
137	10.52,6	- 15.36	6
160	13.22,4	- 22.33	Variabile.
162	13.42,8	+ 16.29	4
Arturo	14. 9,1	+ 19.55	1
178	15.30,0	+ 15.34	7,5
Antares	16.20,1	- 26. 7	1
α Ercole	17. 8,3	+ 14.33	2 Variabile.
nova	18.14,6	+ 25. 2,5	6
234	19.53,3	- 27.37	7,5
254	21.39,3	- 2.51	6,5
ρ Pegaso	22.53,1	+ 27.15	2
266	23.00,0	+ 8.39	5,5
267	23.11,3	+ 48.15	
α Idra			
δ Vergine			

Tab. XVII

Importa molto notare, per questo terzo tipo, che le righe principali, che separano i colonnati, si trovano allo stesso posto in tutte le stelle. Questo è stato accertato da un gran numero di misure. Le righe più salienti son quelle del magnesio, del sodio e del ferro, che son nebulose come nelle macchie del Sole. Vi si trovano pure quelle dell'idrogeno, ma non dominano come due primi tipi. Questo gas esiste dunque certamente nelle stelle di terza categoria, avevasi torto di negarlo; ma le sue righe vi sono parzialmente invertite, come accade nello spettro delle macchie. La maggior parte delle righe

dominanti appartiene a metalli che si ritrovano nel Sole.

Lo spettro del 3° tipo sembra essere quello stesso del Sole, o piuttosto di Arturo, ma profondamente diviso da fasce nebulose. Diciamo *piuttosto di Arturo* perché queste righe sono più larghe di quelle del Sole. Se esaminiamo minutamente le linee secondarie, diremo che Arturo, per la parte verde del suo spettro si separa dal Sole e dalle stelle del secondo tipo, per avvicinarsi a quello del terzo; per la qual cosa l'abbiamo posto nel catalogo precedente. Notiamo ancora di passaggio che queste differenze sono precisamente quelle che si osservano nei nuclei. Gli spettri che studiamo attualmente, ci ricordano del tutto lo spettro macchie solari, e siamo quindi sempre più autorizzati a pensare che le stelle del terzo tipo e quelle del secondo differiscono unicamente per lo spessore delle loro atmosfere e per il difetto di continuità nelle fotosfere. Avrebbero dunque delle macchie variabili come quelle del Sole, ma di dimensioni incomparabilmente più considerevoli.

Il quarto tipo è ancora più straordinario, e ci era sfuggito a prima giunta, perché si riferisce a piccole stelle di color rosso sangue, che sono assai poco numerose. Il loro spettro contiene tre zone fondamentali, rossa, verde e turchina. Queste zone non possono ridursi a quelle del tipo precedente per la soppressione alternativa di una fascia nebulosa, perché quantunque molle linee nere coincidano assai bene, la distribuzione della luce è affatto differente.

Nel terzo tipo, la luce è più viva nelle colonne dal lato del rosso, mentre qui è più viva dal lato opposto, cioè dal lato del violetto. Questa differenza è fondamentale e sembra che uno dei due spettri sia il *negativo* dell'altro. Si notano pure talvolta delle linee brillanti nerissime. Questi spettri possono presentare grandissime differenze ne' loro particolari. Le stelle di questo tipo non sono numerose: noi ne abbiamo trovate una trentina, e diamo il catalogo delle più considerevoli. Siccome sono tutte piccolissime, così è probabile che se ne scoprirà un numero più grande, adoperando istrumenti di maggior forza.

NUMERO del Catalogo	ASCENSIONE DIRETTA	DECLINAZIONE	GRANDEZZA
	h m	°	
41	4.36,2	+ 67,54'	6 bella.
43	4.42,8	+ 28,16	8
51	4.58,1	+ 0,59	6
78	6.26,9	+ 38,33	6,5 bella.
89	7.11,5	- 11,43	7,5
124	9.44,6	- 22,22	6,5
128	10. 5,8	- 34,38	7
132	10.30,7	- 12,39	6 bella.
136	10.44,8	- 20,30	6,5
152	12.38,5	+ 46,13	6, superba.
159	13.19,3	- 11,59	7,5
163	13.47,3	+ 41, 2	7
229	19.26,5	+ 76,17	6,5
238	20. 8,6	- 21,45	6
249	21.25,8	+ 50,58	9
252	21.38,6	+ 37,13	8,5
273	23.39,2	+ 2,42	6 bella.

Tab. XVIII

Alcune delle righe nere, e le più importanti, coincidono quasi con quelle del terzo tipo, e tuttavia lo spettro, nel suo insieme, si presenta come uno spettro diretto, appartenente a un corpo gassoso, piuttosto che come uno spettro di assorbimento. Se si considera come uno spettro di assorbimento, abbiamo riconosciuto che presenta il carattere dei composti di carbonio, come si ottengono producendo una serie di scintille elettriche in un miscuglio di vapore di benzina e di aria atmosferica.

Comunque sia, con misure e studi posteriori, si potrà conoscere la vera natura di queste stelle: sino ad ora, noi non abbiamo fatto che classificarle in più tipi, secondo le differenze presentate dai raggi luminosi che ci mandano. Oltre questi quattro tipi principali, vi sono gruppi di stelle, che meritano una speciale attenzione. Tale è quello

della costellazione di Orione. Appartiene al secondo tipo per l'estrema finezza delle sue righe, ma in pari tempo è notevolissimo per l'assenza quasi completa del rosso e del giallo, sicché tutte le stelle di questa regione presentano un doppio carattere: 1° esse hanno una tinta verde pronunziatissima; 2° le righe dei loro spettri sono così fini che spesso è difficile separarle. Ai contrario, la regione della Balena e dell'Eridano racchiude un grandissimo numero di stelle gialle. Questa distribuzione non può essere l'opera del caso, e dipende, senza dubbio, dalla natura e dallo stato delle sostanze che riempiono le differenti parti dell'Universo.

Vi è un'accezione singolarissima, formata da una quinta classe di stelle pochissimo numerose, che ci danno lo spettro *diretto* dell'idrogeno. La più notevole è  $\gamma$  di Cassiopea, che possiede due linee brillanti al posto delle righe *F*, e *C*: quelle del violetto son così deboli che non si possono distinguere. Si vede pure nel giallo una riga brillante, che occupa probabilmente lo stesso posto della riga brillante delle protuberanze solari, ma queste misure sono difficilissime ad eseguirsi in modo preciso. Troviamo pure lo stesso *carattere in*  $\beta$  della Lira, stella variabile, difficilissima a studiarsi. Finalmente due stelle variabili e temporarie hanno egualmente presentato uno spettro diretto, ma discontinuo, ciò che le distingue dalle precedenti. Una di esse comparve nel 1866, nella Corona ( $\alpha=15^{\text{h}} 53^{\text{m}} 9^{\text{s}}$ ;  $\delta=+26^{\circ} 18'$ ), l'altra è *R* dei Gemelli ( $\alpha=6^{\text{h}} 58^{\text{m}} 5^{\text{s}}$ ;  $\delta=22^{\circ} 55'$ ). Queste due stelle hanno presentato lo spettro dell'idrogeno disposto in zone, misto con quello di alcune altre sostanze, fra le quali distinguevasi il magnesio. Il loro splendore era così debole, e fu così passeggero che non si poté studiarle in modo da ottenere risultati più completi. Questi spettri accusano evidentemente una combustione rapida, che ebbe luogo, senza dubbio, in un'epoca remotissima, ma che si manifesta tardivamente a noi, a causa dell'immensa distanza che la luce ha dovuto percorrere per giungere fino alla Terra.

È stato domandato se Algol appartiene allo stesso tipo delle altre stelle variabili, che sono ordinariamente colorate.

Noi l'abbiamo studiato con cura, ed abbiamo verificato che dà costantemente uno spettro del primo tipo, sicché le sue variazioni non si riferiscono a un assorbimento più o meno grande, né a macchie più o meno sviluppate, ma probabilmente a un corpo opaco che circola *attorno* ad essa, e che produce eclissi parziali. Lo

spettro delle ultime stelle ci mostra qualche analogia *con quello* delle nebulose. Le nebulose risolubili, composte di una grande quantità di stelle sovrapposte, hanno uno spettro stellare e continuo. Le nebulose propriamente dette formano due categorie: alcune, come quella d'Andromeda, hanno uno spettro continuo; ma la maggior parte non danno che un piccolo numero di linee brillanti. Tali sono le nebulose d'Orione, del Sagittario, della Lira e tutte quelle conosciute sotto il nome di *planetarie*. Lo spettro della nebulosa d'Orione si riduce a tre righe: l'una *a* (fig. 40) nel verde,

Fig. XL.



è larga e brillante, la seconda *b*, più fine, è vicinissima alla prima; la terza *c* è un po' più lontana. Paragonando queste righe a quelle dei gas, si trova che *c* corrisponde a *F* dall'idrogeno, e che *a* appartiene all'azoto. Siccome quest'ultimo gas presenta molti spettri, così abbiamo verificato che, per *ottenere* la coincidenza, bisogna illuminare il tubo di Geissler con l'elettricità a forte tensione, ciò che si ottiene introducendo una batteria nel circuito d'induzione. Tutte le nebulose planetarie hanno lo stesso aspetto; la riga principale è vivissima, le righe secondarie lo sono meno. Una circostanza merita di attirare tutta la nostra attenzione. Alcune nebulose planetarie sembrano offrire dei punti luminosi: tali sono quelle dell'Idra ( $\alpha = 10^h 17^m,9; \delta = -17^\circ 47'$ )

e quella del Sagittario

( $\alpha = 19^h 34^m,9; \delta = -14^\circ 32'$ );

e tuttavia danno spettri monocromatici, il che prova che la materia gassosa che le compone, può bene condensarsi sino a prendere l'apparenza di una stella, senza tuttavia formare un corpo solido e incandescente. Nondimeno la nebulosa planetaria di Andromeda, che è, realmente una stella nebulosa, presenta i due spettri: sovrapposti. La nebulosa anulare della Lira dà anche essa uno spettro lineare. La teoria che abbiamo esposto relativamente alla formazione del Sole, che noi attribuiamo alla condensazione successiva di una nebulosa,

non era da prima stata ammessa che sopra a semplici induzioni, ed è stata ben confermata e, per così dire, dimostrata dalla scoperta delle nebulose gassose. Attualmente tutto ci porta a credere che queste nebulose si trasformeranno un giorno in stelle, e che tutti gli astri che brillano adesso nel firmamento, hanno avuto un'origine simile. Abbiamo fatto notare che per ottenere artificialmente spettri analoghi a quelli di alcuni di tali ammassi di materia cosmica, dobbiamo ricorrere a mezzi di dissociazione più efficaci fra quanti noi conosciamo, per esempio alla scintilla d'induzione, resa più energica dalla interposizione di un condensatore. Bisogna concluderne che questa materia è in uno stato di estrema dissociazione. Tuttavia non possiamo esser certi di conoscere completamente il loro spettro: la loro distanza è troppo grande, la loro luce troppo debole e i nostri istrumenti troppo imperfetti. Se una nebulosa si condensa per l'attrazione che le sue differenti parti esercitano le une sulle altre, si capisce che questo movimento produrrà una quantità di calore, comparabile a quella di cui abbiamo riconosciuto l'esistenza nel Sole. Queste masse cosmiche occupano spazi immensi. La nebulosa di Orione, nella sua parte più densa, sottende un arco di un grado; ma la sua intiera estensione è di quattro gradi. La nebulosa d'Argo è quasi della stessa grandezza. Dall'altra parte del Sagittario, troviamo delle larghe superficie bianche che debbono essere nebulose non risolubili. Non fa dunque meraviglia che alcune di queste masse si muovano e finiscano coll'entrare nella nostra atmosfera, per produrvi le comete e le stelle cadenti. Questa ipotesi è perfettamente confermata dallo spettro tanto discontinuo, che presentano le comete. Il mondo si allarga dunque ai nostri occhi, il sistema solare non ci apparisce più che come un punto nello spazio. Qual differenza fra queste idee così larghe e quelle che un tempo limitavano il mondo al nostro globo. Ma dilatando i limiti del mondo, non diminuiamo la nostra vera grandezza. Sembriamo, senza dubbio, poca cosa in questa immensità dell'universo, ma più il mondo è grande di fronte a noi, più vi ha bisogno d'intelligenza per comprendere tali meraviglie, più è stato necessario il genio per scoprirle. Dio solo può comprendere perfettamente l'opera sua: felice il mortale che può averne un'idea così esatta da ammirarne la grandiosità e la bellezza!

### **§ III.— Colpo d'occhio relativo alla distribuzione delle stelle nello spazio.**

Le stelle sono distribuite in gruppi che formano dei sistemi simili a quello a cui apparteniamo. Le leggi dell'attrazione producono e regolano il movimento di quegli astri lontani, come la circolazione dei pianeti attorno al Sole. I sistemi più semplici costituiscono le stelle doppie o triple: queste sono altrettanti Soli, aventi i loro corteggi di pianeti che descrivono attorno ad esse delle orbite ellittiche. Quei pianeti non differiscono dai nostri che in un sol punto: essi sono ancora incandescenti, e per conseguenza luminosi per se stessi, c'illuminano con una luce loro propria, e non con una luce presa da altri, che venga e riflettersi alla loro superficie. Questa circostanza ci permette di distinguerli ad una grande distanza, di osservare le posizioni che occupano successivamente, e di calcolare le orbite che essi descrivono.

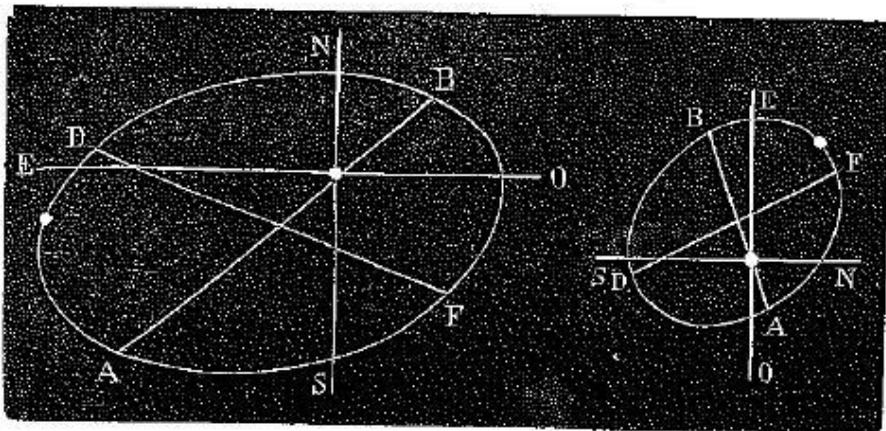
Hanno essi pure dei satelliti oscuri? È naturale supporlo. Le irregolarità osservate nel movimento proprio di Sirio hanno fatto supporre, per lungo tempo, l'esistenza di un astro simile, che giri attorno a questa magnifica stella. Ultimamente si è scoperto questo satellite, ma è luminoso di per se stesso, e il suo splendore uguaglia almeno quello di una stella di sesta grandezza. Ciò che ha ritardato la sua scoperta, e ciò che lo rende difficilissimo a scorgersi, è lo splendore della stella principale, i cui raggi mascherano ordinariamente la scarsa luce che c'invia.

Un'altra stella, Algol, ( $\beta$  di Perseo), ci prova direttamente l'esistenza dei satelliti oscuri, colle variazioni regolari che essa subisce, e che non possono essere che occultazioni prodotte da un corpo opaco, che passa davanti all'astro luminoso. Il periodo di queste variazioni è di  $2^s 20^h 48^m 58^s$ . Durante  $2^s$  e  $13^h$  lo splendore è costante, e fa collocare questa stella fra quelle di seconda grandezza; poi essa incomincia a impallidire e, al termine di  $3^h$  e  $30^m$ , si trova ridotta al disotto della quarta grandezza. Essa rimane in questo stato per cinque o sei minuti al più, e impiega a riacquistare il suo splendore primitivo un tempo eguale al precedente,  $3^h 30^m$ . Queste variazioni sono fenomeni simili in tutto alle nostre eclissi: ciò supponevasi da lungo tempo, ma le ultime scoperte spettroscopiche l'hanno pienamente dimostrato, perché le variazioni di questa stella non possono, come quelle di molte altre, essere attribuite a cangiamenti sopraggiunti nel

potere assorbente della sua atmosfera.

Non basta che due stelle sembrino vicinissime per costituire quello che si designa, più specialmente, col nome di *stella doppia*. Bisogna inoltre che esse sieno realmente così vicine da influenzarsi reciprocamente con la gravitazione, e formare un sistema a parte. Fino ad ora, soltanto quindici di questi sistemi sono così ben conosciuti da poter determinare completamente la loro rivoluzione e calcolare gli elementi delle loro orbite, ma ve ne ha un maggior numero, di cui si può affermare con certezza la connessione fisica. Così, di 1321 stelle doppie, osservate da Struve e rivedute all'Osservatorio del Collegio Romano, se ne sono trovate un terzo che hanno un movimento relativo certo e notevolissimo. Il numero dei sistemi binari e ternari andrà crescendo col tempo, il solo elemento che manca attualmente agli astronomi, e di cui essi non possono disporre a loro piacere. È poco più di un mezzo secolo che si è cominciato a fare su questo soggetto delle buone osservazioni, e già abbiamo veduto parecchi di questi Soli compiere una intera rivoluzione, ( $\zeta$  d'Ercole, 36 anni;  $\gamma$  della Corona boreale, 43 anni;  $\zeta$  del Cancro, 59 anni;  $\xi$  della Grande Orsa, 63 anni). Vi sono altre stelle che impiegano un tempo più lungo a compiere la loro rivoluzione. Il compagno di  $\alpha$  del Centauro ha un'orbita quasi simile a quella della cometa di Halley. Siccome si conosce la distanza di questa stella, così si è calcolato che la massa di questo sistema differisce pochissimo da quella del nostro sistema solare. Le fig. 41 e 42 rappresentano le orbite apparenti di  $\xi$  della grande Orsa, e di  $\zeta$  d'Ercole.

Fig. XLI e XLII.



I sistemi binari presentano due particolarità notevoli; 1° le loro orbite sono ordinariamente allungatissime, ciò che può condurre a delle idee teoriche sui loro modi di formazione; 2° le due stelle hanno quasi sempre dei colori complementari, ciò che indica una differenza di temperatura, e un differente stato di condensazione. Oltre questi sistemi più semplici, vi sono ammassi globulari, conosciuti in inglese sotto il nome di *clusters*; composti d'una moltitudine affatto innumerevole di piccole stelle, la cui densità cresce presso il centro in modo prodigioso, senza che tuttavia questi astri cessino di essere distinti, come ne siamo stati assicurati dalle osservazioni fatte collo spettroscopio. È da notarsi che gli ammassi globulari più belli trovansi nella zona delle grandi stelle, e sembra che la loro formazione tenga il posto d'una di quelle stelle più vicine a noi. Finalmente, vi sono nel cielo gruppi di stelle, che è impossibile non riconoscere come formanti dei sistemi d'astri fisicamente collegati insieme, per esempio le Pleiadi, il gruppo del Cancro, quello di Perseo; certi spazi nebulari vastissimi, come la chioma di Berenice, le nubi di Magellano, e sopra a tutto la via lattea. Non possiamo conoscere in particolare il modo di aggruppamento di questi ammassi, né determinare il centro attorno al quale si eseguono i loro movimenti, perché a ciò sarebbero necessarie lunghe osservazioni che ci fanno difetto. Quanto alla regione più vicina a noi, che forma la via lattea, possiamo scandagliare la sua profondità

nelle differenti direzioni, e farci un'idea abbastanza esatta del modo con cui le stelle vi sono aggruppate. Certo è impossibile risolvere questa questione direttamente, e valutare la distanza delle stelle con unità conosciute; ma possiamo ottenere il risultato con una certa approssimazione, per mezzo di un calcolo di media, fondato sulla teoria delle probabilità. Le stelle, salvo due o tre eccezioni, non hanno parallasse sensibile, donde bisogna concludere che, vista la distanza a cui esse si trovano, la loro luce mette, in media, una trentina di anni per giungere fino a noi. Dobbiamo dunque rinunciare a misurare le loro distanze assolute, e contentarci di valutare le loro distanze relative.

Possono usarsi due metodi per misurare quelle distanze relative: si può, in primo luogo, misurare la intensità della luce che esse c'invisano, e che costituisce il metodo *fotometrico*; secondariamente, si può studiare il rapporto che esiste fra i movimenti loro propri. Essendo questi due mezzi indipendenti l'uno dall'altro, e fondati su differenti leggi geometriche, se accade che conducano a risultati simili, troveremo in questa concordanza, una ragione potentissima per credere all'esattezza delle conclusioni.

La valutazione delle distanze, per mezzo della fotometria, riposa su due principi: 1° le stelle non possono essere situate tutte alla stessa distanza da noi; 2° le più lontane debbono, per ciò solo, sembrarci più piccole. Questi principi ci condurrebbero anche alla apprezzamento diretto e certo delle loro distanze relative, se noi potessimo affermare che tutte le stelle hanno una luce intrinseca eguale; ma questa terza asserzione non è provata, né probabile. Dobbiamo dunque trattare il problema coi metodi tolti dal calcolo delle probabilità.

I risultati a cui perverremo, saranno veri per l'immensa maggioranza delle stelle, quantunque possano trovarsi imperfetti per alcune di esse, perché, nella media, le eccezioni si distruggeranno l'una con l'altra.

Supponiamo, per esempio, che due stelle sembrino essere della medesima grandezza, mentre sono realmente ineguali. Si attribuisce alla più grande una distanza troppo piccola, e una distanza troppo grande a quella che ha meno splendore: vi sarà dunque compensazione.

*Prima di trattare la questione in se stessa, gli astronomi hanno dovuto risolvere un problema preliminare. Data una stella di una*

*grandezza determinata, di quanto dovrà aumentarsi la sua distanza, perché il suo splendore diminuisca di una unità nell'ordine delle grandezze?*

La classificazione che si trova in tutti i cataloghi è completamente arbitraria e di pura convenzione, talché non se ne potrà dedurre nulla, sinché non siasi misurata la forza luminosa di ogni ordine, finché non siasi determinata la legge fisica contenuta in quella classificazione arbitraria, ed espressa numericamente l'intensità relativa della luce che caratterizza ogni grandezza. Usando metodi fotometrici ingegnosissimi, gli astronomi sono giunti a questa conclusione: In media, due stelle prese in due ordini consecutivi di grandezza, hanno intensità luminose, il cui rapporto è uguale a 2,42. Le stelle della prima e della seconda grandezza fanno eccezione, perché, per esse, il rapporto è 3,75. Prendendo il valore medio 2,42, si sono potute calcolare le distanze alle quali dovrebbe essere posta una stella di prima grandezza, per avere il medesimo splendore delle stelle di seconda grandezza, di terza grandezza, ecc.

I risultati di questo calcolo sono contenuti nel prospetto seguente:

GRANDEZZE	DISTANZE	GRANDEZZE	DISTANZE
1	1,00	9	34,30
2	1,55	10	53,36
3	2,42	11	83,00
4	3,76	12	129,12
5	5,88	13	200,90
6	9,11	14	312,50
7	14,17	15	486,10
8	22,01	16	736,20

Tab. XIX

La sedicesima grandezza contiene le più piccole stelle visibili nel gran telescopio di Herschel, che colla sua apertura di 18 pollici, equivale in *forza penetrante* a un refrattore di 25 centimetri.

Procuriamo di farci un'idea delle distanze assolute di queste stelle. Supponendo una stella così lontana che la sua luce metta 10 anni per

giungere sino a noi, la sua parallasse sarà rappresentata da un terzo di secondo, quantità senza dubbio esagerata per le stelle di prima grandezza. Allora le più piccole stelle visibili nel nostro refrattore sarebbero situate a una distanza così grande, che la loro luce metterebbe, per arrivare a noi, 7560 anni. Deriva da ciò che, nel riflettore di lord Rosse, il limite delle distanze sarebbe rappresentato da 2090 unità, e per percorrere questa distanza, la luce impiegherebbe ventimila novecento anni.

Si è cercato di determinare la distanza relativa delle stelle di differenti grandezze, secondo l'ampiezza dei loro movimenti propri. Struve ha fatto, a questo riguardo, un lavoro notevolissimo, dal quale togliamo i seguenti risultati:

GRANDEZZA delle stelle	MOVIMENTO PROPRIO IN 100 ANNI			
	STELLE SEMPLICI		STELLE DOPPIE	
	In ascensione diretta	In declinazione	In ascensione diretta	In declinazione
1	34,2 <sup>''</sup>	29,0 <sup>''</sup>	55,5 <sup>''</sup>	47,9 <sup>''</sup>
2	18,2	16,1	30,8	26,1
3	12,2	10,5	20,1	17,0
4	8,7	7,4	14,4	12,0
5	6,3	5,3	10,2	8,6
6	3,7	3,1	6,0	5,1
7	2,2	2,8	3,5	3,0
8	1,4	1,2	2,3	2,0
9	1,0	0,9	1,7	1,5

Tab. XX

Questo prospetto rivela una circostanza singolare, cioè che le stelle doppie hanno movimenti più pronunziati. La causa di questa singolarità risiede nell'impulsione più considerevole, che questi sistemi hanno ricevuta in origine, e che gli ha forzati a dividersi in più parti.

GRANDEZZA delle stelle	DISTANZE DEDOTTE		
	DAI MOVIMENTI PROPRI		Dalla fotometria
	Stelle semplici	Stelle doppie	
1	1,0	1,0	1,0
2	1,3	1,4	1,5
3	2,1	2,0	2,4
4	3,6	3,2	3,7
5	6,1	5,9	5,8
6	8,5	8,2	9,1
7	12,0	11,6	14,2
8	17,9	17,8	22,0
9	33,3	31,8	34,3

Tab. XXI

Siccome i movimenti apparenti stanno in ragione inversa delle distanze, così si potrà calcolare la distanza relativa delle stelle, prendendo quella della prima grandezza per unità. Il prospetto seguente contiene il confronto dei risultati ottenuti con lo studio de' movimenti propri e col procedimento fotometrico.

Da questo prospetto risulta che la progressione è estremamente simile da una parte e dall'altra, né potevasi sperare un accordo più perfetto fra elementi così disparati. Vi è un po' d'incertezza per i movimenti propri delle stelle di 9<sup>a</sup> grandezza, il che spiega la differenza notevolmente più grande che trovasi nei risultati.

Quando vogliamo, dalla disposizione apparente, dedurre la distribuzione reale delle stelle nello spazio, lasciamo il dominio delle osservazioni, e entriamo forzatamente in quello delle ipotesi. Ora presentansi due modi di spiegare i risultati osservati: 1° si può supporre che, se vedonsi più stelle in una direzione che in un'altra, ciò dipenda unicamente dalla loro condensazione, restando la profondità dello strato la stessa in tutti i casi; 2° può ammettersi, al

contrario, che lo strato sia più profondo in una direzione che in un'altra, essendo la densità da tutte le parti la stessa. Per la soluzione di questa questione, occorre la conoscenza preliminare del modo con cui le piccole stelle sono distribuite nel cielo. Questo lavoro è stato fatto dai due Herschel, William per l'emisfero nord, e sir John per il sud. È assolutamente impossibile che un uomo faccia da sé solo una simile enumerazione. Gli occorrerebbe, per farla, quasi un secolo di lavoro accurato. Per ottenere il risultato, William Herschel ha sostituito all'enumerazione continua, il procedimento degli *scandagli* (*star gauges*) distribuiti nel cielo in modo uniforme. Queste operazioni consistevano nel contare le stelle visibili in un refrattore di 18 pollici, al quale era adattato un oculare, che gli dava un campo di visione eguale a 15 minuti. Questi scandagli hanno dato dei risultati estremamente differenti. In alcuni punti, presso il polo della via lattea, contavansi tre o quattro stelle ad ogni osservazione, mentre nella via lattea stessa, quel numero si è elevato sino a 588. Discutendo queste osservazioni, si è giunti ad alcune conclusioni generali, che noi esponiamo brevemente:

1° Le stelle sono tanto più numerose quanto più ci si avvicina alla via lattea; il massimo ha luogo nel piano di questa nebulosa, il minimo ai suoi poli.

2° Nella via lattea stessa, l'accumulazione è più grande per i punti vicini all'Aquila (18 ore di ascensione diretta) che nella vicinanza del Toro (6 ore). Da un lato il massimo è di 557, dall'altro è solamente di 204,

3° La densità apparente decresce rapidissimamente, quando ci si allontana dalla via lattea. A una distanza di 2 gradi, essa è ancora considerevolissima: a 15 gradi, il numero di stelle corrispondente a uno scandaglio, discende a 56; a 30 gradi, è di 17; a 45 gradi, è di 10; tra 60 e 70 gradi, non si trovano più che 6 o 4 stelle.

4° Calcolando, secondo questi scandagli, il numero delle stelle visibili nel telescopio di Herschel, si trova il numero 20,374,034.

Questi risultati, confermati dai lavori di parecchi astronomi, permettono di stabilire, con una probabilità assai grande, la legge della distribuzione reale, delle stelle nello spazio. Noi abbiamo detto che vi sono due ipotesi possibili. Nello scopo di riconoscere quale delle due è la vera, si è calcolato con due differenti metodi il raggio della sfera, nella quale devono essere contenute le stelle di ogni

grandezza. In un primo calcolo, si è supposta la distribuzione uniforme; in un altro, al contrario, si è supposta la densità variabile. Paragonando i numeri così ottenuti colle distanze calcolate con i due metodi precedenti, si sceglierà l'ipotesi i cui risultati s'accordano meglio coi numeri già trovati. Ecco il prospetto in cui si trovano riassunti questi calcoli:

GRANDEZZA delle stelle	DISTANZE DEDOTTE		
	1 <sup>o</sup> dalla distribuzione uniforme	2 <sup>o</sup> supponendo la densità variabile	Dai metodi pre- cedenti
1	1,00	1,00	1,00
2	1,46	1,80	1,55
3	2,13	2,76	2,42
4	2,91	3,90	3,76
5	3,98	5,45	5,86
6	5,46	9,28	9,11
7	8,58	15,78	14,17
8	13,44	23,86	22,04
9	20,38	33,40	34,30
14 (Herschel).	98,00	180,40	312,00

Tab. XXII

Noi vediamo che, per le più grandi stelle, i risultati forniti dall'ipotesi della distribuzione uniforme, non sono irragionevoli; ma, partendo dalla quarta grandezza, le divergenze si fanno grandissime, e più lungi esse sono enormi. E tutto il contrario dei numeri calcolati secondo l'altra ipotesi, come possiamo assicurarcene confrontando le due ultime colonne. La conclusione che dobbiamo legittimamente dedurre da questa osservazione, è che lo strato stellato non solo sembra possedere, ma possiede realmente una densità più considerevole nella via lattea che nel resto del cielo. Il nostro Sole non è situato in mezzo allo strato che costituisce la via lattea, la sua posizione è anzi molto eccentrica.

Innanzitutto, la via lattea, non tracciando un gran cerchio sulla sfera

celeste, ne risulta che ci troviamo a una certa distanza, quattro gradi circa, dal piano medio che la contiene. Inoltre, la proiezione del Sole su questo piano medio è lungi dall'occupare il mezzo della via lattea, donde avviene che, nel Sagittario e nell'Aquila, la densità apparente dello strato stellare è molto più considerevole che all'altra estremità dello stesso diametro. Dal lato del Sagittario, la via lattea non può assolutamente scandagliarsi, il fondo del cielo è formato da una vera polvere stellare, e nel campo dei più potenti strumenti, questa polvere resta: proiettata sopra un fondo bianco. Questo *fondo* bianco può essere in parte composto di materia nebulosa, ma siccome questa materia possiede necessariamente un certo potere assorbente, essa deve certo fermare molti raggi luminosi, e impedirci di vedere un gran numero di stelle più lontane.

Bisogna concludere da tutte queste considerazioni che la profondità de' cieli non può realmente scandagliarsi, e che non ne conosceremo mai i confini. È probabile che la riunione delle grandi stelle che circondano il nostro Sole, non sia che uno degli ammassi che formano la via lattea, e che, visto da una certa distanza questo ammasso ci apparirebbe come una macchia più bianca nella via lattea stessa. Arrivando a questo limite, sentiamo la nostra immaginazione confondersi. Invano cercheremmo di accumulare similitudine sopra similitudine per dare un'idea di tale immensità. Possiamo ammassare le cifre, moltiplicare gli zeri e, per abbreviazione, esprimere quelle distanze con numeri carichi di esponenti: l'abisso non resta meno impenetrabile. Che dire di quegli spazi immensi e degli astri che li riempiono? Che pensare delle stelle che sono, senza dubbio, come il nostro Sole, centri di luce, di calore e di attività, destinati, come lui, a mantenere la vita di una quantità di creature di ogni specie? Quanto a noi, ci sembrerebbe assurdo riguardare quelle vaste regioni come deserti inabitati: esse debbono essere popolate di esseri intelligenti e ragionevoli, capaci di conoscere, di onorare e di amare il loro Creatore; e forse questi abitanti degli astri sono più fedeli di noi ai doveri che impone loro la riconoscenza verso Colui che gli ha levati dal nulla. Vogliamo sperare che non vi siano fra loro esseri sventurati, che pongano il loro orgoglio a negare l'esistenza e l'intelligenza di Colui a cui essi stessi debbono e la loro esistenza e la facoltà di conoscere tante meraviglie.

## CONCLUSIONE

Il lungo cammino che abbiamo percorso tocca ormai alla sua fine. Studiando i fenomeni che ci presenta il Sole, abbiamo riconosciuto la costituzione fisica di questo astro raggianti, e la natura chimica delle sostanze che lo compongono, e abbiamo pure riconosciuto tracce del suo modo di formazione, abbiamo potuto, fino a un certo punto, intravedere il posto che esso occupa nell'universo.

Questo globo infiammato, sorgente della vita, e causa del movimento nei pianeti, è stato un tempo una massa nebulosa simile a quelle che vediamo nella profondità del cielo. Questa massa, raffreddandosi, ha dato origine ai pianeti e ai loro satelliti. Essa conserva ancora, nel suo seno, tutto il calore che ha dovuto risultare dalla sua condensazione e dalla caduta delle sue differenti particelle, che venendo dai limiti più lontani del suo dominio, hanno obbedito all'attrazione, cadendo verso il centro.

Questa massa enorme, subendo le fasi del raffreddamento, per le quali sono passati i pianeti che la circondano, potrà un giorno trovarsi completamente spogliata dello splendore di cui brilla adesso; ma passeranno ancora milioni e milioni di anni avanti che divenga incapace di agire efficacemente per mantenere intorno a sé la forza e la vita.

Saravvi allora una causa qualunque, la cui azione debba ristabilire le cose nel loro stato primitivo? Noi non possiamo dirlo. Il mondo non è sempre esistito, e niente ci prova che debba sempre sussistere.

La costituzione gassosa del Sole ci spiega i fenomeni che noi osserviamo alla sua superficie. La parte che resta esteriormente esposta alla irradiazione verso gli spazi celesti, perde, raffreddandosi, lo stato gassoso, e resta condensata sotto forma di masse vaporose, ma incandescenti, nell'atmosfera gassosa e trasparente, da cui il globo è circondato, formando uno strato brillante che noi chiamiamo la *fotosfera*. Questo strato, come l'interno del corpo solare stesso, è la sede di vaste operazioni chimiche e di movimenti fisici complicatissimi. Delie cause ancora ignote, trasportando masse considerevoli dall'interno all'esterno, producono; immense lacune nello strato luminoso, e così danno origine alle macchie; il centro di queste lacune, più oscuro e più assorbente, c'intercetta la maggior

parte dei raggi luminosi, che emanano dal nucleo centrale, composto di una materia gassosa e completamente dissociata.

Al disopra dello strato luminoso si spande l'atmosfera formata di vapori trasparenti, che s'inalzano, secondo i loro pesi specifici, ad altezze diverse. Di tutte queste sostanze, l'idrogeno è la meno densa, perciò esso ondeggia a una grande altezza, formando delle colonne e delle nubi che costituiscono le protuberanze rosee, osservate intorno al Sole nelle eclissi. Il ferro e il calcio sono le materie più abbondanti al fondo delle macchie e negli strappi della fotosfera.

L'atmosfera del Sole è vastissima: essa si distende a una distanza uguale certo al quarto di un raggio solare; ha una forma ellittica, essendo la sua elevazione meno grande ai poli che all'equatore. Nelle regioni equatoriali, e specialmente in quelle in cui si presentano le macchie, si osserva un'attività più grande che ai poli, la quale attività si manifesta con un più vivo splendore, e con un'altezza più considerevole dello stesso strato atmosferico.

Lo spettroscopio, rivelandoci la composizione chimica del Sole, ci ha mostrato che le sostanze di cui si forma, sono identiche con quelle che costituiscono i corpi terrestri. E tuttavia siamo ancora ben lungi dal conoscere la natura di tutte quelle sostanze.

Tali sono, riassumendole in un prospetto generale, le cognizioni che possediamo sull'astro del giorno. Queste cognizioni sono, è vero, molto incomplete, e tuttavia, se consideriamo la rapidità con cui si succedono le grandi scoperte relative al Sole, saremo alteri di appartenere a una generazione che ha fatto essa sola, in questa via progressi più grandi di tutte le generazioni che l'hanno preceduta. L'ultima parola non è ancora stata detta, ma si può bene sperare che le future scoperte, lungi dal distruggere alcuna delle parti dell'opera attualmente già, fatta, continueranno il lavoro incominciato, lo completeranno, e risolveranno i numerosi problemi di cui abbiamo indicata l'enunciazione in questo libro. Il lavoro paziente dell'osservazione, le esperienze abilmente dirette per verificare le teorie e le ipotesi, fluiranno col rischiarare ciò che ancora è dubbio od incerto.

Molte cose ci rimangono ad apprendere, perché la natura è inesauribile nelle sue meraviglie. Quando si crede di giungere al termine, si è ancora al principio, e la storia stessa del Sole ci fornisce una prova evidente di questa verità.

Il campo sarebbe certo più vasto e più inesauribile, se volessimo

occuparci delle influenze meravigliose, che questo astro benefico esercita sulla Terra, perché i suoi raggi, dotati della potenza d'illuminare, di riscaldare e di agire sulle molecole dei corpi, sono la causa prima, donde emanano, su tutti i pianeti, e la forza e la vita. Quando ci si limita a considerare il Sole come il centro geometrico delle orbite che descrivono i pianeti, ci si fa una ben povera idea dell'azione che esso esercita nel mondo, e della sua importanza nella creazione. Ma quando si considera la sua influenza fisica, chimica e fisiologica, ci si trova di fronte a una quantità di questioni misteriose e di problemi non risolti, il cui studio basterà, senza dubbio, ad esercitare l'attività di molte generazioni. Le forze che esso fa agire, sono di un ordine più elevato della stessa attrazione, e la loro natura intima è così completamente ignota come quella della gravitazione. Noi non abbiamo potuto entrare nello studio speciale di siffatte relazioni, ma non dovevamo lasciarle completamente da parte. La natura, di questa opera ci ha permesso appena di dirne qualche parola: forse un giorno potremo trattare queste questioni in modo più serio e più profondo.

***FINE***



**TAVOLE FUORI TESTO**

Fig. 1. (*Janssen*)

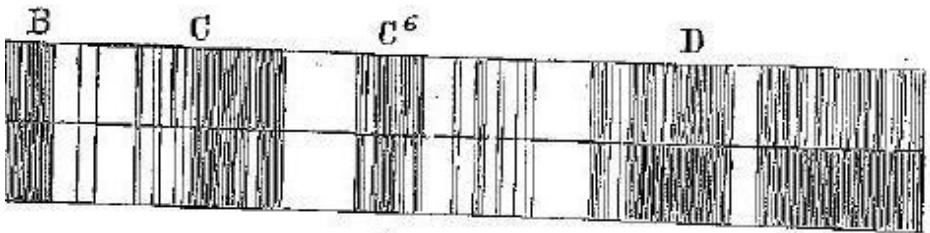


Fig. 2. (*Brewster*)

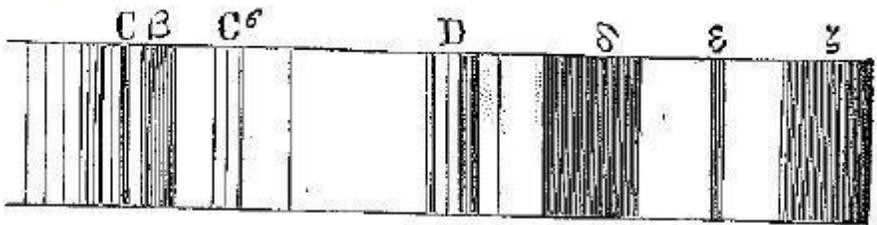
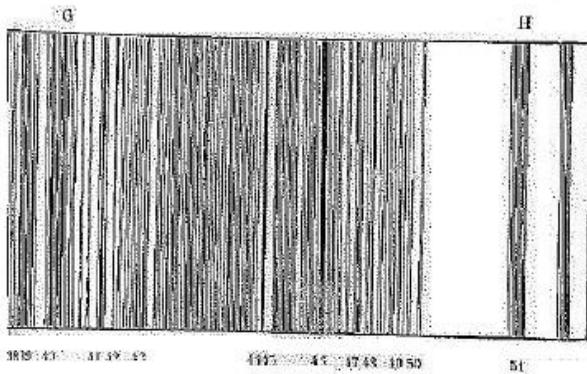
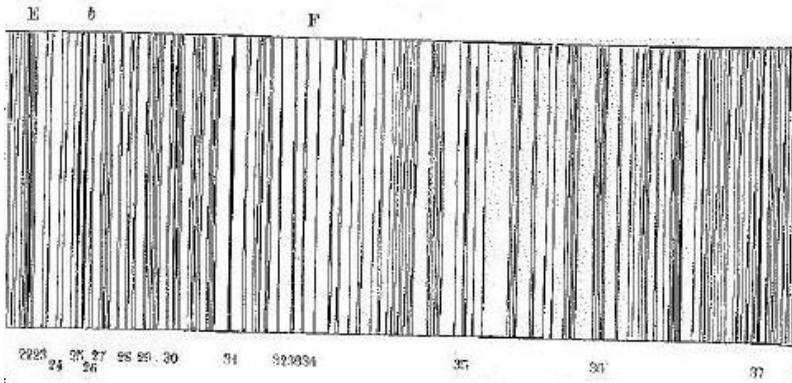
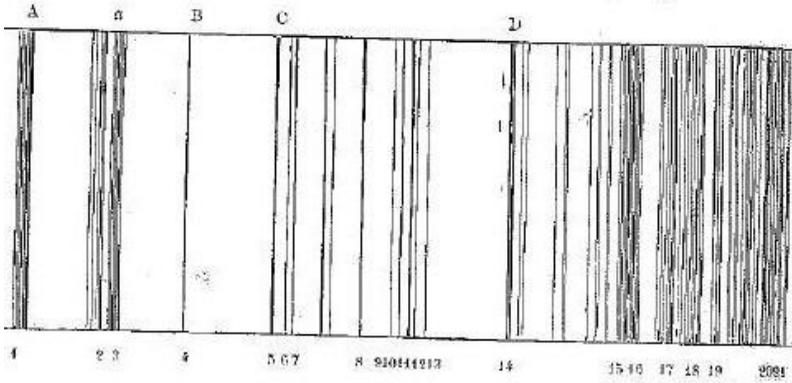


Fig. 3. (V. der Willingen)



## INDICE DELLE MATERIE

IL SOLE.....	7
INTRODUZIONE.....	8
PARTE PRIMA.....	13
CAPITOLO I.....	13
ASPETTO GENERALE DEL SOLE, MACCHIE E LORO LEGGI PRINCIPALI.....	13
§ I. <i>Aspetto Generale del Sole</i> .....	13
§ II. <i>Scoperta delle macchie solari. Mezzi per         osservarle.</i> .....	16
§ III. <i>Leggi fondamentali del movimento delle macchie.</i> 18	
§ IV <i>Ipotesi che sono state emesse sulla natura delle         macchie.</i> .....	25
§ V. <i>Lavori d'Herschel.</i> .....	26
CAPITOLO II.....	29
NUOVI METODI DI OSSERVAZIONE.....	29
§ I. <i>Oculari Elioscopici</i> .....	29
§ II. <i>Fotografie solari. Disegni.</i> .....	33
CAPITOLO III.....	35
STRUTTURA GENERALE DELLE MACCHIE SOLARI.....	35
§ I. <i>Aspetto generale della fotosfera.</i> .....	35
§ II. <i>Formazione delle macchie.</i> .....	39
§ III. <i>Le macchie sono cavità.</i> .....	43
§ IV. <i>Struttura delle macchie.</i> .....	47
§ V. <i>Nuovi particolari relativi alle macchie. Veli rosei         all'interno.</i> .....	53
§ VI. <i>- Conclusioni relative alla struttura delle macchie.</i> .....	57

CAPITOLO IV .....	61
MOVIMENTI PROPRI DELLE MACCHIE. ROTAZIONE DEL SOLE.....	61
§ I. <i>Importanza della questione.</i> .....	61
§ II. <i>Resultati ottenuti relativamente alla rotazione del Sole</i> .....	65
§ III. — <i>Teorie proposte per spiegare il movimento delle macchie.</i> .....	78
§ IV. — <i>Di alcuni movimenti apparenti, dovuti alla profondità delle macchie e alla refrazione dell'atmosfera solare.</i> .....	83
§ V. — <i>Riassunto dei movimenti delle macchie.</i> .....	86
§ VI. — <i>Variazioni secolari delle macchie.</i> .....	87
CAPITOLO V .....	95
DELL'ATMOSFERA SOLARE.....	95
§ I. — <i>Assorbimento dei raggi luminosi, operato dall'atmosfera solare.</i> .....	95
§ II. — <i>Assorbimento dei raggi chimici.</i> .....	97
§ III. — <i>Assorbimento dei raggi calorifici.</i> .....	98
§ IV. — <i>Conseguenze che derivano dalle osservazioni precedenti.</i> .....	103
CAPITOLO VI.....	107
FENOMENI OSSERVATI NELLE ECCLISSI; CONSEGUENZE CHE SE NE POSSONO DEDURRE RELATIVAMENTE ALL'ATMOSFERA DEL SOLE. ....	107
§ I. <i>Cenni storici.</i> .....	107
§ II. — <i>Fenomeni generali che si osservano in un'eclisse totale.</i> .....	110
§ III. — <i>Fenomeni che accompagnano la sparizione e la</i>	

<i>riapparizione del Sole nelle eclissi totali.</i> .....	114
§ IV. — <i>Della corona.</i> .....	119
§ V. <i>Degli sprazzi luminosi.</i> .....	124
CAPITOLO VII. ....	131
DELLE PROTUBERANZE O PROMINENZE ROSEE, CHE SI OSSERVANO NELLE ECCLISSI TOTALI DEL SOLE.....	131
§ I. — <i>Prime osservazioni delle protuberanze.</i> .....	131
§ II. — <i>Fotografie ottenute in Spagna durante l'eclisse del 1860.</i> .....	135
§ III. — <i>Natura delle protuberanze solari visibili nelle eclissi.</i> .....	144
§ IV. — <i>Resultati degli studi spettrali, fatti in pieno giorno, sulle protuberanze.</i> .....	147
§ V. — <i>Conclusioni relative all'atmosfera solare.</i> .....	153
CAPITOLO VIII .....	155
ANALISI SPETTRALE DELLA LUCE SOLARE .....	155
§ I. — <i>Analisi della luce solare per mezzo del prisma — Spettro solare.</i> .....	156
§ II. — <i>Comparazione della luce solare con le altre luci — Rovesciamento degli spettri.</i> .....	161
§ III. — <i>Applicazione dei principi precedenti alla costituzione della fotosfera solare.</i> .....	171
§ IV. — <i>Analisi spettrale delle macchie solari. Conseguenze relative alla costituzione del Sole.</i> .....	177
CAPITOLO IX .....	187
TEMPERATURA SOLARE — SUA ORIGINE— SUA CONSERVAZIONE .....	187
§ I. — <i>Misura dell'intensità della irradiazione solare.</i>	

.....	188
§ II. — <i>Quantità assoluta di calore, emessa dal Sole.</i>	
.....	193
§ III. — <i>Delle perdite forza viva subite dal Sole.</i> .....	196
§ IV. — <i>Sorgenti di calore, esteriori al Sole.</i> .....	199
§ V. - <i>Costanza della irradiazione solare, e sua spiegazione.</i> .....	204
PARTE SECONDA.....	209
ATTIVITÀ ESTERIORE DEL SOLE .....	209
CAPITOLO 1. ....	209
LE IRRADIAZIONI .....	209
§ I. — <i>Influenza delle irradiazioni nell'Universo.</i> ....	209
§ II. — <i>Distinzione delle irradiazioni.</i> .....	211
§ III. — <i>Irradiazione luminosa.</i> .....	215
§ IV. — <i>Irradiazioni termiche.</i> .....	218
§ V. — <i>Azione chimica dei raggi solari.</i> .....	224
§ VI. — <i>Attività magnetica del Sole.</i> .....	226
CAPITOLO II .....	232
IL SOLE CENTRO DI FORZA—GRAVITAZIONE.....	232
§ I. — <i>Formazione del sistema planetario.</i> .....	232
§ II. — <i>I Pianeti.</i> .....	239
§ III. — <i>Le comete.</i> .....	247
§ IV. — <i>Le stelle cadenti.</i> .....	251
§ V. — <i>La luce zodiacale.</i> .....	258
PARTE TERZA .....	261
I SOLI O LE STELLE.....	261
CAPITOLO UNICO .....	261

§ I. — <i>Rapporto del nostro Sole colle stelle.</i> .....	261
§ II. <i>Rapporti di composizione fra i soli. Spettri stellari.</i> .....	263
§ III.— <i>Colpo d’occhio relativo alla distribuzione delle stelle nello spazio.</i> .....	273
<i>CONCLUSIONE</i> .....	283
<i>FINE</i> .....	285
<i>TAVOLE FUORI TESTO</i> .....	287
INDICE DELLE MATERIE .....	289













