MEMORIA INTORNO ALL' INFLUENZA SOLARE SULL' ATMOSFERA
TERRESTRE; DEL P. SECCHI.

PARTI I.

§. 1. *Forza dinamica del calore solare sull' atmosfera
terrestre.*

Tra le più belle e felici idee di cui il Maury ha ornato il suo trattato della geografia fisica del mare, in cui comprende la meteorologia tutta nella sua più vasta scala, vi è quella di considerare l' atmosfera terrestre come una gran macchina, il cui scopo è di mantenere la vita sul globo terrestre (1). Questo concetto che sembra strano in apparenza, perchè non vediamo qui nè leve, nè fornelli, nè stantuffi, pure esaminato convenientemente è il più esatto che si possa trovare e il più semplice immaginabile per istudiare convenientemente la meteorologia.

L' atmosfera benchè senza ruote e senza leve è una vera macchina a vapore il cui fornello è nel sole, la caldaia è l' Oceano e tutte le superficie acquee del globo, gli organi di movimento sono i fluidi elastici stessi che compongono l' atmosfera; il lavoro di questa macchina è mantenere in circolazione tutti i fiumi del globo, e tutti i venti, e dare così la forza meccanica alla nostra industria e alla navigazione.

Questa vasta idea dell' azione solare forma il gradito tema de' moderni filosofi, ed ecco come si esprime uno di essi (2): « Il sole per l' atto della vaporizzazione solleva

(1) *Physical Geography of the sea*, by Maury. New York 1858, pag. 167.

(2) Tyndall (V. *Cosmos*, Vol. 2), pag. 275).

meccanicamente tutta l'umidità della nostra atmosfera: questa umidità si condensa e cade sotto forma di pioggia, ovvero si raffredda di vantaggio e cade sotto forma di neve. Sotto questa forma solida si accumula sulle vette alpine, e somministra la materia ai ghiacciai delle Alpi. Ma il sole interviene di nuovo; egli rende la sua libertà all'acqua solidificata, e gli permette di scendere al mare per la sua gravità. La forza meccanica di ciascuno de' fiumi che sul globo scorre al mare ha la sua origine nel calor solare. Nessun piccolo ruscello discende a un livello inferiore, senza essere stato prima innalzato all'altezza donde scorre mercè la potente azione del sole. L'energia dei venti è pure dovuta interamente al sole: ma vi è pure dalla parte del sole un tutt'altro lavoro, che non è così facile far vedere come vi sia connesso (*il n'est pas si facile de le lui rattacher*). Gli alberi e i vegetali crescono sulla terra, e allorchè si bruciano fanno nascere del calore direttamente, della forza meccanica indirettamente. Donde viene questa forza? . . . Nella formazione dei vegetali l'acido carbonico è la materia donde deriva il carbonio della pianta, e il raggio solare è l'agente che separa gli atomi, mettendo l'ossigene in libertà, e permettendo al carbonio di trasformarsi in fibra lignosa. Lasciate cadere il raggio solare sulla superficie della sabbia, questa è scaldata e raggia finalmente all'esterno il calore che ha ricevuto; lasciate cadere questi raggi medesimi su di una selva, la quantità di calore che essa raggerà sarà minore di quella che ha ricevuto, perchè l'energia d'una porzione dei raggi solari è impiegata a far crescere gli alberi nella maniera che è stata indicata. Senza l'intervento del sole la riduzione dell'acido carbonico non può aver luogo; e quando esso vi è intervenuto, egli ha speso una quantità di luce esattamente equivalente al lavoro molecolare effettuato. Così sono formati gli alberi, e così quando s'infiama il cotone, l'ossigene si unisce al suo diletto carbonio, e la sua combustione fa nascere una quantità di calore eguale a quella che il sole avea perduto per farlo vegetare ».

Così la meteorologia e la vegetazione si trovano formar parte del medesimo prodigioso meccanismo, e crediamo

quindi non discaro ai cultori della meteorologia l'entrare in qualche esame sugli organi diversi di questa macchina atmosferica, e perciò tratteremo in successivi articoli:

- 1.^o Del sole considerato in se stesso;
- 2.^o Del suo modo di azione sull'atmosfera;
- 3.^o Della circolazione di questa gran massa.

Non pretendiamo dire su questi punti sempre cose novissime, e molto meno cose nostre ed originali, ma di raccogliere sotto questo punto di vista quanto le recenti scoperte, e gli ultimi studi altrui hanno fatto manifestato. Con ciò crediamo fare cosa non inutile alla scienza, perchè essa può progredire tanto colla sintesi de' fatti già noti, quanto colla scoperta de' nuovi.

§. 2. *Atmosfera solare.*

La cognizione dell'atmosfera solare è sommamente importante in meteorologia per sapere se vi è una relazione tra le sue vicende e le temperature del globo terrestre, onde importerebbe sapere se la sua estensione e forza assorbente sia la stessa in tutte le epoche, e in tutte le parti del luminare, essendosi alle variazioni dell'atmosfera solare, e alla rotazione del sole attribuiti certi periodi meteorologici. Così pure la ben nota diversità d'efficacia della luce solare sui vegetali in confronto dell'artificiale, che non sempre è in proporzione colla intensità, rendono di una importanza tutta pratica per la fisica terrestre lo studio della forza assorbente che essa sembra avere su certi raggi luminosi, onde non crediamo uscir dal nostro tema trattandone un poco più per disteso.

Però sarebbe un uscir troppo dell'argomento il trattare della costituzione fisica del sole, onde ci limiteremo a notare che non può più dubitarsi che il corpo incandescente dell'astro non sia circondato da una atmosfera assorbente in cui nuotano delle nubi proporzionatamente assai meno luminose della fotosfera, le quali formano le protuberanze rosse visibili nell'eclissi totali. L'altezza a cui arrivano tali nubi è enorme: secondo le accuratissime misure fotografiche

di M. De la Rue quelle vedute nell'ultima eclisse del 18 Luglio 1860, e che combinano perfettamente colle nostre, arrivano all'altezza di $2' 40''$, cioè quasi 10 diametri terrestri! Inoltre si sa che lo strato di materia luminosa o fotosfera è soggetta ad essere in alcuni punti squarciata a quanto pare da eruzioni interne, onde ci appaiono in esso delle parti comparativamente nere che formano le macchie.

L'esistenza di un'atmosfera venne definitivamente conclusa dalle nostre osservazioni termo-elettriche sulle varie parti del disco solare, e così acquistò una forza irrefragabile l'argomento fino allora controverso dedotto dalle diverse intensità della luce all'orlo e al centro del disco. L'atmosfera solare poi per via di fatto materiale è rimasta impressa nelle nostre fotografie al Desierto de las palmas, e abbiamo veduto da esse che è più estesa all'equatore che ai poli del sole (1). Si vede da queste che la sua altezza all'equatore non può essere inferiore a $\frac{1}{7}$ del diametro solare, e ai poli $\frac{1}{18}$, ma è ben ragionevole supporre che non in tutta la sua estensione essa è venuta impressa, e la parte esteriore più tenue è sfuggita.

Per ciò che riguarda l'esser le protuberanze rosse formate da nubi in essa sospese, non può più restar dubbio dopo le osservazioni fotografiche fatte in Spagna sotto la nostra direzione al Desierto de las palmas, confrontate con quelle fatte dal sig. De la Rue a Rivabellosa. Alla prima pubblicazione delle nostre fotografie fatta in scala troppo piccola, poté forse restar dubbio sulla identità della forma di queste appendici, benchè noi ne pubblicassimo un minuto confronto, mostrando la identità delle parti, ma ora che ci sono pervenute le fotografie fatte a Rivabellosa presentateci dal sig. De la Rue, e che ad esortazione sua, e sotto la sua direzione, e sotto gli occhi suoi abbiamo ingrandito le nostre piccole fotografie alla scala delle sue, in modo da poterle sovrapporre materialmente, per giudicare della iden-

(1) v. la Memoria sulle osservazioni fatte in Spagna durante l'eclisse sud, e l'appendice. Roma. Tip. Belle Arti.

tità delle protuberanze in quanto al luogo ed alla forma, qualsiasi dubbio è impossibile. Risulta in fatti:

1.^o Che le sue e le nostre sono identiche in numero e forma fino alle più minute particolarità, e le nubi attaccate, e quelle a forma di falce si trovano in ambedue colle identiche forme.

2.^o Che l'unica differenza che vi si osserva è che talune che stanno alla sommità del disco sono più grandi da lui che da noi, e viceversa quelle del fondo sono più grandi da noi che da lui, il che è effetto della differenza di parallasse, e il valore teorico di questa differenza, calcolato che sia, si accorda completamente colle misure micrometriche prese sulle fotografie (1).

Siccome speriamo di poter dare quanto prima più esteso il confronto di queste fotografie, così qui basti questo cenno. Le nubi isolate adunque, e le piegate a forma di falce non potendo esser corpi solidi, nè effetti di ottica illusione o diffrazione, che sarebbe assolutamente impossibile che riuscissero identici a distanza di 11 minuti di tempo assoluto in cui furono fatte le due fotografie, e a 200 miglia d'intervallo geografico, resta dimostrata che esse sono corpi che nuotano realmente nell'atmosfera solare.

L'atmosfera solare messa già fuor di dubbio da queste osservazioni fisiche ed astronomiche ha ricevute una novella prova da una nuova scoperta che si lega più strettamente coi fenomeni terrestri, per ragione della forza assorbente che essa esercita su certi raggi. Questa scoperta benchè nota ai fisici, non sarà però inutile a tutti il riassumerne brevemente la storia e le applicazioni.

(1) Il sig. De la Rue nel suo breve soggiorno in Roma ha voluto esaminare le nostre fotografie, ed è restato sorpreso al vedere in esse tanti dettagli, quindi s'incaricò di dirigere l'opera dell'ingrandimento delle medesime in carta che si conservano all'Osservatorio, e che sono le prime che si presero dalle negative originali, queste disgraziatamente hanno perduto molto della loro delicatezza nell'atto che sono state rinforzate, e ciò giustificò le diffidenze che ebbero sul detto da noi alcuni distinti astronomi che non ebbero altre copie che di queste. Il signor De la Rue è restato sorpreso al vedere tanta identità, e ci ha perfettamente giustificato.

È noto che nello spettro prismatico formato da una fessura strettissima illuminata dal sole e veduta a traverso di un buon cannocchiale, Wollaston prima e poi Fraunhofer trovò una moltitudine di righe nere trasversali di diversa larghezza che lo rendono discontinuo.

L'origine di queste righe era problematica: alcuni le avevano attribuite alla discontinuità di lunghezza delle onde emesse dallo stesso sole, altri all'assorbimento dell'atmosfera terrestre, altri della solare. L'ipotesi che le spiegava per assorbimento era autorizzata dal vedere che diversi gas colorati come il gas nitroso e il vapore di iodio, producono simili strie o esaltano la larghezza di quelle che vi sono quando essi siano interposti sul cammino dei raggi, e l'appoggiava il fatto che stando il sole all'orizzonte tali righe sono più facili a vedere: e che alcune sono state ora positivamente riconosciute come dovute all'azione della nostra atmosfera specialmente presso la riga D (1). Ma era riservato al sig. Kirchhoff dimostrare la loro origine in un modo singolare che può autorizzarci perfino a riconoscere quali sostanze stiano attualmente in incandescenza nel sole, e in tutti gli astri e farne una analisi qualitativa.

Secondo questo autore le strie sarebbero formate dall'assorbimento dei vapori metallici in combustione nell'atmosfera solare, i quali vapori assorbono que' raggi stessi che essi potrebbero emettere se bruciassero direttamente: donde ne seguirebbe che una riga nera qualunque, corrisponderebbe a una sostanza in istato di vapore nell'atmosfera solare che bruciando darebbe il raggio di quella refrangibilità.

Per intendere bene questa spiegazione e le sue conseguenze è necessario richiamare alcuni fatti:

1.° I corpi solidi in incandescenza semplice danno spettri senza righe, così fa un filo di platino incandescente, un

(1) Le variazioni a cui vanno soggette queste righe nelle varie ore del giorno furono studiate da molto tempo dal Zantedeschi, il quale dopo Talbot propose di usare lo spettro luminoso come mezzo di analisi fino dal 1846.

carbone, e anche la fiamma ordinaria della candela nella regione ove è mero carbone incandescente.

2.° I metalli in stato di combustione elettrica, o anche nelle semplici fiamme ordinarie o meglio nel gas idrogeno e ossigeno, danno spettri fatti da righe lucide separate da larghi intervalli oscuri. Alcuni danno righe caratteristiche quasi isolate, come il sodio dà una bella riga gialla, il litio una rossa, il tallio ~~una verde~~ ec.

3.° Se si sovrapponga la luce della fiamma del sodio ad uno spettro solare debole come quello della luce diffusa dell'atmosfera, si vedrà che la doppia riga nera D dello spettro solare che è nel giallo diventa lucida, cioè ad essa si sovrappone esattamente la riga del sodio, e questa ha la stessa refrangibilità.

4.° Se però si faccia passare attraverso la fiamma uno spettro del sole diretto più vivo, la riga nera solare apparisce invece più intensa che non appariva senza quella.

5.° Se si guardi lo spettro di un filo di platino reso incandescente mediante la corrente elettrica fino al bianco prossimo alla fusione, lo spettro sarà uniforme: ma interposta una fiamma ed alcole acquoso in cui brucia il sale comune (cloruro sodico) si avrà nello spettro una riga nera al luogo preciso della lucida del sodio. Lo stesso e meglio si ha usando il nastro lucido de' carboni resi incandescenti mediante la pila voltiana. Questa riga nera può ottenersi anche nello spettro della candela ordinaria purchè si guardi attraverso un tubo di vetro in cui stia del sodio riscaldato debolmente e sublimato in vapore. Questo fenomeno di far apparire nere le righe chiare, trovato da Foucault, ha ricevuto il nome di rovesciamento degli spettri (1). La condizione per riuscirvi sembra essere che l'intensità della luce propria della riga del sodio, o di un altro metallo nella fiamma o nel vapore interposto sia minore di quella della luce dell'altra sorgente, e perciò lo spettro della luce della

(1) I principali di questi fatti sono estratti dalla Memoria di Kirchhoff — *Researches on the solar spectrum and the spectra of chemical elements* by Kirchhoff translated by Roscoe. London 1862.

fiamma ad olio non è rovesciata da quella a spirito salato perchè questa ha luce più intensa in quel luogo, mentre riesce col semplice vapore oscuro di sodio.

Quello che dicesi del sodio dicasi degli altri metalli, i cui spettri meno facili a rovesciare pure con industrie speciali hanno dato a Kirchhoff gli analoghi risultati.

§. 3. *Continuazione sull' atmosfera solare.*

La conclusione diretta che si è tratta dagli esperimenti esposti nel §. 2, è questa « che un vapore ha facoltà assorbente esclusivamente per que'raggi che esso stesso può emettere quando è incandescente » onde i vapori di sodio, litio, tallio, ec. emettendo vapori che danno rispettivamente righe gialle, rosse, verdi: questi colori saranno assorbiti da essi quando li traversa un sistema completo di onde di tutte le lunghezze, e solo per questi essi saranno opachi e per gli altri saranno trasparenti. Questa conclusione è stata dal Kirchhoff eretta in principio generale, in cui si stabilisce « che per ogni sorta di raggi la relazione tra il potere di emettere, e il potere di assorbire alla stessa temperatura è costante per tutti i corpi » (1), e che quindi un gas diviene opaco pei raggi che può emettere ed è trasparente per tutti gli altri.

Il sig. Tyndall per altra via e indipendentemente dal Kirchhoff, cioè misurando direttamente il potere emissivo e assorbente dei gas è arrivato alle stesse conclusioni, talchè secondo esso la capacità di radiazione, e la capacità di assorbimento devono considerarsi come misura una dell'altra (2).

Il Tyndall spinge anche più avanti le sue viste fino ad assegnare la ragione filosofica di tal legge, e la collega coll'altra da esso scoperta della molto maggior forza assorbente dei gas composti che dei semplici, la qual cosa è sommamente interessante per capire il modo con cui il sole agisce

(1) Kirchhoff, Mem. cit. p. 17.

(2) Tyndall, *On absorption and radiation of Heat by gas and vapours.* — *Philos. Trans.* an. 1861. vol. 151, p. 1, pag. 33.

sulla nostra atmosfera, e noi riunendo le idee di questi due autori cercheremo di formulare una spiegazione la più chiara possibile di questa non facile teoria.

Il Tyndall parte dal fatto che ogni gas assorbe calorico sia esso gas semplice o composto; di qui ne segue che una molecola o un atomo ponderabile non può esistere nel mezzo eterico vibrante senza concepire ancor esso vibrazione (1), ma tale vibrazione non sarà la stessa per tutti: quegli tra gli atomi che trovansi disposti a vibrare all'unisono delle onde eteriche concepiranno il moto più facilmente delle altre, come succede colle onde sonore in uno strumento lontano che ha corde all'unisono. All'incontro quelle che non sono a tale sincronismo disposte non vibreranno. Il risultato della comunicazione del moto eterico alle molecole ponderabili nel primo caso deve riuscire a una estinzione parziale del moto nell'etere medesimo, o almeno a un grande indebolimento. La quantità di forza viva comunicata alla materia ponderabile, sarà lungi dal poter portare le molecole ponderabili alla energia di vibrazione che hanno quelle dell'etere diretto, avendo le molecole del corpo ponderabile una massa immensamente maggiore, e il risultato sarà che esse rimarranno indebolite realmente ed impercettibili all'occhio, ossia quelle onde parranno estinte. Così p. e. nel caso del rovesciamento dello spettro, mentre l'onda gialla della riga D parte dal platino andante attraversando il vapor del sodio nella fiamma ad alcool i cui atomi hanno minore energia di vibrazione, ma pure vibrano sincronicamente con essa, quest'onda, dico, comunicherà loro realmente un poco di moto, ma a spese del suo proprio: quindi il vapor di sodio della fiamma avrà bensì un poco aumentata la sua forza viva, ma non tanto quanto è necessario per arrivare all'intensità de' raggi laterali, e perciò il filo di platino apparirà in quel sito come una riga

(1) Il ragionamento del sig. Tyndall si adatta anche all'ipotesi di que' fisici che non ammettono l'etere, ma solo una materia in vibrazione identica alla ponderabile; però estremamente attenuata, e diversa dalla ponderabile solo per mancanza di aggruppamento molecolare: la differenza ridotta a tali limiti è più di termini che di sostanza.

oscura (1). Ma potrà anche apparire luminosa se il vapor di sodio vibri da sè più energicamente dei corrispondenti punti della prima sorgente che stà al di là di esso. Infatti il ragionamento può epilolarsi in questo modo; Sia mV^2 la forza viva dell'onda eterea partita dal platino nel posto della riga D e delle sue vicinanze, e Mv^2 quella delle molecole del sodio sincrone alla D. La vibrazione eterea cadendo sulle molecole sincrone del sodio, vi perde la sua forza viva, producendo però nelle molecole del sodio stesso un aumento di forza viva

$$\frac{1}{k} Mv^2$$

essendo $\frac{1}{k}$ un coefficiente frazionario. La forza viva del sodio vibrante sarà allora

$$Mv^2 \left(1 + \frac{1}{k} \right),$$

e se questa sarà maggiore di mV si avrà linea lucida, se minore si avrà linea oscura, se eguale si avrà luce uniforme.

È chiaro che da questi ragionamenti si potrebbe trarre qualche ulteriore conseguenza per determinare k , e vi si potrebbero trarre varii punti di fisica molecolare, ma andremmo troppo fuori del nostro scopo. Così è dunque spiegato il fenomeno che tanto sorprese Kirchoff di vedere che in un caso la riga del sodio proiettata sul sole appariva lucida (quando lo spettro solare era debole), e appariva nera nell'altro (quando lo spettro solare era fortissimo).

Solo diremo che il sig. Tyndall riflettendo alla enorme sproporzione di assorbimento che corre tra i corpi semplici e i composti, crede che questi siano più assorbenti non solo pel loro sincronismo, ma anche per la moltitudine delle facce che presentano all'etere le loro molecole composte; e mentre i gas semplici possono paragonarsi alle semplici sfere, i composti sarebbero di struttura immensamente più atta a resistere al moto del mezzo e a fare attrito alle onde eteree

e a distruggerne la regolarità. Così p. e. l'ossigene e il nitrogene condensati a pari densità assorbono come 1, mentre combinati in ossido nitroso assorbono come 250. L'idrogeno e l'ossigene condensati esercitano un'azione appena sensibile, mentre quella del vapore d'acqua è sì forte che mentre l'aria ordinaria assorbe come 1, la semplice aria umida assorbe come 60.

L'idrogeno e il nitrogene condensati assorbono debolissimamente, ma uniti chimicamente assorbono potentemente e in generale tanto più è forte l'assorbimento quanto più alta è la composizione de' gas. E quindi egli crede che sia ottimo argomento questo per concludere che l'azoto e l'ossigene non sono combinati chimicamente nell'atmosfera terrestre, ma soltanto mescolati, appunto perchè essi assorbono pochissimo.

Non è necessario insistere che il principio assunto, che il moto etereo si trasformi moto molecolare con onda sincrona e talora anche non sincrona e tale che non può rifiutarsi, e per le onde non sincrone sembra posto fuori di dubbio specialmente dai fatti osservati da Stokes sulla variazione di refrangibilità de' raggi, dalla fosforescenza di Becquerel e dai fatti trovati da Niepce sui moti della luce generatori delle azioni chimiche, ec.

Dopo questa necessaria digressione per intendere la teoria di Kirchhoff, sulla formazione delle linee nere dello spettro, ne risulta che quantunque il nucleo solare o la superficie in cui ha sede l'origine della sua luce e del suo calore emetta raggi di ogni lunghezza di onda eterea, pure alcuni di questi dovranno venire assorbiti dalla sua atmosfera, per la quale devono passare prima di arrivare a noi, e saranno precisamente assorbiti dai vapori de' corpi omologhi che emettono appunto l'onda che trovasi mancante nello spettro solare: così il vapor di sodio assorbirà certi raggi gialli, il tallio certi verdi, il litio certi rossi ec. di determinata refrangibilità pari a quella che emettono questi metalli quando bruciano.

Quindi dalle righe nere esistenti nello spettro solare si potrà argomentare quali siano le sostanze che trovansi in istato di vapore nell'atmosfera solare. Così si è appunto argomentato esservi il sodio, il ferro, il magnesio ec.

Lo spettro solare descritto e disegnato da Kirchhoff con estrema pazienza e diligenza, mostra delle numerose coincidenze tra le linee lucide de' varii metalli in combustione elettrica o ordinaria con le righe nere del sole, donde può concludersi la presenza del vapore di que' metalli nell'atmosfera solare. Così trovandosi che circa 60 in numero di quelle lucide del ferro coincidono con altrettante di oscure nello spettro solare e ciò con tal proporzione che le più vive corrispondono alle più scure e larghe, si conclude che vapori di ferro esistono probabilmente nell'atmosfera solare, perchè nella terrestre non si ha ragione da supporvi tanti vapori di questa sostanza.

Simili ricerche provarono l'esistenza del sodio, calcio e magnesio, cromo, nikel, e potassio in stato libero e probabilmente anche del cobalto. Il bario, il rame e lo zinco se vi sono trovansi in piccole proporzioni perchè alle righe lucide di questi corrispondono linee di debole oscurità nel sole. Il silicio sembra mancante come pure l'oro, l'argento, il mercurio ec., ma la mancanza delle linee di un metallo non ne prova l'assenza assoluta, perchè può esistere in qualche combinazione le quali come ha provato Mitscherlich hanno righe diverse dai metalli puri. Inoltre esse dipendono dalla temperatura nello stesso metallo, per cui p. es. il litio può dare il bleu e il giallo oltre il rosso: le molte linee che non hanno analoghe in quelle de' metalli, possono nascere appunto da tali composti (1). La grande altezza dell'atmosfera solare fa che l'assorbimento sia completo, e direi quasi la filtrazione de' raggi perfetta, per il semplice transito de' raggi perpendicolarmente alla sua spessezza e ciò potrebbe dar ragione dell'esser nulla la diversità delle righe al centro e agli orli del sole, o se non è nulla, l'averla ridotta a tale che non bastano ordinarii strumenti per riconoscerne la diversità (2).

L'analisi spettrale ha aperto un nuovo campo alla chimica, ma non dobbiamo lasciarci trasportare a vane speranze.

(1) Pogg. *Ann.* cxvi. 499.

(2) V. sopra *Bullettino* vol. II. n. 1. pag. 4

Se è possibile definire che l'una o l'altra sostanza esiste nel sole pel principio di assorbimento, non sarà egualmente facile determinare tutte le sostanze ivi contenute. Di più non è dimostrato da ciò, che tutte le righe mancanti nello spettro solare manchino per assorbimento, potendo assai probabilmente alcune mancare per difetto reale di qualche materia che bruci. Il supporre poi che il sole debba emettere raggi di tutte le refrangibilità è puramente gratuito: ma anche ammesso ciò non include punto che esso sia un corpo solido o liquido incandescente, potendosi emettere raggi di tutte le refrangibilità da certi corpi gassosi incandescenti non metallici, come pel carbone ne abbiamo il caso ovvio nel nastro luminoso tra i carboni della pila di Volta.

Perciò non crediamo che questi fatti possano distruggere l'opinione di chi ammette che la sede del calore e della luce solare sia nella fotosfera, anzichè nel nucleo del sole, e quindi non crediamo ancora dimostrata falsa la teoria che crede esser le macchie solari squarci nello strato incandescente stesso della fotosfera come credono alcuni. Quindi la teoria che vi si vorrebbe sostituire, cioè che le macchie fossero formate da nubi, non potrà certo ammettersi per ragione di queste semplici premesse, mentre altri fatti di ogni specie mostrano che le macchie solari non sono certo nubi in vero senso, benchè sia incontrastabile che quelle cavità che le costituiscono debbano esser riempite di materia molto meno lucida e luminosa del resto, ma ancor essa trasparente, come da tutto il complesso de' fenomeni che presentano le macchie può rilevarsi, e come sono trasparenti le prominenze rosse che si vedono nelle eclissi, le quali nulla hanno che fare colle macchie.

§. 4. *Raggiamento del Sole e sua perdita annuale di calore.*

La forza raggiante del Sole è stata soggetto di molto studio di questi ultimi anni, ma a dir vero non sembra che i risultati abbiano finora raggiunto completamente il desiderato scopo. Perchè è bensì certo che usando gli stessi metodi e lo stesso modo di esperimenti si arriva più o meno

alla stessa conclusione numerica, ma ciò non toglie che vi sia grande incertezza, perchè variando in modo fondamentale i modi di osservazione, variano pure notabilmente i risultati, talchè si ha ragione di sospettare di qualche vizio radicale nella teoria assunta. Nè ciò fa meraviglia, perchè difficoltà d'ogni specie si attraversano a tali determinazioni. La questione abbraccia due parti: la 1.^a riguarda la quantità assoluta del raggiamento solare, la 2.^a quella che arriva a noi; la cognizione dalla prima dipende dalla seconda, sulla quale soltanto noi possiamo sperimentare. Infatti i raggi solari prima di arrivare ai nostri strumenti devono attraversare una grande spessezza di atmosfera terrestre e il dedurre da quelli che arrivano al basso la quantità di quelli che cadono al limite superiore della medesima, non può farsi senza invocare supposizioni più o meno plausibili sulla elevazione dell'atmosfera stessa, su la sua forza assorbente, e sulla sua termocrosi, le quali sono tutte più o meno incerte.

Di queste toccheremo quando parleremo dell'assorbimento: per ora dobbiamo riguardare questi risultati solo in rapporto al nostro soggetto che è di cercare di valutare qual possa esser la forza radiante diretta del sole. Ora sotto questo rispetto i fisici, e specialmente il sig. Forbes, convengono che l'intensità assoluta del raggiamento solare incidente al limite dell'atmosfera terrestre è stata stimata al di sotto del vero da tutti gli autori (1); perchè essendosi giudicato che l'atmosfera terrestre trasmettesse circa $\frac{3}{4}$ del calore incidente, la vera porzione trasmessa, non eccede invece probabilmente la metà, e Forbes al più la porta a 0,534. Ciò premesso, prendendo a base questi lavori per stimare la forza del raggiamento solare, non vi sarà pericolo di esagerare, ma piuttosto di stare molto al di sotto del vero.

La ricerca sulla temperatura assoluta del sole e del suo raggiamento è come ognun vede strettamente meteorologica, perchè da essa dipende la costanza del clima e della temperatura superficiale del globo terrestre. Però la storia sembra indicarci che gli effetti solari sul globo terrestre

(1) Forbes. *Ph. Trans.* 1842. part. II. pag. 262. n.º 89.

non hanno sensibilmente variato dopo la comparsa dell'uomo sulla faccia della terra: noi vediamo nelle più antiche memorie dell'Egitto i medesimi vegetali ivi germoglianti come li vediamo adesso: le epoche delle inondazioni del Nilo non erano diverse dalle presenti, il che mostra che le vicende meteorologiche prese più in grande, e che poco dipendono dalle circostanze locali, ma solo dal giro del sole, erano le stesse allora come al presente.

Una tale costanza negli effetti terrestri suppone almeno pari costanza nella causa produttrice, ed è un bel problema fisico quello di studiare qual sia la ragione di tale invariabilità per periodi così lunghi.

Per risolvere questa quistione, si cerca adunque: 1.^o quanta sia l'annuale spesa di calore che subisce il sole: 2.^o quanta esser possa la sua temperatura assoluta attuale: 3.^o quali mezzi possono assegnarsi per conservare invariabile, tale temperatura e forza radiante. Esporremo su di ciò i lavori dei recenti fisici e specialmente dei sigg. Waterston e Thomson che sono i più recenti e i meno conosciuti tra noi.

La perdita annuale di temperatura nel sole può argomentarsi dalla quantità di calore che cade sulla terra, corretta come si è detto dall'assorbimento atmosferico. Questa quantità secondo il sig. Forbes è tale che in 24 ore sarebbe capace di fondere uno strato di ghiaccio alto 0^m.55. Il signor Pouillet dà 31^m in un anno, ossia 0^m.81 in un giorno; le quali quantità non sono certamente esagerate, e può ammettersi che sia di 2 piedi inglesi = 0^m.609. Quindi mediante la legge del quadrato delle distanze risalendo alla temperatura solare, si trova che essa equivale a 1^p.04 = 0^m.312 per secondo alla superficie del sole (1); onde supponendo la densità e la capacità calorifica del sole pari a quella dell'acqua distillata si trova che la sua temperatura deve abbassarsi di 6^o.425F. all'anno, ossia di 3^o.7C. se poi la materia solare avesse soltanto la capacità calorifica del ferro, l'abbassamento di temperatura sarebbe 9 volte maggiore, e così dicasi in pro-

(1) La quantità data per ciò da Pouillet è solo 0. p. 64. Quindi è necessaria una revisione di tali lavori.

porzione di un'altra capacità assunta qualunque. Avendo l'acqua la maggior capacità di tutti i corpi a noi cogniti non saremo nè anche qui al di sotto del vero in tale supposizione. Il sig. Thomson partendo da non so quali elementi assegna un abbassamento di 3°C. in due anni (1). Anche limitandosi a questo estremo così minimo, risulta che ogni piede quadrato della superficie solare emette tanto calore in ciascun secondo, quanto ne emetterebbero bruciando lib. 0.42 di carbone = 190 gram. ossia che ci vorrebbero 1500 lib. ingl. = 679 kilog. di carbone ogni ora per produrre pari quantità di calore, il che equivarrebbe a 7000 cavalli di forza: quantità che anche considerata su pochi metri di superficie supera quella che ora si brucia su tutti i vapori di mare e di terra in attività.

Tale sarebbe la quantità di calore emessa per ogni piede quadrato della superficie solare. Da ciò risulta in conclusione che prendendo anche una delle più moderate stime per la diminuzione corrispondente della sua temperatura dandogli la capacità calorifica media delle materie a noi conosciute, esso non potrebbe diminuire meno di 4 in 5°C. all'anno, quando non avesse modo di compensazione. Onde se la temperatura sua assoluta non fosse che di qualche migliaio di gradi, presto sarebbe estinto, o almeno le sue variazioni sarebbero state sensibili dentro i periodi storici. Ma quale è questa temperatura?

§. 5. *Temperatura del Sole.*

Per sciogliere questo quesito il sig. Waterston ha intrapreso alcuni esperimenti dei quali passiamo a parlare (2).

Esso premette che tal deduzione della temperatura del sole non può ricavarsi che dalle osservazioni actinometriche, le quali si fondano sul diverso riscaldamento di un corpo quale si ha all'ombra e al sole: ora suppongasì che la temperatura del sole sia doppia dell'attuale, è probabile che

(1) *Thomson on the mec. energies of solar system*, pag. 64 nota.

(2) *Waterston. Monthly Notices of the R. Astr. Society.* London 50 March 1860, vol. xx. pag. 197.

anche la temperatura assoluta all'ombra e al sole sarebbe doppia del valore attuale, e conseguentemente anche la loro differenza, sarebbe doppia: talchè questa differenza determinata colle debite precauzioni, sarebbe una funzione della temperatura assoluta del sole, e avrebbe un rapporto costante colla medesima. Talchè l'aumento di temperatura pel raggiamento solare deve esser lo stesso (fino a certi limiti) qualunque sia la temperatura del mezzo, almeno se si consideri l'azione del solo raggiamento. Ciò premesso, secondo la legge di equilibrio del calorico raggiante in una cinta di cui una parte n^{ma} sia ad una temperatura $t + x^0$, e tutto il resto dello $n - 1$ parti a t , la temperatura $t + \tau^0$ a cui salirà un corpo in essa collocato, si avrà dalla equazione

$$1. (t + x^0) + (n - 1) t = n (t + \tau^0);$$

donde si conclude

$$x^0 = n\tau^0.$$

Questa equazione mostra il rapporto tra la temperatura x^0 della porzione più raggiante e l'aumento τ^0 del corpo collocato dentro la cinta di cui le $n - 1$ parti sono solo alla temperatura t .

Si può arrivare a questa equazione per altra via. Il corpo collocato nella cinta di cui una parte n^{ma} sia dotata di una temperatura x^0 superiore al resto, nel tempo dt acquisterà una temperatura $1.x^0 dt$ e raggiando esso contro tutti i punti della sfera, non escluso il cono che ha per base la parte più calda, perderà una porzione di calore

$$- n\tau^0 dt$$

se τ^0 è la temperatura che si trova avere; quindi chiamando $d\tau^0$ l'aumento di temperatura che nasce nel corpo in un tempuscolo infinitesimo, per la differenza delle due azioni, l'equazione dell'aumento di temperatura sarà:

$$d\tau^0 = x^0 dt - n\tau^0 dt;$$

questa integrata, ponendo la costante $C = 0$ quando il tempo $t = 0$, dà l'equazione

$$\tau^0 = \frac{x^0}{n} \left(1 - \frac{1}{ekt} \right).$$

Col crescere del tempo t presto il secondo termine diventa $= 0$, donde resta

$$\tau^0 = \frac{x^0}{n}, \quad x^0 = n \tau^0$$

come sopra.

In questa equazione non si è avuto riguardo alcuno alla quantità di calorico scambiata per l'azione del contatto dell'aria che certamente non è trascurabile. Il sig. Waterston ha fatto a questo proposito delle esperienze sul raffreddamento che un medesimo termometro subisce nell'aria e nel vuoto, e ha trovato che mentre in questo le perdite di calore erano proporzionali rigorosamente alle temperature, nell'aria esse avean luogo in una ragione più rapida, e ne ha dato una formola di riduzione mediante la quale dagli esperimenti fatti nell'aria si può avere quella proporzione di raggiamento che si avrebbe nel vuoto (1).

L'apparato con cui esso la prima volta cercò di determinare la quantità τ^0 era composto di tre scatole concentriche, separate da una certa distanza, e ben protette da tutto l'esterno raggionamento: con l'aria calda di una lucerna d'Argand poteva lo spazio compreso tra questi involucri elevarsi a qualunque temperatura fino a $400^\circ \text{F} = 222^\circ \text{C}$.

Egli operava nel puro clima dell'India; il sole era alto circa 70° con l'atmosfera perfettamente calma e tranquilla.

Lasciati cadere i raggi solari sul termometro posto entro le scatole, attraverso una triplice lastra di vetro, che ne chiudeva la bocca, immediatamente il termometro salì di $50^\circ \text{F} = 27.8^\circ \text{C}$, il punto di partenza essendo $80^\circ \text{F} = 26.67^\circ \text{C}$,

(1) *M. N. R. Astr. Soc. London*, vol. **xxii**, pag. 75.

onde il mercurio si fermò a $130^{\circ} \text{F} = 54^{\circ}.44$. Messa allora la lucerna a debolè calore, si portò tutto l'involuppo alla temperatura di $130^{\circ} \text{F} = 54^{\circ}.44$ C, senza sole: indi si riannuie il raggiamento solare e ~~sali~~ il termometro di altri 50°F e si fermò a 180° . E così progredendo si andò fino a portare l'apparato a $230^{\circ} \text{F} = 120^{\circ} \text{C}$, senza che si notasse nella celerità del riscaldamento, mentre si ammetteva il raggio solare, nessuna differenza; quando si partiva da diverse temperature.

Assumendo pertanto come $50^{\circ} \text{F} = 27^{\circ}.8 \text{ C}$, il valore di r° , si avrà n comparando il valore della capacità del cono che ha per base il sole col resto della superficie della sfera. Assunto il diametro solare alla distanza media della terra $= 32' 3,6$, si trova $n = 183960$ ed $x = 9180000 \text{ F} = 5,100000 \text{ C}$ ossia cinque milioni e cento mila gradi centigradi.

Esso giudicò che questa quantità non improbabilmente si sarebbe potuta portare a 12 milioni di gr. F. ossia $6,700000 \text{ C}$, tenendo conto dell'assorbimento dell'aria (1).

Il descritto apparecchio è in sostanza quello di Saussure, colla differenza che se ne può variare la sua temperatura assoluta. Per rendersi libero dalle obbiezioni fatte all'apparato di Saussure, il sig. Waterston ne ha costruito un altro consistente in un tubo di bronzo lungo sei pollici del diametro interno di circa un pollice in cui sono due termometri, uno annerito concentrico sull'asse del tubo, che riceve il raggiamento solare, l'altro inserito dentro le pareti del tubo per avere la temperatura del tubo stesso; una leggier foglia di talco copre la bocca del tubo per impedire il rinnovamento dell'aria. Colle variazioni di temperatura osservate in questo apparato esso ha determinato i coefficienti dell'assorbimento atmosferico, e determinato l'innalzamento di temperatura che subirebbe il termometro alla superficie dell'atmosfera, ossia la radiazione extra-atmosferica e l'ha trovata $= 70^{\circ} \text{F} = 39^{\circ} \text{C}$. Quindi risulta per la temperatura solare 12 milioni di gradi Fabr. ossia 6 milioni e 700000 gradi centigradi.

(1) *Month. Not. Astr. Soc.* vol. xx. March. 1860.

Può sembrare sorprendente nel primo esperimento come il sole abbia prodotto sensibilmente la stessa elevazione di temperatura malgrado che l'ambiente avesse tanto diversa temperatura: ma cesserà la sorpresa se si considera che anche nelle osservazioni ordinarie tra la temperatura media del giorno desunta dal termometro all'ombra, e quella del termometro al sole, in generale non si hanno differenze molto diverse dall'estate all'inverno. Noi per Roma l'anno scorso trovammo questi numeri :

Inverno	differenza	10.5
Primavera	"	9.7
Estate	"	9.3
Autunno	"	7.9
Medio		<u>9.3</u>

La quale è minore nell'autunno, forse per le piogge di quest'anno. È curioso che essa è più forte nell'inverno che in tutte le altre stagioni. Abbiamo aggruppato solo le cifre rapporto alle stagioni perchè nei mesi e nelle giornate particolari vi sono differenze troppo notabili.

La forza raggianti adunque del sole sarebbe dietro ciò di circa 7 milioni di gradi centigradi.

È difficile con tale elevatezza di temperatura il supporre che il sole possa essere solido o liquido quindi quello che da noi dicesi nucleo oscuro dovrebbe esser formato di materia gassosa, ma estremamente condensata e solo men lucida di quella che forma la fotosfera. Però osserva il sig. Waterston che questa è meramente una temperatura *potenziale*, cioè considerata dietro la sua forza efficace, ma che la temperatura attuale può esser minore; e ciò avverrebbe se la materia solare incandescente fosse trasparente. Infatti sperimentando esso con delle fiamme a gas poste una dietro l'altra, trova che la radiazione di 4000 di esse così collocate avrebbe una potenza pari a quella del sole. Ora che una porzione delle fiamme esistenti nel sole sia trasparente lo sappiamo dai fenomeni delle eclissi, perchè, i luoghi ove sono le prominente rosse non sono punto corrispondenti a spazi oscure sul resto del disco del sole.

Senza pretendere di dare più peso a tali ricerche di quello che esse meritano realmente, possiamo concludere che sia enorme la temperatura solare e maggiore di quanto si è creduto finora. Ma per immensa che essa sia, colle perdite che esso fa ogni giorno, pure non potrebbe avere una invariabilità assoluta, e quindi i fisici si sono dati a cercare in qual modo si possano esse compensare, poichè contando a un minimo 3°.C. all'anno, pure dall' epoche storiche a noi esse ne avrebbero diminuita la forza di $\frac{1}{70}$ e ciò basandoci su le ipotesi più favorevoli, ma sarebbe scemata molto di più se ci fondassimo su altri dati più probabili.

(*continua*)