NOTE E RIFLESSIONI

INTORNO

ALLA TEORIA ASTRONOMICA DELLE STELLE CADENTI

DI

G. V. SCHIAPARELLI

I. Base della nuova teoria.

1. Negli ultimi mesi dell'anno passato 1866 pubblicai una nuova teoria intorno al corso ed all'origine probabile delle stelle meteoriche, colla quale io m' ingegnava di porre in luce le notabili analogie che esistono fra questi astri fuggitivi e le comete. Erami sembrato difficile conciliare il moto retrogrado e le grandi inclinazioni delle loro traiettorie coll'ipotesi delle orbite circolari (o quasi circolari) pur allora applicata dal professor Newton alle stelle di novembre, e con visibile favore accolta dai più valenti investigatori di questa materia, specialmente in Inghilterra. Mosso dal pensiero di esaminare se per qualche argomento non si potesse alfine decidere intorno all'origine ed al corso tenuto da questi astri, posi in bilancia il valore comparativo dei fatti tendenti a provare l'origine planetaria dei medesimi, con quello degli altri fatti che più tosto ci condurrebbero a supporre nate le stelle cadenti in quelle stesse regioni del cielo stellato, onde a noi vengono le comete. Le probabilità favorevoli alla seconda ipotesi mi parvero tanto preponderanti, che non dubitai di accingermi ad investigare in qual guisa questi sistemi di piccoli corpuscoli possono dalle

profondità dell'universo essere trasportati nelle parti più interne del sistema solare. Non senza grata sorpresa io riconobbi, che per ogni nube molto rara di materia (sia continua, sia discontinua) a sè chiamata dal Sole, la legge medesima dell'attrazione determina necessariamente la trasformazione di quella massa incoerente in una corrente sottile e lunghissima, inflessa secondo una curva, che negli spazi a noi più vicini poco differisce da una parabola, ed in generale si accosta ad una sezione conica molto allungata. Così mi parve aver ottenuto la chiave del fenomeno della *radiazione*, senza ricorrere ad alcuna ipotesi artifiziale. Le perturbazioni esercitate a piccola distanza da grossi pianeti sopra ammassi molto rari di materia, non ancora mutati in corrente sotto l'influenza del Sole, bastarono poi a spiegare la formazione delle correnti annulari, che producono le apparizioni periodiche simili a quella del novembre.

2. Questa teoria, vera o falsa che vogliamo dirla, fu dagli uomini intelligenti di tali cose riputata degna di qualche considerazione. Un celebre astronomo francese dimostrò anzi col fatto, ch'ei non avrebbe sdegnato di aggiungere questa piccola fronda ai gloriosi allori da lui con tanto applauso già conquistati nell'arringo scientifico. Tuttavia, a vero dire, l'ipotesi in questione non era che il risultato di varie probabilità più o meno avvedutamente combinate. Mancavano quelle splendide confermazioni di fatto, le quali sole concedono di arrivare alla completa certezza nelle ricerche fisiche, e che sempre sono necessarie per conquistare il consenso dell'universale. A questa sarebbe toccata senza dubbio la sorte di cento altre teorie, se una delle più inaspettate combinazioni non si fosse tosto presentata a darle maggior prestigio. L'orbita delle stelle periodiche di agosto, calcolata secondo i principii della nuova teoria, fu trovata perfettamente identica a quella della grande cometa che apparve nell'estate del 1862. Le miriadi di meteore che rendono così splendide ed interessanti le notti del 9, 10, 11 agosto, formano adunque nel cielo il corteggio di quel nobile astro, ed occupano per intiero l'ellisse di cento e più anni ch'esso percorre nello spazio! Non molto tempo dopo si venne a scoprire che l'ellisse di 33 anni, calcolata per le stelle di novembre sui medesimi principii, era identica di grandezza, di posizione e di forma all'orbita descritta dalla unica cometa che apparve nel 1866. Più tardi nacque fondata

congettura, che le stelle cadenti del 10 dicembre descrivano nello spazio la medesima ellisse che la cometa enigmatica di Biela: e sono pochi giorni, dacchè una simile relazione fu annunziata come molto probabile fra le stelle cadenti del 20 aprile, e la prima cometa del 1861.

3. Per questi singolari trovati è diventato incontestabile, che fra le stelle cadenti e le comete esiste una stretta connessione. Le conclusioni finali della ipotesi da me proposta si sono splendidamente avverate col fatto, e la cortesia della natura ha vinto le più indiscrete aspettazioni. Le stelle cadenti hanno certamente origine colle comete o dalle comete. Esse non si aggirano in turbini od anelli press'a poco circolari nel piano principale del sistema planetario; nè hanno avuto origine comune coi pianeti. La loro patria sono quegli spazi immensi che corrono fra stella e stella, e che a noi paiono vuoti. I periodi delle loro rivoluzioni o non hanno luogo, o sono di molti anni. Esse arrivano a noi da tutte le parti del firmamento senza distinzione, riempiendo gl' intervalli planetari di un numero sterminato di correnti, le quali s' intrecciano e s' intersecano in ogni possibile maniera. Siamo in scambio permanente di comunicazioni cogli infiniti sistemi stellari che ne circondano, mentre per lo avanti appena di quando in quando ci veniva di là qualche raro visitatore. Chi può dire quanta materia riempie gli spazi che credevamo vuoti, e quali siano le modificazioni che l'attrazione di questa introduce nei movimenti dei corpi maggiori?

4. Volgendo lo sguardo alle cose che ancora ignoriamo, ed alle numerose questioni che si possono proporre, avremmo da fare un catalogo assai lungo. Esiste una connessione fra le comete e le stelle cadenti; ma di qual natura? L' ipotesi stessa che ha condotto a scoprirla, sarà essa la pura e completa espressione della verità, o si possono immaginare altri modi egualmente probabili di spiegare la relazione reciproca di astri in apparenza così diversi? Devesi riguardare ogni stella cadente come una cometa, o come un corpo di ordine diverso? È possibile supporre che le stelle cadenti nascano dalla dissoluzione delle comete? Ed in qual maniera si può immaginare una simile dissoluzione? O finalmente dovrassi riguardare ogni cometa come un cumulo di stelle cadenti? Qual relazione le code delle comete e la luce zodiacale possono avere con questi

corpuscoli? La connessione delle stelle cadenti e delle comete è necessaria, oppure accidentale? Esistono correnti meteoriche senza comete, e può immaginarsi una cometa non accompagnata da stelle cadenti? Le correnti meteoriche sono elle esclusivamente formate di materia discreta, o comprendono anche elementi di continuità? Sono elle perpetue ed indistruttibili? Quale influsso può avere sulle medesime l'attrazione dei pianeti che le attraversano? Possono cadere correnti meteoriche nel sole? Sarà possibile ridurre alle medesime leggi le stelle cadenti, i bolidi e gli aeroliti? Ed infine potremo sperare che dai nuovi trovati venga per sempre imposto silenzio ai partigiani della teoria atmosferica?

5. Sarebbe opera vana l'intraprendere oggi la discussione di tutti questi interessanti quesiti; molti di essi debbono attendere la loro soluzione da lunghe ed assidue osservazioni, per altri una risposta soddisfacente non si può attendere che dal tempo. Ve ne ha tuttavia un piccol numero, su cui già ora è possibile gettar qualche luce; di altri si può per mezzo di raziocinio limitare l'indeterminazione. In questa Memoria io mi propongo appunto di andar esaminando qua e là alcuni punti, su cui riflessioni prolungate mi hanno messo in grado di dire alcun che di nuovo e di utile per studi ulteriori. Un materiale di discussione abbastanza notabile si è già accumulato negli ultimi mesi; nuove ampliazioni e modificazioni furon proposte alla teoria da me pubblicata: altri la oppugnarono per sostituirvi idee lor proprie. Voglio emendare e rifare, occorrendo, ciò che ho scritto, profittando del lume che deriva dal cozzo delle opinioni. Ciò mi darà occasione a proporre alcuni nuovi pensamenti, i quali spero non riusciranno meno accetti degli antichi. Nello stesso tempo adempierò al grato officio di render la dovuta giustizia a coloro, che prima di adesso ebbero e sostennero le idee, ora diventate vittoriose, sull'analogia che corre fra le comete e le stelle cadenti. Lo scritto presente potrà dunque riguardarsi come una continuazione delle cinque lettere da me scritte al rev. P. Secchi sul corso e sull'origine probabile delle stelle meteoriche, e da questo pubblicate nel *Bullettino meteorologico del Collegio Romano* (1).

---

(1) V. il *Bullettino* suddetto, vol. V, p. 81, e vol. VI, p. 9.

II. Esame delle ultime obbiezioni che vengono opposte alla teoria cosmica.

6. *Ipotesi atmosferica.* Comincierò dall'esame degli ultimi argomenti che in loro difesa ancora sanno proporre i partigiani dell'origine atmosferica delle stelle cadenti e dei bolidi e degli aeroliti. A torto si crederebbe che l'evidenza dei fatti e degli argomenti assegnati dalla teoria cosmica abbia potuto ridurre al nulla od al silenzio la piccola, ma ostinata schiera di coloro, che non sanno intendere, come materia possa cadere dal cielo in terra. Appartengono ad essa distinti chimici e naturalisti; nè ancora son passati sei anni dalla pubblicazione di un libro abbastanza voluminoso di Kesselmeyer (1), in cui l'autore spiega una dottrina ed un ingegno degno di miglior causa, onde dimostrare che gli aeroliti sono il prodotto della condensazione di vapori emessi dai vulcani. L'ipotesi atmosferica, alquanto trasformata e corretta, forma la base di tutta la meteorologia di Coulvier-Gravier e de' suoi adepti, alla cui opinione pareva anche accostarsi alcuno dei nostri negli anni passati. Secondo questa scuola, la cui fede non è ancora stata scossa dai nuovi turbini che contr'essa han recentemente sollevato le comete, l'importanza delle stelle cadenti è tutta meteorologica (2). I propugnatori della teoria atmosferica modificata non si occupano dell'origine delle stelle cadenti, e sono anche disposti ad ammettere, specialmente dal novembre 1866 a questa parte, che elle vengano a noi dagli spazi celesti (3): ma sostengono che, appena entrati nell'atmosfera della terra, questi corpi diventino soggetti a tutte le sue mutazioni: e che il loro movimento ulteriore dipenda dalle varie impulsioni delle correnti aeree dai medesimi corpi attraversate. Essi negano affatto il fenomeno della *radiazione*, ed hanno anche inventato un mezzo assai ingegnoso per non vederlo mai,

---

(1) *Ueber den Ursprung der Meteoriten.* Frankfurt, 1861, 4°.

(2) Nei *Comptes rendus* dell'Accademia di Parigi, vol. LXIV, p. 595 (18 marzo 1866), può vedersi ancora sotto la rubrica *Meteorologia* una nota di Coulvier-Gravier sulle stelle cadenti.

(3) Coulvier-Gravier et Saigey: *Introduction historique*, p. 165-166. Coulvier-Gravier: *Recherches sur les météores*, p. 229. V. altresì il giornale di Moigno intitolato *Les Mondes*, tomo XII, p. 650.

quello cioè di osservare voltando le spalle a quella plaga del cielo da cui arriva il maggior numero di meteore. — Voi non vedete, dicono essi, la parte della traiettoria che appartiene agli spazi celesti, e sulla quale si potrebbero fondare ricerche veramente astronomiche: le stelle cadenti non diventano luminose, che al contatto dell'atmosfera, quando per conseguenza il loro moto primitivo è stato in mille guise modificato. Adunque lo studio delle curve da loro descritte appartiene alla meteorologia, non all'astronomia. — Questa conclusione sarebbe vera, quando le premesse fossero esatte. Si concede, essere invisibile la parte della traiettoria, che appartiene ai vacui celesti; ed ancora si può ammettere che la visibilità delle stelle cadenti dipenda dal loro contatto coll'atmosfera. Ancora è vero che i diversi movimenti onde gli strati di questa sono animati debbono, secondo i principii della meccanica più elementare, influire sulla natura della traiettoria che noi vediamo. Ma il grado di importanza di questo ultimo effetto è stato singolarmente esagerato dagli avversari della teoria cosmica.

7. *Influenza della rotazione dell'atmosfera sulla traiettoria delle stelle cadenti.* Il primo e più generale movimento dell'atmosfera è quello della rotazione diurna, ch'essa ha comune col rimanente del nostro pianeta. La sua direzione è, per ogni luogo della terra, da occidente in oriente: la sua velocità è di 15 miglia italiane al minuto per i paesi dell'Equatore; per la latitudine di 45° è di miglia 10,61. Quanto alla velocità delle stelle cadenti, essa è stata molte volte misurata direttamente, e si può esser certi, indipendentemente da ogni speculazione connessa colla teoria cosmica, che tale velocità è spesso superiore a quella con cui la terra percorre il suo giro annuale. Non sarà dunque esagerato il supporre che le stelle cadenti giungano a noi con una velocità relativa di 1000 miglia per minuto (1). Poniamo ora che sopra il parallelo di 45° arrivi colla detta velocità una meteora, cadendo in direzione esattamente verticale: entrando essa nell'atmosfera rotante della terra, riceverà un impulso orizzontale, il cui effetto, dapprima insensibile, andrà crescendo, e finirà

(1) Ciò che fa quasi esattamente la velocità orbitale della terra.

col comunicare alla meteora una velocità orizzontale eguale a quella di cui l'atmosfera è dotata. Ciò non accadrà che gradatamente; tuttavia, per maggior semplicità e per dare all'influsso dell'atmosfera rotante tutta la potenza immaginabile, supporremo che la meteora acquisti la velocità orizzontale dell'atmosfera fin dal primo istante in cui in essa vi è penetrata. Allora la stella non cadrà più nella direzione del raggio terrestre, ma descriverà una retta obliqua inclinata da ponente a levante, e faciente colla verticale l'angolo di 36′ 28″ che ha per tangente il rapporto $\frac{10.61}{1000}$ della velocità dell'atmosfera alla velocità della stella cadente. Tale deviazione, per sè molto piccola, rimarrebbe tuttavia inavvertita dallo spettatore, il quale, partecipando al movimento rotatorio dell'atmosfera, vedrebbe ancora la stella cadere esattamente in direzione verticale (1). Al contrario, se la stella fosse caduta senza provare effetto alcuno dall'atmosfera, ed avesse seguìto esattamente la direzione del raggio terrestre, lo spettatore avrebbe veduto venir la meteora in direzione lievemente obliqua, e il centro di radiazione, invece di trovarsi allo zenit, sarebbe collocato a 36′ 28″ da questo punto verso levante (2).

8. Stando così le cose, noi potremmo dire che la resistenza dell'atmosfera serve a rettificare la posizione del centro di radiazione, che in mancanza d'atmosfera sarebbe soggetto ad un'aberrazione analoga a quella della luce. Tuttavia in realtà si ha un fenomeno alquanto diverso. Entrando la stella cadente non viene deviata subitamente, ma per gradi: onde veramente la traiettoria nell'aria, la quale alla sua origine è tangente alla direzione primitiva nel vuoto, si viene incurvando, e soltanto dopo un tempo alquanto lungo la sua direzione sarà quella che abbiamo poco fa descritta. Nel caso da noi considerato l'angolo fra la direzione primitiva e la direzione ultima o deviata, non potrà superare 36′ 28″. E lo spettatore vedrà la stella cadere secondo una linea lievemente incurvata, di cui la parte superiore avrà per centro di radiazione un punto non più

(1) Non si tien qui in conto la curvità della terra e degli strati atmosferici, della quale l'effetto è del tutto insensibile in questo calcolo.

(2) Centro o punto di radiazione diciamo quel luogo, dove la parallela condotta alla traiettoria per l'occhio dello spettatore incontra la sfera celeste.

distante dallo zenit, che 36′ 28″, mentre la parte inferiore tenderà allo zenit colla sua tangente (1). Così piccolo è dunque l'effetto per una stella cadente secondo la verticale. Per traiettorie inclinate l'effetto sarà minore in proporzione del seno dell'angolo che esse fanno colla linea Est-Ovest, cioè colla direzione del moto rotatorio terrestre. In nessun caso sarà sensibile alle osservazioni.

9. *Influenza dei venti.* Noi potremo con ben maggior forza affermare la stessa cosa dell'influenza dei venti, cui il Coulvier-Gravier attribuisce tanta importanza. Senza dubbio essi incurvano alquanto le traiettorie; ma questa curvatura sarebbe ancora insensibile per un vento di velocità eguale a quella della rotazione terrestre, che sotto il parallelo di 45° è anche la velocità del suono. Per ottenere gli effetti di deviazione e di curvatura, cui accenna Coulvier-Gravier, sarebbe necessario supporre venti la cui velocità fosse 30, 40 e 50 volte quella della rotazione terrestre; i quali per conseguenza compiessero il giro intiero del globo in un'ora od in mezz'ora! Con tale velocità la forza centrifuga caccerebbe la nostra atmosfera negli spazi planetari, e noi rimarremmo in un vacuo più perfetto di quello del barometro. Ma un'idea esatta di ciò che possono i venti per incurvare le traiettorie delle stelle cadenti si potrà avere, osservando quelle striscie di vapori luminosi, che talora le stelle cadenti lasciano dietro di sè in foggia di coda cometica, e che non di raro persistono per intieri minuti. Se qualche cosa vi ha che debba obbedire all'impulso dei moti atmosferici, certo sono queste masse nebulose, in cui la velocità preesistente viene rapidissimamente spenta dalla resistenza dell'aria. Ora l'osservazione mostra, che per lo più tali code luminose rimangono per lungo spazio quasi immobili, e raro avviene che un occhio esercitato possa scorgervi traccie di lentissimo movimento. È dunque impossibile supporre in quelle alte regioni venti capaci di deviare notabilmente le meteore dal loro corso. — Egli è probabilmente nell'intento di evitare l'effetto di tali argomenti, che recentemente gli atmosferici hanno sostituito all'azione diretta dei venti una forza misteriosa,

(1) Suppongo che al fine della sua corsa nell'atmosfera la meteora abbia ricevuto in totalità l'impulso orizzontale, che le comunica l'aria rotante.

potentissima, di rapida azione, avente la sua sede nelle regioni più elevate dell'atmosfera, capace di regolare colla sua influenza in brevissimo tempo tutti i movimenti degli strati inferiori da un capo all'altro della terra [1]. A questa forza vengono attribuiti gl'incurvamenti e le deviazioni delle traiettorie descritte dalle stelle cadenti. Ma qual è la natura di questo *Deus ex machina*, inventato a posta per la circostanza, e qual è la categoria di forze con cui si può stimare abbia qualche analogia? E quale altro indizio possiamo avere della sua esistenza?

10. *Traiettorie curve.* Io vengo ora ad un altro fortissimo propugnacolo delle teorie atmosferiche, che è la curvatura talvolta assai sensibile, osservata in alcuna delle traiettorie. Questo curioso fenomeno si mostra sotto diverse forme. Assai spesso avviene di osservare nel corso delle stelle cadenti (specialmente delle meno veloci) una oscillazione, o diremo, una incertezza di direzione, la quale fa sì che la meteora piega lievemente ora a destra, ora a sinistra, descrivendo, invece di un circolo massimo, una curva alquanto ondata. Più raramente accade che la traiettoria sia fortemente incurvata, in guisa da mutare la sua direzione di un angolo retto, od anche di due angoli retti, ritornando verso quella plaga donde è venuta. Dalle sue lunghe e perseveranti osservazioni Coulvier-Gravier ha trovato che il numero delle traiettorie così curve può stimarsi a circa tre per mille del numero totale. A me è avvenuto di osservare due volte questo singolare fenomeno, sebbene assai più spesso abbia veduto stelle procedenti con corso irregolare, o malamente imitante il corso massimo. Infine, rarissimo è il fenomeno del *serpeggiamento*, in cui la stella descrive una linea fortemente sinuosa. Osservazioni di questo genere non si presentarono a Coulvier-Gravier che tre o quattro volte in molti anni, e recentemente linee spirali e serpeggianti furono notate da alcuni osservatori in occasione dell'ultima pioggia di novembre. Esempi di queste linee troviamo tuttavia già citati da Chladni e da Brandes.

11. Tutti questi strani fenomeni non richiedono punto il concorso del vento, o di multiple correnti atmosferiche, agitanti le stelle cadenti

---

(1) *Recherches sur les météores*, p. 254-269.

in varie direzioni. Allorquando una stella cadente penetra nell'atmosfera, le forze di natura certa e conosciuta, dalle quali il suo movimento dipende, sono due: la gravità e la resistenza del mezzo. Ora è facile convincersi che, durante il brevissimo tempo che corre fra l'accensione e l'estinzione della stella cadente, l'effetto della gravità può riguardarsi come nullo. Non abbiamo dunque altro a considerare che la resistenza dell'aria. Quando la stella cadente fosse un semplice punto materiale, o una sfera omogenea, priva di sensibile rotazione, tale resistenza, applicandosi sempre in direzione opposta a quella del moto, non varrebbe a cambiare questa direzione, e se il moto era rettilineo nel vacuo, sarà ancora rettilineo quando si aggiunga l'influsso del mezzo in cui si muove. Se all'incontro il proiettile ha un movimento rotatorio, o non è di forma sferica, o se si combinano queste due circostanze, avverrà che in ciascun momento la risultante di tutte le resistenze avrà una direzione diversa da quella del moto, e si produrrà una componente laterale, capace d'incurvare la traiettoria in modo sensibile. Si vede adunque che il movimento delle stelle cadenti nell'atmosfera appartiene ai problemi più complicati della balistica.

12. *Movimento delle palle dei cannoni rigati.* Le palle delle artiglierie rigate non sono sferiche, ma per lo più oblunghe di profilo ogivale: esse hanno un moto di rotazione intorno al loro asse di figura, che viene impresso dalle spire del pezzo. Il loro corso nell'aria resistente può darci qualche schiarimento intorno alle traiettorie descritte dalle stelle cadenti. La determinazione del movimento di questi proiettili è un problema di grave difficoltà, che fu trattato in Italia dal conte Paolo di San Roberto ed in Russia dal generale Mayewski. Non avendo a mia disposizione i risultati del primo, addurrò quelli del secondo, descritti nel tomo VIII del *Bullettino* dell'Accademia di Pietroburgo. Mentre che il centro di gravità del proiettile oblungo descrive la sua traiettoria nell'aria, l'asse di figura del medesimo gira intorno alla tangente, descrivendo una superficie conica. Il numero dei giri può arrivare a due o tre, ed è tanto maggiore quanto più considerabile è la velocità iniziale del movimento. Questo moto conico del proiettile produce corrispondenti sinuosità nella traiettoria descritta, le quali però non sono abbastanza grandi per alterarne la direzione generale; e le ondulazioni che ne derivano, sono appena

di qualche decimetro nel senso trasversale. Ma il fenomeno più singolare consiste in una deviazione laterale del proiettile, in virtù della quale esso non fa il suo moto in un piano verticale, ma va costantemente deviando verso destra o verso sinistra, secondo la direzione in cui s'avvolgono le spire del pezzo. Di guisa che la proiezione della traiettoria sopra un piano orizzontale non è la retta che segna la direzione dell'asse dell'anima: ma una curva tangente a tal retta all'uscita dalla bocca, curva che è poco diversa (per i casi trattati dal MAYEWSKI) da un arco di circolo, e la cui deviazione dalla direzione iniziale cresce rapidamente, a misura che si va più lontano. Per calcolo e per esperienza MAYEWSKI ha trovato che un proiettile oblungo di quattordici libbre impiombato, tirato sotto l'angolo di 10° con velocità iniziale di 1604 piedi per secondo, devia a destra non meno di 40 piedi dopo una corsa di 8400: e le condizioni del movimento sono tali, che se il proiettile potesse sottrarsi all'azione della gravità, cotale deviazione finirebbe per ripiegare la traiettoria, riconducendola verso il punto di partenza, dopo fatto un gran giro nel senso orizzontale. Simile giro, se le condizioni del movimento rimanessero presso a poco costanti, potrebbe assomigliarsi ad un circolo avente un raggio di 882,000 piedi o di 270 chilometri. Un obice di 4, lanciato a 45° a distanza di 1316 piedi, devia in questo tratto non meno di 27 piedi: e la proiezione orizzontale della traiettoria è pochissimo dissimile da un arco di circolo avente per raggio 64,000 piedi, o 20 chilometri. Gli effetti singolari qui descritti non hanno campo di svilupparsi in tutte le loro conseguenze durante il breve tragitto che sogliono fare le palle d'artiglieria: ma essi bastano a farci comprendere quello che avverrebbe, quando tale tragitto potesse essere indefinitamente prolungato.

13. *Effetti del Bumerang.* Da analoghi principii si deve ripetere la spiegazione delle curve straordinarie che fanno descrivere nell'aria gli indigeni dell'Australia al loro terribile *bumerang*. È un pezzo di legno indurito, della lunghezza di 50 centimetri, da una parte piano, dall'altra convesso, incurvato a foggia di mezza luna. Lanciato con tutta forza contro terra, rimbalza a destra, a sinistra, in alto, secondo l'intenzione del saettatore, e fa nella direzione del suo corso i cangiamenti più impreveduti. Talora accade che chi l'ha gettato è costretto a stendersi in terra per

evitarne i colpi [1]. L'invenzione di questo proiettile e l'arte di scagliarlo è parsa ad alcuno tanto sottile, da farvi entro ravvisare i segni di una civiltà decaduta [2]. Quest'arme non era ignota ai primitivi selvaggi dell'Europa occidentale, e gli antichi Celti ne usavano con egual destrezza che gli Australiani. Scrive infatti Isidoro vescovo di Siviglia, nel libro XVIII delle *Origini:* « Est genus Gallici teli, ex materia quam maxime lenta, quae jacta quidem non longe propter gravitatem evolat, sed quo pervenit, vi nimia perfringit: quod si ab artifice mittatur, rursus ad eum redit, qui misit [3]. »

14. *Moto elicoide prodotto dalla resistenza dell'aria.* Allorquando la rotazione di un proiettile è tale, che in capo a certi periodi vengano a ripetersi esattamente le circostanze che determinano il movimento, questo continuerà con legge simile al movimento precedente, e quindi il proiettile descriverà una curva tale, che tutte le sue parti siano simili e sovrapponibili. Ora tal curva nello spazio non può essere altro che l'elica, od i suoi casi particolari, la retta ed il circolo. Un grazioso esempio di tale movimento si ha nella seguente facile esperienza. Tagliato un pezzo di carta in forma di trapezio a basi parallele, di cui l'altezza sia di cinque o sei centimetri, e le basi, alquanto disuguali, soltanto di alcuni millimetri, lo si abbandoni, da un balcone elevato, all'azione del proprio peso. Nei primi istanti il movimento sarà alquanto incerto, ma presto si stabilirà un moto di rotazione permanente intorno ad un asse diretto nel senso della maggior lunghezza del trapezio: e così rotando velocemente, questo descriverà nella sua caduta con moto assai lento un'elica regolarissima, i cui passi tuttavia possono essere alquanto maggiori verso il fine del moto, che in principio. Variando le dimensioni e la forma del trapezio, si possono ottenere eliche molto differenti.

15. *Applicazione alle stelle cadenti.* Questi tre esempi di incurvamento delle traiettorie prodotto dalla resistenza dell'aria in casi di velocità così diverse, come sono quelle impresse dalle artiglierie, quella del *bumerang*,

---

(1) James Browne: *Die Eingeborenen Australiens* nel giornale di Petermann, 1856, p. 453.
(2) Burnet Tylor: *Researches on the early history of Mankind.* London, 1865, p. 176-186.
(3) Burnet Tylor: *ibid.;* e Ferguson: *Transactions of the R. Irish Accademy,* vol. XIX, 1843, che non ho potuto consultare.

e quella di un pezzetto di carta cadente sotto l'influsso del proprio peso, ci autorizzano ad argomentare sopra ciò che deve accadere nel moto delle stelle cadenti: il quale può essere cento volte più veloce che quello delle palle dei cannoni rigati. Se è vero che la resistenza dei mezzi cresce come il quadrato della velocità, od anche secondo una proporzione più rapida, agevolmente comprenderemo in qual modo possa, anche negli strati più rari dell'atmosfera, prodursi una resistenza capace di tutti gli effetti singolari che abbiamo descritto. Si avrà allora la spiegazione di molti fenomeni rari, di cui fanno menzione gli osservatori. Così si potrà comprendere come una stella cadente possa in apparenza arrestarsi ad un tratto, e ritornare indietro per la via già percorsa, o per una via poco differente: basta per questo che lo spettatore O (fig. 1) si trovi sopra una delle tangenti alla parte visibile della curva [1]. Se per caso il punto di contatto è nello stesso tempo un punto di flesso contrario (fig. 2), si vedrà la stella arrestarsi un momento nella sua corsa, per continuare nella direzione primitiva [2]. Un moto elicoide a spire molto allungate produrrà quel corso oscillante, che non è punto raro in queste meteore. Se le spire sono larghe e brevi, la traiettoria apparirà serpeggiante, e potrà manifestare una serie di punti di regresso, od anche di nodi, secondo l'obliquità che ha l'asse dell'elica rispetto alla direzione della vista [3]. Finalmente, siccome l'incurvamento delle traiettorie può aver luogo anche dal basso all'alto, avremo una spiegazione semplice e naturale delle *stelle ascendenti*, dato che la loro esistenza sia veramente accertata.

16. Non solo adunque le traiettorie curve si possono spiegare senza introdurre l'azione del vento o qualche forza ignota, ma se di alcuna cosa dobbiamo fare maraviglia, è di questa: che il numero delle traiettorie curve ed irregolari sia sì piccolo in confronto delle altre. Veduta la difficoltà di giudicare con precisione se una data curva descritta in cielo sia

---

(1) Fenomeno da me veduto in agosto 1856.

(2) Fenomeno osservato da COULVIER-GRAVIER il 26 febbraio 1853.

(3) È probabilmente a quest'ultimo tipo che debbono riferirsi le traiettorie *spirali*, di cui riferisce il P. SERPIERI (*Bullettino meteorologico d'Urbino*, novembre 1866). Delle traiettorie serpeggianti FAYE dà un'altra spiegazione nei *Comptes rendus*, tomo LXIII, p. 1100, che sembra meno naturale.

o no un arco di circolo massimo (difficoltà aumentata ancora dalla rapida disparizione delle meteore e dalla figura apparente della volta celeste, assai diversa dalla emisferica), è da credere che il caso di leggiere deviazioni dal corso rettilineo, non sensibile ad estimazione d'occhio, sia piuttosto frequente, specialmente quando ancora si consideri, che della traiettoria descritta dalla meteora nell'atmosfera spesso non è visibile che una piccola parte (1). Altrimenti sarebbe inevitabile la conclusione, che la massima parte delle stelle cadenti sia formata da piccole masse esattamente sferiche, omogenee, o composte di strati sferici omogenei, e prive d'ogni moto rotatorio: e che soltanto alcune sian dotate di forme abbastanza irregolari per subire deviazioni nel loro corso. Siccome una tal distinzione basterebbe a creare due classi diverse di stelle cadenti, cosa non punto probabile nè plausibile, preferiremo ammettere una gradazione di forme tale, che dalla sfericità quasi esatta, appartenente ad un certo numero, si passi per gradi a quelle stelle più di tutte rare e singolari, che descrivono curve elicoidi; ciò che necessariamente stabilisce una gradazione nelle figure delle traiettorie (2). Le irregolarità di queste traiettorie ci fanno anche comprendere, come avvenga che il fenomeno della *radiazione* non si faccia con una esattezza affatto geometrica, ma molte stelle percorrano linee che, prolungate all'indietro, non cadono esattamente nel punto radiante. Questa forma precisa della radiazione non potrebbe osservarsi se non quando la traiettoria visibile cominciasse là dove la stella, abbandonati i vuoti celesti, entra nell'atmosfera; ma vi sono buone ragioni per credere che l'accensione abbia luogo soltanto dopo che la meteora ha traversato uno strato aereo di considerevole grossezza, e quindi dopo che la traiettoria ha già subìto qualche modificazione. Nullameno, follia sarebbe voler negare l'esistenza dei punti radianti per ciò solo, che alcune traiettorie sembrano dai medesimi alquanto allontanarsi. Istruttive sono a

(1) A questa opinione conduce il fatto, che le altezze di accensione delle stelle cadenti sono assai varie. Inoltre molte stelle, che in principio del loro corso non erano visibili per la soverchia distanza, possono diventare tali coll'avvicinarsi all'osservatore; altre, prima visibili, sparire poi pel semplice allontanamento.

(2) Parlando qui delle forme attribuibili alle stelle cadenti, non si esclude la possibilità che esse sian divise in parti, ed anche in istato polverulento.

questo riguardo le carte che del fenomeno di novembre 1866 ci hanno dato A. HERSCHEL e il signor GLAISHER [1].

17. La resistenza dell'aria rende dunque completa ragione di tutti i fenomeni, in apparenza sì complessi, offerti dalla curvatura delle traiettorie; al che, per poco che si voglia riflettere, si troveranno insufficienti tutte le più complicate ed arbitrarie combinazioni di correnti atmosferiche. Fin dal 1837 OLBERS immaginava la possibilità che le traiettorie curve ed ascendenti derivassero dalla resistenza che oppone l'aria a corpi di forma molto differente dalla sfera. Ecco quanto egli scrive in proposito nell'*Annuario di Schumacher* [2]: « Certo la resistenza dell'aria condensata può, specialmente quando i bolidi abbiano una forma irregolare, schiacciata, e molto diversa dalla sferica, produrre una traiettoria ondulata, serpeggiante, incurvata in alto, in basso, ed anche lateralmente. I fanciulli sogliono notare simili circostanze nel moto delle pietre schiacciate e dei gusci delle ostriche da loro con veemenza scagliati. » Queste poche parole, coi commentari che vi abbiam premesso nei §§ 10-16, bastano a rovesciare l'ultimo argomento di qualche peso, che i fautori della teoria atmosferica ancora potessero invocare. Dico l'*ultimo*, perchè recentemente essi hanno anche perduto (sebbene neppur da questo lato voglian darsi per vinti) l'appoggio formidabile di alcune leggi periodiche di frequenza delle stelle cadenti; le quali sono conosciute sotto il nome di *variazione diurna*, *annua*, ed *azimutale*. La ricerca di queste leggi è uno studio sommamente interessante, il quale fu particolarmente coltivato dai seguaci dell'ipotesi atmosferica, e sopra ogni altro da COULVIER-GRAVIER. Esse sembrano, a prima giunta, inconciliabili coll'ipotesi cosmica; e la loro considerazione fece per molto tempo dubitare i più autorevoli investigatori di questa materia. Di esse ci conviene ora qui ragionare.

III. Variazioni periodiche delle stelle cadenti e loro dichiarazione.

18. *Variazione annua*. Fino dal 1823 BRANDES avea riconosciuto che il numero delle stelle cadenti è maggiore in autunno, che in primavera: e questo fu il primo indizio che si ebbe della variazione annua, la quale

(1) *Monthly Notices of the Astronomical Society*, vol. XXVII, pag. 55 e 56.
(2) *Schumacher's Jahrbuch* für 1837. p. 51-52.

con proprie osservazioni fu più tardi con maggior esattezza definita da COULVIER-GRAVIER, in ciò imitato poi da SCHMIDT e da WOLF. La tavola seguente offre il numero medio delle stelle cadenti enumerate in un'ora nei varii mesi dell'anno secondo questi osservatori.

Mese	COULVIER-GRAVIER (1841-1845)	SCHMIDT (8 anni)	R. WOLF (10 anni)	Risultato medio
Gennaio	3, 6	3, 4	5, 5	4, 2
Febbraio	3, 6	—	5, 4	4, 5
Marzo	2, 7	4, 9	5, 2	4, 3
Aprile	3, 7	2, 4	4, 6	3, 6
Maggio	3, 8	3, 9	4, 1	3, 9
Giugno	3, 2	5, 3	5, 4	4, 6
Luglio	7, 0	4, 5	9, 8	7, 1
Agosto	8, 5	5, 3	12, 9	8, 9
Settembre	6, 8	4, 7	7, 4	6, 3
Ottobre	9, 1	4, 5	6, 4	6, 7
Novembre	9, 5	5, 3	5, 0	6, 9
Dicembre	7, 2	4, 0	4, 1	5, 1

Malgrado le differenze notabili che offrono le serie dei tre osservatori fra loro comparate, si vede chiaramente, che il minimo numero di stelle cadenti ha luogo intorno all'equinozio di primavera, il massimo verso l'equinozio d'autunno, corrispondendo press' a poco ai solstizi il numero medio (1). La differenza dal massimo al minimo è molto sensibile, ed ha quasi la ragione di 2 : 1. Questo fatto interessante si verifica ancora per i bolidi: ciò che è probabile indizio della loro identità d'origine colle stelle cadenti. Possono vedersi a questo proposito le notizie ed i numeri da me raccolti in fine della lettera I al P. SECCHI. COULVIER-GRAVIER, in ciò seguito da ARAGO e da Edoardo BIOT, ha enunciato la legge della variazione annua delle stelle cadenti e delle meteore analoghe, dicendo che la Terra incontra assai meno meteore andando dal perielio all'afelio

(1) La serie di COULVIER è ricavata dall'*Introduction historique* già citata, p. 172. quella di SCHMIDT è data nel *Cosmos* di HUMBOLDT, vol. III, p. 471 dell'edizione di Milano; quella di WOLF è tratta dai *Mondes* dell'ab. MOIGNO, tomo XIII, 1867, p. 24.

della sua orbita, di quante ne riceva nel suo progresso dall'afelio al perielio. Vedremo che questo modo di considerar la cosa è inesatto: la variazione annua non si connette alla situazione della terra rispetto agli apsidi della sua orbita, ma dipende unicamente dagli equinozi e dai solstizi.

19. La *variazione diurna*, o come altri dicono impropriamente, *oraria*, accennata da HERRICK nel 1838, diventò meglio conosciuta per mezzo delle indefesse fatiche di COULVIER-GRAVIER. Secondo le sue prime ricerche, pubblicate nel 1847, il numero delle stelle cadenti, tutte le altre circostanze essendo eguali, è minimo alla sera, massimo alla mattina, e verso mezzanotte raggiunge la sua frequenza media (1). Più tardi egli pubblicò una seconda serie di numeri orarii, dai quali il massimo della mattina risulterebbe collocato circa tre ore dopo la mezzanotte, mentre prima dal medesimo COULVIER-GRAVIER era stato assegnato alle sei ore mattutine (2). Ecco le due serie di numeri orari medii dell'anno, corrispondenti alle ore della notte:

Tempo astronomico	I^a SERIE (1841-1845)	II^a SERIE (12 anni)
5^h — 6^h	...	7, 2
6 — 7	3, 3	6, 5
7 — 8	3, 5	7, 0
8 — 9	3, 7	6, 3
9 — 10	4, 0	7, 9
10 — 11	4, 5	8, 0
11 — 12	5, 0	9, 5
12 — 13	5, 8	10, 7
13 — 14	6, 4	13, 1
14 — 15	7, 1	16, 8
15 — 16	7, 6	15, 6
16 — 17	8, 0	13, 8
17 — 18	8, 2	13, 7
18 — 19	...	13, 0

(1) *Introduction historique*, p. 171.
(2) *Recherches sur les météores*, p. 219.

I numeri della terza colonna sono tutti quasi esattamente eguali al doppio dei corrispondenti dati della seconda; ciò che proviene senza dubbio dal modo diverso che ha tenuto il COULVIER-GRAVIER per calcolare la frequenza oraria nei due casi. Ma se facciamo astrazione dei valori assoluti, e consideriamo la legge di progressione in ciascuna serie, si trova un assai notabile parallelismo. SECCHI ha osservato che il fatto della maggiore frequenza delle stelle cadenti nelle ore dopo mezzanotte è noto anche al volgo (1). HERRICK dalle sue osservazioni aveva già raccolto che alla mattina le stelle cadono circa tre volte più numerose che alla sera (2).

20. Questo singolare fenomeno fu per qualche tempo l'Achille della ipotesi che collega le stelle cadenti colle mutazioni atmosferiche. Infatti, è difficile a primo tratto comprendere come un fenomeno cosmico possa esser dipendente dalle ore locali di ciascun osservatore, mentre nulla è più naturale che assomigliare la variazione diurna delle stelle cadenti a quelle del barometro e del termometro. La spiegazione di questo fatto imbarazzò non poco i fautori della teoria cosmica, ed alcuno di essi fece quasi piegare alla parte contraria. Trascrivo qui dal terzo volume del *Cosmos* le riflessioni che il fenomeno della variazione diurna ha dettato ad HUMBOLDT (3): « Egli è difficile immaginare quale influenza possa avere su questi fenomeni l'ora più avanzata della notte. Se fosse stabilito che sotto i differenti meridiani le stelle cadenti mostrano la loro maggiore frequenza ad un'ora determinata, converrebbe, se si vuole mantenere l'ipotesi cosmica, ammettere questa congettura, del resto poco verosimile, che certe ore della notte, o piuttosto della mattina, sono più favorevoli alla conflagrazione delle stelle cadenti, e che nelle ore anteriori una parte di esse rimane invisibile. » Queste parole furono scritte nel 1851. Ascoltiamo ora quanto dice QUETELET, nella sua insigne opera sulla *Fisica del Globo*, pubblicata nel 1861: « Il fenomeno delle stelle cadenti è comunissimo: per un osservatore attento non passa ora senza che alcuna di esse si presenti, non importa in quale stagione dell'anno. Tuttavia il

(1) *Bullettino meteorologico*, tomo V, 1866, p. 88.
(2) NEWTON: *On shooting stars* nel giornale di Silliman e Dana, vol. XXXIX, p. 206.
(3) *Cosmos*, III, pag. 480 dell'edizione di Milano.

secondo semestre ne produce evidentemente più che il primo: lo stesso pare accade della seconda metà della notte, più fertile in meteore che la prima metà: finalmente l'America settentrionale generalmente ne conta di più, in un tempo dato, che il clima dell'Europa o dell'Asia. Questi risultati sono di grande importanza per la teoria delle stelle cadenti, nè tuttavia furono studiati con tutta l'attenzione ch'essi meritano. Essi possono infatti aiutarci a riconoscere se le stelle cadenti sono prodotte nella nostra atmosfera, o se elle vengono dal di fuori (1). » Più sotto, dopo accennata la difficoltà di assegnare ai bolidi ed agli aeroliti altra origine che la cosmica, soggiunge: « Le stelle cadenti presentano tutt'altro spettacolo. *Si vede che queste meteore appartengono alla parte stabile della nostra atmosfera, ch'esse vi nascono e vi si estinguono* (2). Esse non possono sussistere nel mezzo ove viviamo: i nostri occhi ci rivelano da lungi la loro esistenza: ma è per noi impossibile toccarle e sottometterle ad osservazioni dirette, per quanto grande sia il loro numero nelle più splendide apparizioni. Sono fenomeni che appartengono ad un altro mezzo, che quello in cui respiriamo, e tuttavia non possono essere stranieri alla nostra Terra, essendo sottoposti insieme al periodo diurno ed al periodo annuale. Essi sono più frequenti in sul finir della notte che verso il principio, e si mostrano più frequenti in certe regioni del globo che in certe altre (3). »

21. Finalmente sentiamo come su questo argomento ragiona l'illustre direttore dell'Osservatorio di Atene, Giulio Schmidt, in una lettera al professore Heis, scritta il 12 gennaio 1867: « Coulvier-Gravier in Parigi è stato il primo a dimostrare, or son molti anni, che la frequenza oraria delle meteore è soggetta a variazioni nel corso d'ogni notte: che in generale dopo mezzanotte ha luogo un *maximum*, e che su tal fenomeno la differenza delle longitudini ha poco o nessun effetto..... Ciò

(1) *Physique du globe*, p. 317-318.

(2) Quetelet considera l'atmosfera come divisa in due parti: la *atmosfera superiore o stabile* molto rara, non soggetta all'irradiazione del suolo, e non sconvolta dai venti; l'*atmosfera inferiore o instabile* più densa, in perpetua agitazione, che è la sede di tutti i fenomeni meteorologici.

(3) *Physique du globe*, p. 322.

dovea in apparenza scuotere dalle fondamenta l'ipotesi dell'origine cosmica delle meteore. In realtà però questo fatto mostra un'influenza ancora ignota della vicinanza del globo terrestre, dalla quale dobbiamo riconoscere l'accensione e la combustione delle meteore, e la loro variabile frequenza in ogni notte. Fin dal 1851 io mi era dichiarato su questo punto con Alessandro Humboldt per via epistolare, essendone stato da lui richiesto. Tentai di valermi dell'ipotesi di Ampère sul fluido elettro-magnetico che circonda il globo, combinata colla distribuzione del calore solare sulla superficie terrestre, per ispiegare cotesta variabilità. Lo pregai a non pubblicare questa cosa; ma mi riservo di ritornarvi sopra più tardi. Verrà giorno in cui anche questo nodo sarà sciolto, al che non bastano ancora le osservazioni che attualmente possediamo. Si troverà che di fronte a questi e ad altri fenomeni è impossibile spiegar ogni cosa colla sola gravitazione; e che le nostre cognizioni fisiche sono troppo imperfette, perchè possiamo lusingarci di trovar subito la dichiarazione d'ogni nuovo fenomeno che ci si presenta. Per tenerci saldi nell'ipotesi cosmica, basti sapere che esistono nel cielo punti di prospettica divergenza, e che le meteore hanno velocità planetarie. I fenomeni ancora non spiegati della luce, del moto delle code, le variazioni di frequenza, ecc., debbono trovare la loro spiegazione nell'influenza della terra, ed in parte derivare da forze, di cui finora nei nostri libri non si è mai fatto menzione (1). » Ragionare in questo modo equivale quasi a dar causa vinta agli atmosferici, perchè l'inventare nuove forze per comodo di una particolare ipotesi, è cosa che tutt'al più una volta per secolo può essere permessa ad un Newton.

22. *Variazione azimutale.* — Difficoltà non meno terribili contro la origine cosmica delle stelle cadenti, apprestava la variazione azimutale, già considerata dal Brandes nel 1823, la quale indica la legge con cui sono distribuite le direzioni delle stelle cadenti riferite al punto dell'orizzonte da cui sembrano venire. Questo fenomeno fu pure investigato da Schmidt (1842-1844) e da Coulvier-Gravier, il quale lo definì con

(1) Heis: *Wochenschrift für Astronomie etc.*, anno 1867, n° 5.

maggior precisione di ogni altro, esaminandone minutamente le particolarità. La seguente tavoletta contiene i risultati delle osservazioni di SCHMIDT (1):

Numero delle stelle venute	1842	1843	1844
dal Nord	21	30	78
dall'Est	108	151	247
dal Sud	20	34	72
dall'Ovest	30	79	76

In quest'altra stanno i risultati più completi e più particolareggiati di COULVIER-GRAVIER, fondati sull'osservazione di quasi 4400 meteore (2):

Numero delle stelle (direzione)	1842	1843	1844	Media
N. - N.E.N.	106	54	160	107
N.E.N. - N.E.	99, 5	63	222, 5	128
N.E. - E.N.E.	65	67	223, 5	118
E.N.E. - E.	120, 5	90	180, 5	130
E. - E.S.E.	179	102	209	163
E.S.E. - S.E.	143, 5	65	163, 5	124
S.E. - S.E.S.	127, 5	51	223, 5	134
S.E.S. - S.	140, 5	66, 5	133, 5	113
S. - S.O.S.	97, 5	47, 5	123, 5	89
S.O.S. - S.O.	50	27	68, 5	48
S.O. - O.S.O.	32, 5	25, 5	63, 5	40
O.S.O. - O.	41, 5	22	56, 5	40
O. - O.N.O.	51, 5	36, 5	53	47
O.N.O. - N.O.	40	21, 5	59	40
N.O. - N.O.N.	48, 5	12	89	50
N.O.N. - N.	72	40, 5	161	91

(1) *Introduction historique*, p. 159.
(2) *Ibid.*, p. 174.

Ambedue queste serie, malgrado la diversissima copia delle osservazioni nei vari anni, mostrano un mirabile parallelismo nelle loro progressioni. La direzione prevalente è quella da levante a ponente: la direzione più raramente osservata è quella da ponente a levante: le due direzioni australe e boreale danno press'a poco una frequenza media.

23. Posteriormente Coulvier-Gravier ha creduto riconoscere che la legge della variazione azimutale non sia costante nelle diverse stagioni: per il che la direzione della massima frequenza, o com'egli la chiama, la *risultante*, oscillerebbe per un angolo considerabile intorno al punto di levante, ora deviando verso ostro, il che accade più spesso nell'inverno e in primavera, ora verso settentrione, ciò che si vede per lo più nell'estate e nell'autunno. E finalmente questa variazione azimutale dipende dall'ora della notte che si sceglie per fare le osservazioni. Così le direzioni dal Nord sono più numerose verso mezzanotte e meno la mattina: dall'Est ne arrivano più la mattina e meno la sera: dal Sud se ne ha più la mattina: dall'Ovest ne arriva in maggior numero la sera. Confessa tuttavia l'autore egli stesso che queste ultime conclusioni non sono ancora appoggiate ad un numero sufficiente di osservazioni [1].

24. Queste leggi essendo risultato di pura statistica, rigettarsi dovrà quell'ipotesi, che nel derivare l'origine delle stelle cadenti non ne renda conto sufficiente. Si vede che la frequenza delle meteore ha una relazione manifesta colla direzione dei punti cardinali sull'orizzonte di ciascun osservatore; e varia questa relazione colle ore della notte, e colle stagioni dell'anno. Precisamente come i venti, considerati nelle medie loro direzioni e frequenze per un certo numero di anni. Qui era lo scoglio, dove la teoria cosmica dovea necessariamente fare naufragio! Ed appunto qui ebbe origine la teoria meteorologica sviluppata dal Coulvier-Gravier nei suoi due libri, ed in diverse memorie successivamente presentate all'Accademica delle scienze di Parigi. *Cum hoc, ergo propter hoc:* le stelle cadenti furono stimate annunziatrici di tutti i grandi movimenti dell'atmosfera, e la loro *risultante* diventò il criterio fondamentale della

---

1. *Introduction historique*, pag. 175.

predizione del tempo. Tutta questa teoria, con tutte le indeterminazioni e le contraddizioni onde sogliono andar distinte le opere di fantasia che pretendono a simulare la verità, può leggersi esposta negli scritti su citati, ma specialmente nelle *Ricerche sulle meteore* (1), che è un trattato di meteorologia in parte fondato su questi principii, e nel libro pubblicato l'anno scorso da G. Bresson, sotto il titolo *La prédiction du temps*.

25. Se l'istinto della verità, il quale talora ci fa regger saldi contro la forza delle più cavillose argomentazioni, e contro l'inganno delle false apparenze, non avesse ritenuto la maggior parte degli Astronomi e dei Fisici sulla buona via, l'ipotesi cosmica avrebbe finito per scomparire dalla scena scientifica. Le parole, che più sopra abbiam riferito da Humboldt, da Quetelet, e da Schmidt, mostrano fin dove si sarebbe potuto arrivare. Eppure la chiave di tante bizzarre difficoltà da molti anni era stata indicata da Brandes. Brandes, i cui meriti in questa materia delle stelle cadenti alcuno forse ha potuto uguagliare, nessuno superare, scriveva nel 1827 quanto segue qui appresso: « Oltre alle prove dedotte dall'attrazione, due fenomeni si possono citare come dimostrazioni dirette del moto della Terra nello spazio. L'uno è l'aberrazione della luce ..... l'altro, che veramente abbisogna ancora del sussidio di più esatte osservazioni, è il moto apparente delle stelle cadenti. Forse a questo fenomeno, conosciuto ancora per poche osservazioni, e da me per mezzo di queste dedotto, non si può dare ancora un peso decisivo; ma io non dubito che osservazioni future non abbiano a confermarlo. Infatti quando si osservano le stelle cadenti da più luoghi diversi e si determinano i punti dello spazio ov'esse appaiono e scompaiono, si trova che in mezzo alla varietà delle direzioni delle loro traiettorie prevale sopra tutte la direzione opposta al movimento orbitale della Terra. Se ora questi oggetti luminosi rimanessero immobili nello spazio, dovrebbero apparire agli abitatori della Terra come dotati di movimento eguale e contrario a quello del pianeta. Le stelle cadenti non sono immobili, e sono anzi dotate di svariatissimi movimenti: tuttavia è chiaro che in

(1) *Recherches sur les météores et sur les lois qui les régissent, par* Coulvier-Gravier. Paris, 1859. — *La prédiction du temps, par* G. Bresson. Paris, 1866.

mezzo a tali movimenti l'effetto sopradescritto deve rimaner sensibile. Ed inversamente, poichè l'osservazione dimostra che veramente la massima parte di questi corpi ha un moto apparente contrario al moto orbitale che si suppone alla Terra, si ottiene dalle stelle cadenti una nuova ed inaspettata dimostrazione del vero movimento della Terra (1). » Così ragionava l'egregio Brandes nelle sue *Lezioni d'astronomia*, tanto a torto dimenticate oggidì.

26. Per quanto varii e diversi siano i movimenti delle stelle meteoriche nello spazio, è chiaro che il moto della Terra combinandosi con quelli per produrre i moti relativi, darà all'insieme di questi un certo carattere, ed una certa relazione colla direzione secondo cui il nostro pianeta si avanza. Ne segue che l'insieme delle meteore serberà certe leggi di posizione e di frequenza rispetto all'*apice* del movimento terrestre, cioè rispetto a quel punto della sfera stellata, verso cui il globo si muove nell'istante delle osservazioni. Questo apice partecipa al moto diurno della sfera celeste: ha quindi ogni giorno una variazione periodica d'altezza e d'azimut. Esso si sposta lungo l'eclittica, percorrendo in un anno i 12 segni: quindi nasce una variazione annua nella sua altezza e nella sua direzione ad una data ora del giorno. È dunque a credersi che i movimenti diurni, annui, azimutali dell'apice diano origine ad altrettante variazioni periodiche nella frequenza e nella direzione delle meteore; e studi ulteriori hanno splendidamente confermato questa opinione.

27. Nel 1838 Herrick avendo osservato a Newhaven che la direzione prevalente delle stelle era dal Nord-Est al Sud-Ovest, e che la loro abbondanza era assai maggiore nelle ore della mattina che in quelle della sera, spiegò l'uno e l'altro fenomeno per mezzo dei principii di Brandes. Vuolsi dunque riguardare questo illustre americano come il primo cui si debba l'onore d'aver tentato una spiegazione della variazione diurna, e della variazione azimutale. La variazione diurna fu pure considerata

(1) H. W. Brandes: *Vorlesungen ueber die Astronomie*. Leipzig, 1827. Vol. I, p. 158-159. La stessa idea si trova già indicata nelle sue *Osservazioni sulle stelle cadenti*, pubblicate a Lipsia nel 1825.

teoricamente dal signor Bompas nel 1857, il quale tentò anche di dedurre le proporzioni numeriche, supponendo che la velocità delle meteore sia il doppio della velocità orbitale della Terra (1). Nel 1864 Alessandro Herschel diede la teoria completa della variazione annuale, della quale trovò le proporzioni accostarsi sufficientemente al risultato osservato, quando si supponga la velocità media delle meteore uguale alla velocità della Terra (2). Nel 1865 il professor Newton ridusse a formule la variazione oraria per ricavarne qualche lume intorno alla velocità media delle meteore nello spazio; e fu tratto a concludere, che questa velocità debba essere maggiore di quella della Terra, ed accostarsi a quella delle comete (3). L'anno seguente, 1866, io pubblicai nella prima lettera al rev. P. Secchi un calcolo della variazione oraria, differente nella forma, identico nei risultati: la velocità media assoluta delle meteore nello spazio trovai essere quasi esattamente eguale alla velocità parabolica. Io ignorava allora il lavoro alquanto anteriore del Newton. Non sarà fuor di proposito ricordare qui, che il signor Greg ha mostrato possibile, per la variazione oraria ed azimutale, una spiegazione diversa da quella che deriva dai principii di Brandes (4).

28. *Relazione delle stelle cadenti coll'apice del movimento terrestre annuale.* — Io mi propongo di esaminare nei seguenti articoli la teoria delle variazioni periodiche delle stelle cadenti: e mostrerò che dal doppio moto rotatorio e rivolutivo della Terra è possibile derivare quelle variazioni colle loro leggi, quali effettivamente risultano dalle osservazioni. Quando si voglia partire dall'ipotesi più o meno esplicitamente ammessa da Bompas, da A. Herschel e da Newton, che in ciascun istante arrivino sopra la Terra stelle cadenti con eguale velocità assoluta e con eguale frequenza da tutte le direzioni dello spazio, una semplice costruzione basta a far vedere qual è la relazione fondamentale che l'apice del

(1) *Monthly Notices of the Astronomical Society*, vol. XVII, p. 147-148. - *Report of the British Association*, for the year 1857, p. 143.

(2) *Monthly Notices of the Astr. Soc.*, vol. XXIV, p. 133, 135, 189.

(3) Giornale di Silliman e Dana, vol. XXXIX, p. 205-206.

(4) *Report of the British Ass.*, for the year 1861, p. 38-39.

moto terrestre ha colla frequenza delle stelle, e colle direzioni, secondo le quali esse sembrano venire a noi.

29. Immaginiamo infatti, che uno spettatore si trovi immobile nello spazio, considerando le meteore che vengono sopra di lui. Dietro l'ipotesi testè citata, in dato tempo, p. e. in un secondo, egli riceverà un certo numero di stelle, eguale da tutte le parti. Potrà dunque supporre di essere al centro di una superficie sferica di raggio eguale alla velocità assoluta comune di tutte le meteore (velocità che designeremo con v), da tutti i punti della quale nell'unità di tempo vengano scagliati i proiettili contro di lui in certa quantità. Sia ASS' (fig. 3) questa sfera, O il suo centro, $OS = v$. Se ora allo spettatore si dia un movimento qualunque nella direzione OD, del quale la velocità sia V, le apparenze dipenderanno dal moto relativo delle stelle che cadono sopra O con velocità v, e dello spettatore che arriva in O colla velocità V. Noi potremo supporre che quest'ultimo sia ancora fisso, ed attribuire alle stelle una velocità eguale e contraria a V. Così la stella S, che avrebbe dovuto cadere sopra O con velocità $OS = v$, cadrà invece nella direzione SB composta di $OS = v$, e di $SC = V$, presa quest'ultima in senso opposto a quello secondo cui l'osservatore si muove. Come si ha evidentemente $OB = SC = V$, il punto B sarà sempre il medesimo, qualunque sia la posizione di S sopra la superficie sferica. Quindi la stella S' cadrà nella direzione $S'B$, e così tutte le altre. E se lo spettatore sia supposto in B, si potrà esprimere la legge, secondo cui le stelle cadenti vengono a percuoterlo, dicendo che da tutte le parti della superficie sferica, in quantità proporzionali alle aree di queste parti, cadono stelle non su O, ma su B nelle direzioni SB, $S'B$, ecc. Dal che appare che la pioggia di stelle avrà la massima densità nella direzione BD, che è quella dell'apice, verso cui l'osservatore cammina: la minima nella direzione BA opposta all'apice. Ed è anche facile vedere che le due densità massima e minima staranno fra di loro come i quadrati delle linee BD, BA, ossia come $(v+V)^2 : (v-V)^2$. Nel caso della natura si ha prossimamente $v = V\sqrt{2}$, e quindi il rapporto della densità di stelle venenti dall'apice alla densità delle stelle venenti dal punto opposto è prossimamente quello di $34 : 1$. Le rette SB, $S'B$, ecc. esprimeranno poi le velocità relative, con cui le stelle SS' incontrano lo spettatore.

30. Questo spettatore non sia ora più isolato nello spazio, ma sia la sua vista limitata dal piano GF di un orizzonte qualunque. Sia φ l'angolo DBF, cioè l'altezza apparente dell'apice. È palese che rimarranno soltanto visibili le stelle che arrivano dalla porzione GHF della sfera: e quindi il numero delle stelle visibili sarà al numero di tutte le stelle, come la superficie del segmento GHF a tutta la sfera: che è quanto dire come HE al diametro totale. Ora il diametro è $2v$, e $HE = OH + OE = v + V \sin.\varphi$. Quindi la frequenza delle stelle vedute dall'osservatore B sul suo orizzonte sarà proporzionale a

$$\frac{v + V \sin\varphi}{2v}.$$

Chiamando F questa frequenza, e prendendo per unità la quantità delle stelle che nell'unità di tempo piovono dalla metà della superficie sferica, si avrà semplicemente

$$F = 1 + \frac{V}{v} \sin\varphi . \qquad \ldots\ldots\ldots (1)$$

formola impiegata per la prima volta da Alessandro Herschel. Essa ci mostra come la quantità delle stelle cresce coll'altezza apparente dell'apice sopra l'orizzonte. Considerando i due valori estremi, che hanno luogo quando l'apice è allo zenit e quando si trova al nadir, ricaviamo il rapporto della frequenza massima alla frequenza minima delle stelle visibili sull'orizzonte, per mezzo dell'espressione $\frac{V+v}{V-v}$. Nel caso di $v = V.\sqrt{2}$ questo rapporto è maggiore che quello di 5 : 1.

31. Le direzioni secondo cui vengono le stelle cadenti, si trovano dunque talmente addensate intorno all'apice, da far dipendere in massima parte dalla posizione di questo rispetto all'orizzonte la frequenza delle loro apparizioni. Saran quindi più copiose le meteore in quelle ore del giorno, in cui l'apice salirà alla culminazione superiore: saranno più copiose in quelle stagioni dell'anno, in cui l'apice salirà nel meridiano a maggiore altezza: e finalmente vedremo arrivare maggior quantità di stelle cadenti da quella plaga dell'orizzonte, che in quel momento si trova più prossima all'apice. Come la quantità di luce e di calore irradiata dal

Sole dipende dalle sue variazioni diurne ed annue di posizione, la quantità delle meteore osservate seguirà il movimento diurno ed annuo dell' apice. Si può dunque considerare questo punto come una specie di *Sole meteorico,* centro principale dell' irradiazione di stelle cadenti. Potremo applicare al tempo del suo levare il nome di *mattina meteorica,* al tempo della sua culminazione superiore il nome di *mezzodì meteorico,* ecc. Con questo potremo seguire nel cielo tutti i movimenti dell'apice, esprimendoci con brevità e con chiarezza.

32. *Moto annuo dell'apice.* La tangente al movimento curvilineo della Terra si trova costantemente nel piano dell'eclittica, salvo piccolissime deviazioni dovute alle forze perturbatrici di esso movimento, e che qui è affatto inutile considerare. L'angolo di questa tangente col raggio vettore non differisce mai dall'angolo retto di più che 58′. Nel corso d'un anno adunque l'apice percorre l'eclittica celeste con moto quasi uniforme, restando addietro in longitudine rispetto al Sole di un arco variabile fra 89°. 2′ e 90°. 58′. Senza errore sensibile si potrà riguardare questa distanza come costante ed eguale a 90°. Avrà questo Sole meteorico la massima declinazione boreale nell'epoca dell'equinozio d'autunno, e la massima declinazione australe coinciderà coll'equinozio di primavera. La sua declinazione nulla corrisponderà ai due solstizi. Dal solstizio estivo al solstizio invernale si troverà nei paralleli boreali, e culminerà più alto che i punti dell'Equatore; il contrario succederà nei mesi che corrono dal solstizio invernale al solstizio estivo. Nel primo caso dovrà dunque cadere maggior copia di meteore, che nel secondo, il che appunto costituisce la legge della variazione annua (§ 18).

33. *Moto diurno dell'apice.* La differenza d'ascensione retta del Sole luminoso e del Sole meteorico è variabile lungo l'anno, e può differire quasi di sei gradi dall'angolo retto. Negligendo questa circostanza, diremo che in generale la culminazione superiore, o il mezzodì meteorico, precede di sei ore il mezzodì ordinario, ed ha quindi sempre luogo poco prima o poco dopo delle sei antimeridiane. La culminazione inferiore corrisponde alla sera. Le sei ore mattutine segneranno dunque un *maximum,* e le sei ore vespertine un *minimum* nella variazione diurna delle meteore: il che è precisamente la legge esposta al § 19. A mezzodì ed a mezzanotte

deve corrispondere una frequenza media. Di qui si rende manifesto che il periodo diurno si estende per tutte le ventiquattro ore, e che di questo periodo non è osservabile che la parte corrispondente alla notte scura, le stelle cadenti essendo poco visibili nei crepuscoli, e raramente di giorno. Nell'estate non è osservabile alcuna delle due culminazioni dell'apice, e nell'inverno si possono osservare tutte e due. Il nascere del Sole meteorico (la *mattina meteorica*) corrisponde sempre alle ore che sono intorno alla mezzanotte, ed è quindi osservabile in tutto l'anno; mentre il tramonto del Sole meteorico accade sempre di giorno nei nostri climi.

34. *Moto azimutale dell'apice.* Il Sole meteorico culmina al Meridiano superiore verso le 6 antimeridiane, ed al Meridiano inferiore verso le 6 pomeridiane. Dalla prima alla seconda di queste due epoche durante il giorno esso sta costantemente nell'emisfero occidentale del cielo: quindi la plaga dell'orizzonte corrispondente alla massima frequenza di stelle cadenti sarà nella metà di esso orizzonte che comprende i venti occidentali. Di giorno adunque la direzione prevalente delle stelle meteoriche è da Ovest e dalla regione circostante della rosa. Ma in questo tempo le stelle meteoriche non sono osservabili. Durante la notte, dalle 6 di sera alle 6 di mattina, il Sole meteorico è sempre nell'emisfero orientale; quindi la massima copia delle stelle cadenti verrà all'osservatore dall'Est e dalle direzioni vicine. Ecco la ragione generale della variazione secondo l'azimut, che la legge riferita al § 22 pienamente conferma. Durante l'ultima metà della notte, che è incomparabilmente più ricca di stelle che la prima, l'apice si trova dalla parte di Est e di Nord-Est in estate ed in autunno; dalla parte di Sud-Est e di Sud in inverno ed in primavera. Quindi appunto le oscillazioni annue della *risultante* di Coulvier-Gravier (§ 23), la quale in estate sembra attratta verso il Nord, in inverno verso il Sud. Finalmente è palese che nello spazio di ventiquattro ore l'apice descrive nei nostri climi un giro intiero intorno alla verticale, e si trova successivamente in tutti i possibili azimuti, qualunque sia la stagione dell'anno. Avverrà quindi che in egual periodo la *risultante* farà un giro completo sull'orizzonte. Alle sei di sera, trovandosi l'apice nella culminazione inferiore, la risultante sarà diretta al Nord; passerà quindi successivamente all'Est durante la notte, e nelle ore della mattina si avvicinerà

al Sud. Si avrà dunque un moto periodico diurno di questa risultante, il quale consuona abbastanza colle regole (del resto ancora non poco incerte) derivanti dalle osservazioni di COULVIER-GRAVIER.

35. La teoria di BRANDES e dei suoi continuatori spiega così tutte le particolarità delle variazioni periodiche, almeno per quanto riguarda la legge del loro crescere e del loro decrescere. Si noti che tutte le cose ora sviluppate possono valere anche quando non si voglia ammettere la perfetta uniformità delle cadute di stelle da tutte le direzioni dello spazio, posta per base nel § 29. Se, per esempio, supponiamo che tutte le stelle si muovano di preferenza in vicinanza del piano dell'eclittica, in luogo di considerare ASS' (fig. 3) come una sfera, bisognerà considerarla come un circolo giacente in quel piano. Ammessa l'uniformità delle direzioni e delle velocità assolute in esso piano, avremo evidentemente anche qui un punto D di massima frequenza nella direzione dell'apice: in questo caso la retta GF rappresenterà non più il piano dell'orizzonte, ma la retta secondo cui questo piano interseca il piano dell'eclittica. I ragionamenti son qui simili a quelli del caso precedente, e lo stesso dicasi di altri casi intermedi, quando, per esempio, le stelle cadenti non si movessero tutte nel piano dell'eclittica, ma soltanto le loro orbite si addensassero più nella direzione di questo piano, che nella direzione perpendicolare. Ma quando le traiettorie delle stelle cadenti nello spazio non serbassero uniformità secondo tutte le direzioni di un piano, e tendessero invece a seguire una direzione unica determinata (per esempio, quando i loro moti intorno al Sole fossero tutti diretti, o tutti retrogradi, o tutti convergenti nel Sole), la spiegazione qui sopra addotta non sarebbe più in alcun modo applicabile. Perchè allora, oltre all'apice *ottico* determinato dal moto della Terra, esisterebbe un apice *fisico*, secondo cui le traiettorie si troverebbero veramente, e non in apparenza, più addensate: il fenomeno diventerebbe assai più complesso. Lo stesso accadrebbe quando le velocità assolute delle stelle cadenti nello spazio non fossero uniformi, ma in certe direzioni tendessero ad esser maggiori, e minori in altre. Esaminiamo con qualche cura tutte queste particolarità.

IV. Moto assoluto delle stelle meteoriche nello spazio.

36. *Uniformità delle velocità assolute.* Se prima poteva esistere qualche dubbio circa l'uniformità quasi perfetta delle velocità assolute con cui le stelle cadenti percorrono lo spazio contiguo alla terra, ora questo dubbio è scomparso. Noi possiamo con sicurezza pronunziare che tal velocità si può riguardare in ogni caso come molto prossimamente eguale alla velocità parabolica. Infatti ora si può ragionare sulle stelle cadenti come sulle comete. Essendo posto $= 1$ il semigrandasse dell'orbe terrestre, il raggio vettore della Terra potrà mettersi sotto la forma $r = 1 + \omega$, essendo ω una piccola quantità variabile, che non sale oltre ad $^1/_{30}$. Chiamando U la velocità media della Terra (1), la velocità sua V che corrisponde al raggio vettore r si avrà dalla nota formula

$$V = U.\sqrt{\frac{2}{r} - 1} = U.\sqrt{\frac{2}{1+\omega} - 1} .$$

Quando si trascurino i quadrati di ω, si ha la forma più semplice

$$V = U(1 - \omega) . \qquad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Per una cometa descrivente un'orbita di semiasse a molto grande, la velocità corrispondente al raggio vettore r sarà:

$$v = U.\sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}} = U.\sqrt{2}.\sqrt{\frac{1}{1+\omega} - \frac{1}{2a}} ,$$

la quale, trascurando i quadrati di ω e di $\frac{1}{2a}$, diventa

$$v = U.\sqrt{2}.\left\{1 - \frac{1}{2}\omega - \frac{1}{4a}\right\} . \qquad \ldots\ldots\ldots (3)$$

Il rapporto di queste due velocità sarà

$$\frac{v}{V} = \sqrt{2}.\left\{1 + \frac{1}{2}\omega - \frac{1}{4a}\right\} , \qquad \ldots\ldots\ldots (4)$$

(1) Cioè la velocità che corrisponde all'orbita circolare di raggio 1.

e si vede che il termine $\frac{1}{2}\omega$ non può alterare il rapporto $\frac{v'}{V}$ che di $\frac{1}{60}$ in più ed in meno. Il termine $\frac{1}{4a}$ non è sensibile che per le comete o per le stelle cadenti di brevissimo periodo. Esso arriva a $^1/_{14}$ per la cometa di Biela, a $^1/_{41}$ per le stelle periodiche di novembre. Ma per la grande totalità di questi astri sarà trascurabile: onde è, che potremo supporre senza errore grave $\frac{v'}{V} = \sqrt{2}$ in tutti i casi.

37. *Direzioni dei movimenti assoluti.* Fino agli ultimi anni si era creduto che la maggior parte delle stelle meteoriche errasse nello spazio alla rinfusa, cadendo sopra la Terra con diverse velocità, senza norma nelle loro direzioni. Alcuni sistemi particolari di stelle, come quelle di agosto e di novembre, per le quali si era accertato il fenomeno della *radiazione*, si supponevano raccolte in nubi od in correnti cosmiche, e si chiamavano queste stelle *periodiche* o *sistematiche*, per distinguerle dal maggior numero delle prime, cui si attribuiva il nome di *sporadiche*. Heis in Münster è stato il primo a tentare la riduzione di tutte le stelle cadenti in sistemi particolari e determinati, fissando per ogni epoca dell'anno un certo numero di punti di radiazione, da cui si poteva ammettere emanata la quasi totalità delle meteore osservate. Una prima serie di punti radianti fu da lui data nel 1849 (1); ma un catalogo regolare di tutti i punti radianti principali che si osservano lungo l'anno non fu pubblicato che nel 1864, sopra undici anni di osservazioni (2). Lo stesso catalogo, corretto ed ampliato, è stato riprodotto da Faye nei *Comptes rendus*, tomo LXIV, pagina 549. Il catalogo di Heis è diviso in quindicine, cioè ogni mese è diviso in due metà, e per ogni mezzo mese sono assegnati i punti radianti delle stelle osservate in quell'intervallo: onde avviene che quando una pioggia meteorica si estende sopra giorni appartenenti a due quindicine diverse, il punto radiante si trova ripetuto, talvolta con leggiere variazioni nelle sue coordinate. Poco dopo Roberto Philips Greg, avendo

(1) Heis: *Die periodische Sternschnuppen*, Cöln, 1849; opera che assai m'incresce di non aver potuto consultare.

(2) *Monthly Notices of the Astr. Society*, vol. XXIV, pag. 212.

costruito su carte appositamente disegnate la traiettoria apparente di 1746 meteore, ne dedusse la posizione di 56 punti radianti distinti, corrispondenti ad altrettante pioggie meteoriche, la cui durata varia da poche ore a sei ed otto settimane [1]. I suoi risultamenti concordano perfettamente con quelli di HEIS nei punti essenziali. Ambidue questi cataloghi non comprendono che i punti radianti che si rendono manifesti da un piccolo numero di osservazioni; inoltre essi non si estendono all'emisfero australe del cielo. È dunque a presumere che il numero totale dei punti radianti sorpassi notabilmente il centinaio, e già ci vengono annunziati altri 39 punti radianti, determinati nell'emisfero australe dietro le osservazioni fatte a Melbourne nell'Australia dal dott. NEUMAYER (V. *Compt. rend.* nel luogo citato). Le osservazioni di HEIS e di GREG hanno dato in media 4 a 5 punti di radiazione per ogni notte dell'anno, onde è facile argomentare che sulla totalità della sfera celeste questo numero può salire a 10 o 12.

38. L'interpretazione della *radiazione* considerata come effetto della prospettiva è troppo nota, perchè occorra qui ricordarla. Ogni punto radiante corrisponde ad una pioggia meteorica, ed indica che la Terra in quel momento incontra una corrente di corpuscoli moventisi di conserva nello spazio in orbite parallele e pochissimo differenti fra di loro. La visuale condotta dall'occhio dell'osservatore al punto radiante indica la direzione del moto relativo della Terra e delle meteore. In ciascun istante adunque la Terra è percossa da un certo numero di queste correnti meteoriche, le cui direzioni possono essere diversissime. Elle sono talmente rare, che possono intersecarsi le une colle altre senza turbarsi a vicenda. Alcune sono più copiose, altre meno: alcune continue, altre intermittenti o periodiche. Le stelle d'agosto danno il più cospicuo esempio delle correnti continue: quelle di novembre ora primeggiano fra le correnti periodiche. Dico *ora*, perchè questi fenomeni sono soggetti a radicali variazioni coll'andar dei secoli. La corrente di novembre non si trova mentovata nelle cronache prima del 902, mentre la splendida pioggia meteorica che fu osservata il 26 settembre dell'anno 288, il 23 settembre

(1) V. *Proceedings of the British Meteorological Society*, vol. II, p. 305; e *Report of the British Association*, 1864, p. 98.

del 585, e dal 10 al 18 settembre dell'anno 881, pare abbia cessato le sue apparizioni [1].

39. Adunque non è vero, che le stelle cadenti arrivino sopra la Terra in tutte le possibili direzioni: in ogni notte il numero di queste direzioni è assai limitato, sebbene la quantità di stelle cadenti che da ciascuna direzione arriva possa esser grandissimo. Considerando pertanto le variazioni periodiche delle stelle durante una sola notte, i fenomeni saranno ben lontani dall'offrire quella regolarità, che si ottiene nell'ipotesi posta per base ai nostri ragionamenti nel § 29. Perchè non solo può avvenire, che i 10 o 12 punti di radiazione di quella notte (dato che siano tanti) siano inequabilmente distribuiti; ma se una tra le pioggie meteoriche è di straordinaria abbondanza, la legge della frequenza e della direzione sarà esclusivamente determinata da quella. Fortunatamente noi cerchiamo non le leggi che convengono a ciascuna notte in particolare, ma quelle che convengono ai risultati medii di *tutte* le notti dell'anno, o almeno di un *gran numero* delle medesime. Si può dunque calcolare sopra una compensazione di circostanze, quale avrebbe luogo, se tutti i punti radianti dell'anno, che sono assai più di cento, si trovassero operare simultaneamente in una sola notte, i cui risultati equivarrebbero quindi ai risultati medi. Un esame alquanto attento mostrerà che una simile sovrapposizione di tutte le notti è permessa e non porta errore di conto nei risultati. In questo stato di cose si può trattare il problema come se in ciascun istante i punti di radiazione fossero in numero infinito, e producessero pioggie egualmente copiose: ciò che equivale in sostanza all'ipotesi delle stelle sporadiche, dove alle singole stelle si fingano surrogate altrettante correnti meteoriche cadenti in tutte le possibili direzioni.

40. Segue da quanto si è detto, che la distribuzione delle stelle meteoriche in correnti non è origine di alcuna grave difficoltà per la spiegazione delle variazioni periodiche: e solo può avere per conseguenza una compensazione meno perfetta di circostanze accidentali. Assai più perplessa

---

(1) V. Biot: *Catalogue des étoiles filantes, etc.*, sotto gli anni indicati.

è la questione, se le correnti meteoriche possano arrivare sulla Terra in eguale abbondanza da tutte le direzioni dello spazio in ogni tempo dell'anno: e se il piano dell'eclittica e la direzione del raggio vettore non inducano per avventura nella distribuzione dei movimenti assoluti delle meteore qualche notabile relazione. Potremmo qui, fondandoci sopra la connessione che le stelle cadenti hanno colle comete, cercare qualche schiarimento dall'esame della distribuzione delle orbite cometarie intorno al Sole. Ma la vera legge di tale distribuzione non si può ricavare dai cataloghi delle comete osservate, e ciò per diverse ragioni. Prima di tutto il nostro luogo d'osservazione si muove nel piano dell'eclittica, il che aumenta la facilità di scoprire e di osservare a preferenza le comete che posson più avvicinarsi all'orbita della Terra, e che hanno poca inclinazione su quel piano. In secondo luogo quelle comete, l'asse della cui orbita è quasi perpendicolare al piano dell'eclittica, passano al perielio in punti dello spazio, che spesso sono soltanto visibili agli osservatori dell'emisfero australe: quindi un'altra causa di addensamento apparente delle orbite cometarie rispetto al piano dell'eclittica. Finalmente le comete a breve periodo, delle quali il maggior numero deve necessariamente percorrere un' orbita poco inclinata rispetto al piano sopradetto (1), si trovano, a cagione del loro frequente apparire, in condizione assai più favorevole delle altre per essere scoperte: onde il loro numero, che a giudicare dalle probabilità dev'esser estremamente piccolo in confronto della moltitudine delle altre comete, forma tuttavia una frazione abbastanza notabile del numero totale delle comete osservate (2). Per tutte queste ragioni avviene che le orbite delle comete sembrano alquanto più addensate verso il piano dell'eclittica, che intorno ai poli di questo piano, siccome si può vedere dalla tavoletta seguente, che dà la ripartizione delle inclinazioni quale veramente si osserva, e quale dovrebbe essere nell'ipotesi dell'uniforme distribuzione intorno al Sole.

---

(1) Perchè le comete di poca inclinazione possono assai più spesso avvicinarsi ai grandi pianeti e subire delle notevoli modificazioni nella loro orbita.

(2) Sopra 222 comete, osservate dal 1456 a tutto il 1866, *quattordici* hanno un periodo minore di 100 anni.

Intervalli delle inclinazioni	Numero delle comete che vi sono comprese	Numero calcolato secondo l'uniforme distribuzione
—	—	—
0° - 10°	16	3. 4
10 - 20	16	10. 0
20 - 30	19	16. 3
30 - 40	23	22. 2
40 - 50	35	27. 4
50 - 60	32	31. 7
60 - 70	26	35. 1
70 - 80	28	37. 4
80 - 90	27	38. 5

Le comete qui considerate sono in numero di 222, osservate dal 1456 a tutto il 1866: il computo è fatto sul catalogo di Galle, riprodotto recentemente da Littrow (1). Avendo a mente tutte le circostanze poco fa indicate, il confronto di questi numeri mostra, poco essere a dubitare della perfetta indifferenza delle comete rispetto al piano dell'eclittica. Ciò è anche una naturale conseguenza dell'origine delle comete, che tutto porta a riguardare come estranea a quella del sistema planetario.

41. Non allungherò più oltre questa digressione sull'ordinamento delle orbite cometarie, che sono pur quelle descritte dalle stelle cadenti. Quelli i quali se ne sono occupati di proposito, non hanno potuto trovare qualche legge evidente, o se alcuna norma fu proposta, non fu accettata dal consenso universale degli Astronomi. Tanto basti a persuaderci che, se qualche divario ha luogo dalla distribuzione casuale delle orbite, questo non sarà tanto grande e tanto evidente, da modificare in maniera essenziale le conclusioni tratte nell'ipotesi, che le orbite delle comete (e per conseguenza anche delle meteore) seguano indifferentemente tutte le direzioni possibili intorno al Sole, senza riguardo ad alcun circolo o punto particolare della sfera celeste.

---

(1) *Die Wunder des Himmels*, 5ª edizione.

V. Moto delle stelle meteoriche relativamente alla Terra.

42. *Direzioni dei movimenti relativi.* Vi ha un altro mezzo di portar qualche luce nella spinosa questione che qui ci occupa. Ammettiamo per un momento che dalla superficie sferica ASS' (fig. 3) partano correnti meteoriche in grandissimo numero, e con distribuzione uniforme, le quali con eguale velocità vengano a cadere su O. Quando l'osservatore sia in movimento, le direzioni dei moti relativi si troveranno, ammettendo che la cadute si facciano non su O, ma su B (§ 29). È facile vedere in questo caso che il numero dei punti radianti veduto da B sopra il suo orizzonte GF starà al numero totale dei punti radianti, come il segmento GDF a tutta la sfera: in altri termini si avrà per il numero dei punti radianti visibili la proporzione espressa dalla formula $F = 1 + \frac{V}{v} \sin.\varphi$, essendo φ l'altezza dell'apice sull'orizzonte. Quando $\varphi = 90°$, si vedrà sull'orizzonte molto più che la metà dei punti radianti. Sono adunque tali punti addensati intorno all'apice, e rari nel punto opposto del cielo: e ciò avrà luogo ogni notte nello stesso modo. Se quindi fossero osservati tutti i punti radianti dei due emisferi lungo tutte le stagioni, il numero di quelli che distano meno di 90° dall'apice dovrebbe superare di gran lunga la metà del numero totale (1). Ma noi siamo assai lontani dal conoscere tutti i punti radianti. L'emisfero australe del cielo è quasi completamente inesplorato. Inoltre il catalogo medesimo dei punti radianti dell'emisfero boreale è quasi per intiero fondato sopra osservazioni della sera, mentre le osservazioni della mattina sono state ancora poco assiduamente proseguite. Ora alla sera culmina il punto opposto all'apice; e l'apice stesso culmina la mattina. Da questa combinazione di circostanze nasce che sono stati assai più completamente determinati i punti radianti prossimi all'opposizione coll'apice, che i punti radianti vicini all'apice. Si aggiunga a questo l'impossibilità assoluta di esaminare quei punti radianti che sono vicini al luogo del Sole, o tramontano durante i crepuscoli vespertini, o si levano durante l'aurora. Per tutti questi inconvenienti noi possiamo esser

(1) Dovrebbero essere più che i $^4/_5$ del numero totale.

sicuri che lo studio dei punti radianti nei due emisferi domanderà il concorso di molti osservatori determinati a non risparmiar fatica; un catalogo completo di questi punti radianti non si avrà mai, potendo il Sole impedirne la determinazione sopra una regione che non abbraccia meno di un quarto del cielo, come or ora si vedrà.

43. Nondimeno mi è sembrato pregio dell'opera esaminare le posizioni dei punti radianti finora conosciuti, riferendole all'apice considerato come punto fondamentale. A tal fine ho scelto come base il catalogo di Greg. Nella prima colonna della tavola qui appresso è dato il numero d'ordine delle 56 pioggie meteoriche contenute nel detto catalogo. Nella seconda la durata di ciascuna pioggia. Nella terza la longitudine dell'apice per l'epoca media di ciascuna pioggia meteorica. Nella quarta e nella quinta l'ascensione retta e la declinazione di ciascun punto radiante. Nella sesta e nella settima la longitudine e la latitudine corrispondente [1]. Nella ottava finalmente la longitudine di ciascun punto radiante, contata non già dall'equinozio, ma dalla posizione dell'apice considerato come fisso. I numeri dell'ottava colonna non sono altro che la differenza fra i numeri della sesta e quelli della terza. Adunque le colonne settima ed ottava contengono le coordinate dei punti radianti riferite all'eclittica, ed all'apice come origine delle longitudini.

---

(1) Per questa conversione di coordinate mi son servito del doppio reticolato dell'Atlante celeste di Flamstedio, il cui uso è sufficientemente esatto pel nostro scopo.

N° d'ordine	DURATA E DATA delle PIOGGIE METEORICHE	Longitudini dell'apice, α	COORDINATE dei punti radianti AR.	Decl.	Longitudini L.	Latitudini B.	Longitudini dall'apice. $L-\alpha$
1	Dicembre 20 - Gennaio 30 . . .	200°	22°	75°	63°	57°	—137
2	Dicembre 20 - Gennaio 30 . . .	200	5	85	78	65	—122
3	Dicembre 21 - Febbraio 4 . . .	203	68	17	68	— 5	—135
4	Gennaio 2 - Gennaio 3 . . .	193	234	51	203	67	+ 10
5	Gennaio 2 - Febbraio 4 . . .	209	133	40	124	22	— 85
6	Gennaio 5 - Gennaio 25 . . .	205	173	32	160	27	— 45
7	Febbraio 4 - Febbraio 26 . . .	236	147	34	138	20	— 98
8	Febbraio 7 - Febbraio 26 . . .	238	136	70	113	50	—125
9	Febbraio 9 - Febbraio 17 . . .	234	76	40	79	17	—155
10	Febbraio 10 - Marzo 17 . . .	219	168	9	165	4	— 84
11	Febbraio 11 - Marzo 16 . . .	249	37	1	35	—13	+146
12	Febbraio 19 - Febbraio 26 . . .	244	220	84	103	70	—141
13	Marzo 3 - Marzo 27 . . .	261	44	72	69	52	+165
14	Marzo 3 - Marzo 31 . . .	266	145	67	119	49	—147
15	Marzo 3 - Marzo 31 . . .	266	186	58	151	53	—115
16	Marzo 12 - Marzo 20 . . .	265	223	39	202	52	— 63
17	Aprile 1 - Giugno 2 . . .	312	194	52	163	51	—149
18	Aprile 2 - Maggio 1 . . .	297	189	4	187	7	—110
19	Aprile 8 - Maggio 28 . . .	313	227	— 8	227	9	— 86
20	Aprile 12 - Aprile 13 . . .	293	276	26	278	49	— 15
21	Aprile 16 - Maggio 3 . . .	305	96	87	91	64	+146
22	Aprile 19 - Aprile 29 . . .	300	282	33	287	56	+129
23	Aprile 25 - Giugno 4 . . .	324	255	48	240	70	— 84
24	Aprile 30 - Giugno 4 . . .	327	243	20	237	40	— 90
25	Maggio 9 - Giugno 3 . . .	331	277	42	282	66	— 49
26	Maggio 9 - Giugno 4 . . .	331	286	21	290	43	— 41
27	Maggio 29 - Giugno 17 . . .	347	336	45	2	49	+ 15
28	Giugno 1 - Giugno 30 . . .	355	236	30	223	48	—132
29	Giugno 1 - Giugno 30 . . .	355	300	85	82	71	+ 87
30	Luglio 2 - Luglio 24 . . .	21	302	48	328	66	— 53
31	Luglio 10 - Agosto 6 . . .	31	257	13	254	36	—137
32	Luglio 20 - Agosto 4 . . .	35	359	70	48	60	+ 13
33	Luglio 22 - Agosto 10 . . .	39	335 1/2	11	341	20	— 58
34	Luglio 29 - Agosto 22 . . .	47	296	48	318	68	— 89
35	Agosto 6 - Settembre 10 . . .	61	0	90	90	67	+ 29
36	Agosto 7 - Agosto 16 . . .	47	44	56	60	37	+ 13
37	Agosto 17 - Settembre 12 . . .	67	253 1/2	8 1/2	251	30	—176
38	Agosto 17 - Settembre 30 . . .	75	282	42	290	65	—145
39	Agosto 17 - Settembre 30 . . .	75	332	50	4	55	— 71
40	Agosto 18 - Settembre 29 . . .	75	13	34	25	26	— 50
41	Agosto 22 - Novembre 5 . . .	96	1	15	7	13	— 89
42	Settembre 6 - Novembre 23 . . .	112	22	— 9	17	—16	— 95
43	Settembre 20 - Ottobre 11 . . .	98	83	48	85	24	— 13
44	Settembre 25 - Ottobre 10 . . .	100	51	84	82	62	— 18
45	Settembre 27 - Novembre 2 . . .	112	14	58	42	47	— 70
46	Ottobre 3 - Ottobre 20 . . .	109	140	45	128	28	+ 19
47	Ottobre 4 - Novembre 10 . . .	120	45	53	52	15	— 68
48	Ottobre 18 - Novembre 3 . . .	123	83	12	83	—11	— 50
49	Ottobre 20 - Novembre 21 . . .	133	91	56	91	32	— 42
50	Ottobre 31 - Dicembre 9 . . .	148	139	7	139	— 8	— 9
51	Novembre 1 - Novembre 23 . . .	140	16	49	37	38	—103
52	Novembre 7 - Novembre 15 . . .	142	149	23	143	10	+ 1
53	Novembre 23 - Dicembre 9 . . .	159	279	56	297	78	+138
54	Novembre 24 - Dicembre 10 . . .	160	59	38	65	17	— 95
55	Novembre 26 - Dicembre 30 . . .	171	96	36	94	12	— 77
56	Novembre 27 - Dicembre 19 . . .	166	157	71	122	55	— 44

44. Prendendo per coordinate dei punti radianti i numeri delle due ultime colonne, ho costrutto quelli che si trovano al Nord dell'eclittica nel planisfero che occupa la tavola I. Il punto centrale è il polo boreale dell'eclittica: sul circolo esterno che rappresenta l'eclittica stessa è rappresentato in basso l'apice, origine delle longitudini, in alto il punto opposto, o *anti-apice*; nella longitudine di $+90^\circ$ a sinistra è il Sole (la cui elongazione dall'apice può ritenersi come costante ed uguale ad un angolo retto): nella longitudine di -90° a destra è il punto opposto al Sole. La proiezione adottata è quella di Lorgna, la quale, conservando il rapporto delle aree, può far giudicare dove i punti radianti trovansi più densi, e dove più rari: ciò che nella proiezione stereografica non si può ottenere. Un semplice sguardo gettato su questa carta mostra intorno al Sole un gran vuoto, effetto dell'impossibilità di determinare i punti radianti che si trovano presso al Sole, o troppo vicini ai crepuscoli. Tracciando sulla proiezione la curva che rappresenta quel circolo minore di cui i punti distano 70 gradi dal Sole, si vede che nello spazio o segmento intercluso in esso circolo dalla parte del Sole, non cade che un solo punto radiante, cioè il n° 22, il quale corrisponde alla nota pioggia del 19 e 20 agosto. Perciò abbiamo sulla carta designato il circolo anzidetto come limite di visibilità dei punti radianti. Nel circolo, i cui punti distano dal Sole 60 gradi, non cade alcun centro di radiazione: onde si vede che il Sole occulta nei nostri climi un quarto del cielo a questo genere di osservazioni. Adunque tutte le pioggie meteoriche, di cui il moto relativo ha una direzione inclinata di meno che 60° rispetto al raggio vettore, sono da riguardarsi come non osservabili a noi, sebbene non sia impossibile di vederne una parte nelle regioni equatoriali, dove i crepuscoli più brevi permetteranno col tempo di restringere quello spazio vuoto della nostra carta, che circonda il luogo del Sole.

45. Una singolare conseguenza di questo fatto è quella che vado ad indicare. Essendo nella figura 4ª AED la sfera indicata nella figura 3ª, OB la velocità della Terra, $OA = OB.\sqrt{2}$ quella delle meteore, le cui correnti si suppongono cadere in tutte le direzioni dalla superficie della sfera su O, il moto relativo di tutte le meteore sarà rappresentato dalla caduta delle medesime correnti dalla superficie sferica su B (§ 29): BD segnerà

la direzione dell'apice; la direzione del raggio vettore della Terra sarà BS, perpendicolare (o quasi) sopra BD. Immaginiamo che la retta BR, faciente angolo di 60° con BS, giri intorno a questa, descrivendo un cono RBN. Questo cono taglierà la superficie sferica secondo una certa curva RN, la quale intercetterà sulla sfera uno spazio ovale $RSNK$. È manifesto che tutte le correnti meteoriche, delle quali il moto *relativo* si fa secondo una direzione contenuta nell'interno del cono RBN, saranno occultate dai crepuscoli solari come fu detto (§ 44). Se ora noi descriviamo un'altra superficie conica, la quale abbia il suo vertice in O, e per direttrice la curva RN, è palese che saranno occultate dai crepuscoli tutte le correnti meteoriche di cui il moto assoluto si fa secondo una direzione contenuta nell'interno del cono RON. E se le correnti meteoriche non seguono alcuna legge particolare nelle loro direzioni intorno ad O, accadrà che il numero delle correnti occultate starà al numero totale delle correnti, come la superficie curva ovale $RSNK$ sta alla superficie della sfera. Ma se questa sfera si divida, per mezzo del piano EF perpendicolare a DA, in due emisferi EDF e EAF, il primo conterrà le direzioni delle correnti retrograde, il secondo quelle delle correnti dirette. E si vedrà che l'area della detta ovale cade in assai maggior parte sul secondo emisfero, che sul primo. Onde abbiamo questa proposizione: che i crepuscoli solari occultano a noi pioggie meteoriche quasi esclusivamente dotate di corso diretto nello spazio. E, tutte le altre cose essendo eguali, fra le pioggie meteoriche visibili dovranno prevalere di numero quelle che sono prodotte da correnti retrograde.

46. Ritornando alla nostra carta dei punti radianti, l'emisfero ivi rappresentato è diviso in due parti da quel circolo di latitudine che passa per il Sole, e, prolungato, va al punto opposto al Sole. Di queste due parti, o quadranti sferici, quello che contiene l'apice dovrebbe, riferendoci ai ragionamenti del § 42, essere almeno cinque o sei volte più ricco di punti di radiazione che non l'altro quadrante. L'enumerazione effettiva dà per il primo quadrante 31 punti di radiazione, per il secondo 20. Si vede che la preponderanza del primo quadrante è lontana da quella che la teoria richiederebbe nell'ipotesi dell'uniforme distribuzione dei movimenti assoluti. La causa principale di ciò sta nella circostanza, che i punti

radianti del secondo quadrante culminano la sera, e quindi nella parte più comoda della notte. Intorno al polo dell'eclittica si nota una certa condensazione, la quale proviene da ciò che i punti radianti di grande declinazione sono osservabili tutto l'anno, mentre quelli che si avvicinano all'Equatore ed all'eclittica non si osservano comodamente che in una parte dell'anno. Finalmente la maggior rarità dei punti radianti intorno all'eclittica può avere in parte per causa l'obbliquità dell'eclittica stessa, della quale la metà australe culmina assai basso, dove le stelle cadenti non sono più bene visibili. In nessun caso dall'aspetto della nostra carta si può ritenere confermata l'opinione del signor Faye, secondo il quale le orbite delle stelle cadenti dovrebbero principalmente addensarsi intorno all'eclittica, e dare origine al fenomeno notissimo della luce zodiacale (1).

47. Non abbiamo dunque nessuna ragione di supporre che le stelle cadenti si muovano, nel loro corso assoluto, più tosto secondo una certa direzione che secondo un'altra; nè traccia alcuna appare dell'addensarsi delle loro orbite piuttosto intorno ad un piano che ad un altro. Epperciò la spiegazione teorica delle variazioni diurne, annue ed azimutali da noi abbozzate nei §§ 31, 36, potrebbe fors'anche svilupparsi più rigorosamente col calcolo, siccome A. Herschel, Newton ed io abbiam fatto, prendendo per base l'ipotesi delle direzioni uniformemente ripartite (2). Esaminando tuttavia la cosa più minutamente, si trova che, affinchè un tale calcolo possa rappresentare sufficientemente le operazioni della Natura, conviene tener conto di varie circostanze, alcune delle quali sono difficilissime a ridurre in proporzioni numeriche. Oltre alla posizione variabile dell'apice lungo l'eclittica, il cui effetto si traduce senza fatica in formule, bisogna considerare: 1° la diversa visibilità delle stelle cadenti, secondo la maggiore o minore inclinazione che le loro traiettorie hanno rispetto alla nostra visuale; 2° la diversa copia

(1) *Comptes rendus*, t. LXIV, p. 549 e seguenti.

(2) Appunto da uno di tali calcoli io fui condotto all'ipotesi cometaria delle stelle cadenti (V. *Lettera I al P.* Secchi). Faye ha però fatto giustamente osservare, che troppe difficoltà si oppongono ad ottenere in essi quel rigore che è necessario per farne base di ulteriori ricerche.

in cui si mostrano le stelle radianti da un certo punto della sfera celeste, secondo che questo punto è più o meno vicino allo Zenit; 3° l'incurvamento che l'attrazione della Terra produce nella traiettoria descritta dalle meteore (1), in virtù del quale il loro punto di radiazione può notabilmente essere spostato nella sfera celeste; 4° la varietà delle velocità relative con cui le meteore cadono sulla terra: varietà che può cambiare moltissimo la densità della loro caduta; 5° la maggiore o minore inclinazione delle orbite meteoriche rispetto alla direzione dell'apice, la quale fa sì che la terra può impiegare un tempo più o meno lungo ad attraversare correnti di eguale densità e larghezza; 6° finalmente le diverse condizioni di visibilità che nascono dalla combustione più o meno rapida delle meteore entrate nell'atmosfera con differenti velocità relative.

48. Allorquando le distribuzioni secondo la loro variazione diurna ed annua, e secondo le direzioni dell'orizzonte, potevano credersi come leggi fondamentali nello studio delle stelle meteoriche, importantissimo era il tentativo di sottoporle a calcolo, per trarne qualche induzione, siccome fecero gli autori citati nel § precedente. Ora noi sappiamo donde vengono le stelle cadenti, nè ignota ci è la natura delle traiettorie che percorrono nello spazio. Il progresso di questa disciplina è oramai legato all'osservazione assidua delle pioggie meteoriche e dei loro punti radianti. Le variazioni periodiche (specialmente le azimutali) diventano un oggetto secondario; ormai ci basterà sapere che esse non contraddicono agli altri fatti certi che conosciamo in questa materia, e che nella teoria cosmica ne abbiamo una semplicissima e naturale spiegazione. Non perderemo dunque la nostra fatica nel ridurre a calcoli esatti una classe di fenomeni, di cui l'effetto non si potrà mai estimare che con grossa approssimazione. Finito è il tempo di riferire le stelle meteoriche allo Zenit ed ai punti cardinali: sono esse astri del cielo, ed a punti della sfera celeste mobile dobbiamo connettere le loro osservazioni. Ma l'esame di alcune fra le circostanze accennate nel § 47, che accompagnano la caduta delle

(1) Incurvamento che non dee confondersi con quello che ha luogo nell'atmosfera e di cui si è ragionato nei §§ 10-16.

stelle meteoriche sulla Terra, è talmente importante e fertile di conseguenze per il presente studio, che non esitiamo ad intraprenderlo, anche indipendentemente dall'utile che ne può derivare per la più esatta considerazione delle variazioni periodiche.

49. *Velocità della caduta.* Nella fig. 3ª essendo $OS = v$ la velocità assoluta di una meteora, $OB = V$ la velocità con cui la Terra si muove da A verso D, la velocità relativa dei due corpi sarà SB, e l'angolo della direzione apparente della caduta con la linea condotta all'apice sarà DBS. Si vedrà dunque il punto radiante nella direzione BS; onde l'angolo DBS potremo designare come *elongazione del punto radiante dall'apice.* Potendosi riguardare V, v come costanti, e valendo generalmente con molta approssimazione il rapporto $v = V.\sqrt{2}$ (§ 36), la velocità relativa BS, che chiameremo u, sarà semplicemente una funzione dell'elongazione DBS. La massima velocità relativa starà alla minima come $\sqrt{2}+1$ a $\sqrt{2}-1$, ossia come 5, 82 : 1. E sarà facile, colla risoluzione del triangolo OSB, calcolare la velocità relativa conveniente a qualunque data elongazione, quando sia noto il valore della velocità terrestre media OB. Or questa, quando si adotti 8″. 95 per valore della parallasse solare equatoriale, è data da

$$V = 29261^{m}$$
$$\log. V = 4.\ 466287.$$

Quindi, allorquando si trascurino le piccole ineguaglianze della velocità terrestre e del raggio vettore, come pure l'effetto della lieve divergenza delle orbite meteoriche dalla parabola, risulterà per la massima velocità relativa

$$29261^{m}(1+\sqrt{2}) = 70642^{m},$$

per la minima

$$29261^{m}(\sqrt{2}-1) = 12120^{m}.$$

50. Così semplici sarebbero queste relazioni, quando l'osservatore B fosse isolato nello spazio. Ma la massa terrestre, attraendo a sè le stelle meteoriche, ne accelera la caduta. Se consideriamo per ora soltanto le cadute centrali, cioè quelle che sono dirette verso il centro della Terra considerata come sferica, il moto relativo potrà ancora considerarsi come

rettilineo. Indicando con u' la velocità della stella cadente all'infinito (cioè quella che aveva prima di sentire in modo sensibile l'effetto dell'attrazione terrestre); con g la gravità alla distanza r dal centro, di guisa che l'attrazione alla distanza ρ sia $g\frac{r^2}{\rho^2}$; con W la velocità accelerata, quale ha luogo nel punto distante dal centro terrestre della quantità r; avremo dal noto teorema delle forze vive la relazione

$$W^2 = u'^2 + 2 \cdot \int_r^\infty g \frac{r^2}{\rho^2} \cdot d\rho = u'^2 + 2gr \ .$$

Cadendo dunque la stella sulla superficie terrestre, potremo senza errore notabile supporre r eguale al raggio medio del globo, ossia a 6364550^m; a questa distanza dal centro si ha $g = 9^m.80$ (1), onde la relazione precedente diventa, quando le velocità W, u' siano espresse in metri:

$$W^2 = u'^2 + 124745180 \ .$$

Il numero 124745180 esprime qui di quanto si accresce il quadrato della velocità relativa u' in forza dell'attrazione terrestre. È manifesto che per u' sarà opportuno prendere la velocità relativa della Terra e della meteora nel loro punto di incontro, quale avrebbe luogo senza l'attrazione della Terra, e quale si calcolerebbe colla regola assegnata nel § precedente. Ciò equivale a supporre, che l'accelerazione prodotta dalla Terra abbia luogo come se il moto relativo nelle due orbite fosse rettilineo ed uniforme; ipotesi che non molto si scosta dal vero, a cagione della piccolezza della sfera, in cui si rende sensibile l'effetto dell'attrazione terrestre. Intendendo dunque con u la velocità relativa SB non perturbata, la velocità relativa accelerata W sarà calcolabile con

$$W^2 = u^2 + 124745180 \ . \qquad \ldots\ldots\ldots (5)$$

Da questa formola è facile vedere, che l'attrazione terrestre aumenta tutte

(1) H. Resal: *Traité élémentaire de Mécanique céleste*. Paris, 1865. Supponiamo qui trascurabile l'altezza delle stelle cadenti rispetto al raggio terrestre.

le velocità relative, ma le minori in proporzione assai più grande che le maggiori. Così la velocità relativa massima nella direzione dell'apice, che poc'anzi abbiam trovato di 70642^m, diventa di 71520^m, non cresce quindi più di 878^m. Al contrario la velocità minima, che corrisponde al punto opposto all'apice, da 12120^m sale a 16482^m, e aumenta di 4362^m. Un effetto dell'attrazione terrestre è dunque di diminuire la sproporzione fra le massime e le minime velocità relative. Il loro rapporto, che senza di essa sarebbe di 5, 82 ad 1, si riduce per tal guisa a 4, 34 : 1.

51. Le velocità, con cui le meteore cadono nell'atmosfera, possono dunque variare da $16\,^1/_2$ a $71\,^1/_2$ chilometri per minuto secondo; e questi limiti possono ancora allargarsi alquanto per certi casi particolari, quando si tenga conto della variabile velocità della Terra, e della eccentricità delle orbite descritte nello spazio planetario dalle meteore (eccentricità che in alcuni casi può sensibilmente deviare dall'unità). Questa grande differenza nelle velocità della caduta non può mancare di produrre i suoi effetti nelle apparenze stesse delle stelle cadenti. Così, a parità di massa, la forza viva di cui è animata una stella cadente nella direzione dell'apice sta alla forza viva di una stella cadente nella direzione opposta, come il quadrato di $71\,^1/_2$ sta al quadrato di $16\,^1/_2$, ossia come 19 : 1. Ora questa forza viva, dileguandosi la materia meteorica nell'atmosfera, viene completamente distrutta trasformandosi in calore ed in luce. Ne deduciamo che, a parità di massa, la prima stella cadente dovrà sviluppare 19 volte più calore che la seconda, dando origine anche a maggior produzione di luce. Per questo fatto adunque dovranno in generale le stelle, che cadono in direzioni prossime all'apice, esser visibili in maggior numero e più splendide che le stelle cadenti sulla Terra in direzione opposta. Si vede che questa circostanza tende a modificare l'espressione numerica della variazione diurna.

52. Ma la diversa celerità dei movimenti produce eziandio una differenza nella durata della fase luminosa. Sia infatti che la luce delle meteore provenga dalla semplice confricazione, sia che provenga anche in parte da chimica combustione, certo è che il loro splendore deve accrescersi con maggiore intensità e rapidità quando il corso è più veloce, tutte le altre circostanze restando identiche. Siano v, v' le velocità con cui due meteore di massa identica m entrano nell'atmosfera: R, R' le

resistenze che provano in un istante qualunque, in cui percorrono l'elemento ds della loro traiettoria nell'aria. Se supponiamo intieramente distrutte le loro velocità al fine della corsa, dovremo avere le relazioni:

$$mv^2 = 2\int R\,ds\ , \qquad mv'^2 = 2\int R'\,ds\ ,$$

gli integrali essendo estesi dal principio al fine della traiettoria descritta nell'atmosfera. Ammettiamo per un momento l'ipotesi che il movimento sia uniforme dal principio alla fine dello spazio s, e che esso cessi ad un tratto quando le resistenze R, R', che mettiamo pure costanti, abbiano intieramente distrutto la forza viva. Avremo

$$mv^2 = 2Rs\ , \qquad mv'^2 = 2R's'\ .$$

Nell'ipotesi che le resistenze R, R' siano proporzionali ai quadrati delle velocità v, v', queste due relazioni daranno

$$s = s'\ ;$$

cioè le due traiettorie comprese fra l'ingresso delle meteore nell'aria, e il punto della loro totale distruzione avranno eguali lunghezze; e quindi le durate delle fasi luminose saranno in ragione inversa delle velocità. Quando le resistenze R, R' crescano in ragione più rapida che quella dei quadrati delle velocità (siccome sembra probabile), lo spazio descritto dalla meteora più rapida e più luminosa sarà più breve.

53. Il risultamento di questo calcolo grossolano è perfettamente conforme al fatto. Una massa, che, come le stelle meteoriche di novembre, entra nell'atmosfera con la celerità di 70 chilometri per secondo, viene in breve tempo ridotta in vapori dal calore che sviluppa l'ingente resistenza dell'aria assai rarefatta degli strati superiori. Una seconda massa eguale alla prima, che entrasse nell'atmosfera con la velocità di 300 metri per secondo (quale non è infrequente nei proietti d'artiglieria), non farebbe che cadere semplicemente intatta al suolo, forse alquanto riscaldata, senza subire alcuna perdita sensibile di materia durante il suo corso. Nessuno sviluppo di luce ne accompagnerebbe il tragitto. Tanta dunque è la diversità dei fenomeni che nasce dalla varia velocità. Fra questi due casi estremi noi possiamo immaginare una serie di altri casi intermedii. Poichè

si potrà aumentare la velocità della seconda massa al punto, ch'essa cominci a diventar rovente al fine della sua corsa. Accrescendo la sua velocità di alcuni gradi, avremo una traiettoria luminosa nella parte inferiore; simultaneamente dal calor rosso si passerà al calor bianco. Una velocità superiore alla precedente produrrà un principio di volatilizzazione: la massa cadrà al suolo diminuita più o meno notabilmente di peso. Progredendo avanti nella scala della velocità, esisterà un grado tale, per cui la massa, nell'arrivare al suolo, si troverà giustamente dileguata in vapori. Egli è poi manifesto che per gradi di velocità ancora superiori si arriverà ad aver la massa completamente volatilizzata ad altezze più o meno grandi, e questo è il caso delle stelle meteoriche. Nessun dubbio adunque che le stelle cadenti descrivano nell'aria, prima di esser totalmente disciolte, traiettorie tanto più lunghe, quanto minore è la loro velocità. E se questa velocità potesse ridursi a qualche centinaio di metri, *tutte* le stelle cadenti dovrebbero arrivare al suolo (1).

54. Probabilmente la velocità minima delle cadute, da noi fissata a $16\,^1/_2$ chilometri, è tale da produrre già la dissoluzione completa di tutte le stelle cadenti, il cui peso è inferiore ad un certo limite. Altre non potranno esser disciolte, che entrando negli strati più densi e più resistenti della bassa atmosfera; altre non saranno distrutte che parzialmente, e cadranno al suolo come aeroliti. Ma questo limite di grandezza o di peso, oltrepassato il quale la stella cadente diventa un bolide o un aerolito, sarà diverso per le velocità maggiori di $16\,^1/_2$ chilometri. Di due masse eguali, una cadente con la velocità ora detta, l'altra cadente con la velocità massima di $71\,^1/_2$ chilometri, la prima potrà giungere al suolo poco meno che intatta, la seconda andar invece disciolta tutta intiera pel calore sviluppato da una forza viva 19 volte più grande (§ 51). Dunque, a parità di circostanze, la proporzione degli aeroliti e dei bolidi alle stelle cadenti dev'essere maggiore per le correnti meteoriche, che incontrano la Terra con minore velocità relativa, e di cui i punti radianti sono più vicini all'anti-apice. L'atmosfera fa le veci d'una specie di

(1) Eccettuato il caso in cui abbia luogo azione chimica anche a bassa temperatura.

corazza, che difende la Terra dai colpi delle meteore; ma questa difesa è senza alcun paragone più efficace dalla parte anteriore (rivolta all'apice), che dalla parte posteriore (rivolta all'anti-apice).

55. Noi abbiamo veduto (§ 19) che le stelle cadenti si mostrano assai più numerose nelle ore della sera, che verso le ore della mattina; ed è stato provato, che ciò dipende dalla combinazione del moto orbitale della Terra col moto diurno (§ 33). Non vi sarebbe alcuna ragione di credere che lo stesso non debba pure verificarsi per gli aeroliti; ma la presenza dell'atmosfera ci deve render cauti a concludere. Infatti la regione del cielo circostante all'apice, o al *Sole meteorico*, è la più fertile di stelle cadenti, ma nello stesso tempo è quella cui corrispondono piccole elongazioni, e velocità di caduta molto grandi. Inversamente la parte del cielo che circonda l'*anti-apice* è povera di stelle cadenti, ma le elongazioni ivi sono prossime a 180°, e le velocità di caduta si avvicinano al loro valor minimo. Se adunque la frequenza delle meteore è preponderante dal lato dell'apice, la causa che permette loro di cader in terra come aeroliti è preponderante nel punto opposto. E secondo la maggiore o minore entità di queste due preponderanze potrà la variazione diurna nelle cadute aerolitiche seguire dappresso quella delle stelle cadenti, o non seguirla, ed anzi degenerare in una legge opposta; quest'ultimo caso appunto è quello che si verifica.

56. Nel rapporto del Comitato meteorico dell'Associazione Britannica pel 1860 (1), Greg ha esaminato la ripartizione oraria delle cadute di 135 aeroliti, e di 62 meteore detonanti, delle quali ultime l'affinità cogli aeroliti può ritenersi come dimostrata. Malgrado la poca copia delle osservazioni, l'andamento diurno si manifesta in un modo evidentissimo, come si può vedere dalla seguente tavola, che trascrivo dalla pag. 117 del sopracitato rapporto:

(1) *A Catalogue of Meteorites and Fireballs*, by R. P. Greg. — *Report of the British Assoc.*, 1860, p. 48-120.

Ore di tempo astronomico	Cadute di aeroliti	Meteore con detonazioni	Somma
—	—	—	—
0^h — 1^h	7	1	8
1 — 2	6	1	7
2 — 3	11	5	16
3 — 4	20	2	22
4 — 5	14	4	18
5 — 6	14	3	17
6 — 7	8	4	12
7 — 8	6	3	9
8 — 9	10	6	16
9 — 10	4	12	16
10 — 11	0	2	2
11 — 12	2	1	3
12 — 13	0	0	0
13 — 14	0	2	2
14 — 15	2	1	3
15 — 16	0	2	2
16 — 17	0	1	1
17 — 18	1	0	1
18 — 19	3	1	4
19 — 20	3	2	5
20 — 21	7	2	9
21 — 22	7	1	8
22 — 23	4	2	6
23 — 0	6	4	10

Risulta coll'ultima evidenza dai numeri dell'ultima colonna, che la massima frequenza degli aeroliti corrisponde a 6^h, che per le stelle cadenti è l'epoca di minima frequenza (§ 19); inversamente il minimo numero di aeroliti corrisponde a 17^h, che assai dappresso rappresenta per le stelle cadenti l'ora del *maximum*. La legge di variazione oraria è dunque esattamente invertita: la sproporzione dal massimo al minimo è veramente

enorme. Ciò sembra provare che di 100 aeroliti, ai quali l'aria dà passaggio quando cadono colla velocità di 16 $^1/_2$ chilometri, forse neppure uno riuscirebbe a penetrare fino a noi, se cadessero dalla parte opposta del cielo con velocità di chilometri 71 $^1/_2$. Questa inversione si mostra pure, ma con minor evidenza, nella variazione annuale degli aeroliti, per i quali GREG ha composto la seguente tavola (1):

Mese dell'anno	Aeroliti
Gennaio	12
Febbraio	13
Marzo	20 $^1/_2$
Aprile	20
Maggio	28
Giugno	25
Luglio	28
Agosto	18 $^1/_2$
Settembre	17 $^1/_2$
Ottobre	20
Novembre	21 $^1/_2$
Dicembre	16

L'andamento irregolare di questi numeri proviene dalla deficienza di osservazioni; tuttavia è notabile il *minimum* nei mesi di agosto e di settembre, cui per le stelle cadenti corrisponde un *maximum*. Del resto non conviene dimenticare che la frequenza degli aeroliti dipende non solo dalla velocità relativa, con cui le correnti incontrano la Terra, ma anche dallo stato di sminuzzamento della materia nelle correnti stesse: alcune delle quali potrebbero esser tanto finamente polverizzate, da non produrre alcun aerolito: altre invece composte di corpi sì grossi da produrne veri diluvii. La presenza di tali correnti eccezionali potrebbe dunque

(1) *A Catalogue etc.*, p. 116.

modificare in guisa molto essenziale la variazione diurna e la variazione annua degli aeroliti, ma questa seconda molto più che la prima.

57. Dopo ciò nessuno si maraviglierà che delle stelle cadenti sì numerose di agosto e di novembre neppure una sia giunta fino a noi: e che i giorni classici di queste pioggie meteoriche non siano distinti dagli altri per copia di aeroliti. Il punto radiante della corrente meteorica d'agosto è elongato di soli 38° dall'apice; la velocità relativa della sua caduta è di 60 chilometri. Il punto radiante della corrente di novembre è lontano dall'apice di soli 10°: e la velocità relativa è di 70 chilometri, poco inferiore al *maximum*. In tali circostanze è assai naturale credere che l'atmosfera offra a queste correnti un ostacolo insuperabile. Soltanto pezzi di grandezza veramente anormale potranno giungere fino a noi. Cadono così per non più rialzarsi tutti gli argomenti, per i quali si poteva esser ragionevolmente indotti a collocare gli aeroliti (e per conseguenza anche i bolidi) in una classe diversa dalle stelle cadenti. Quelle brillanti meteore, che durante le pioggie d'agosto e di novembre solcano il cielo colla rapidità del fulmine, e sviluppano in sì poco tempo tanta luce, da produrre l'effetto dei lampi, sono masse dell'istesso ordine di grandezza e di composizione analoga a quelle che il lento bolide con moto saltuario lascia cadere infuocate da altezze non grandi. Entrate nell'atmosfera con velocità più che doppia della velocità orbitale della Terra, la resistenza degli strati più elevati dell'atmosfera basta ad accenderle ed a consumarle prontamente. Se da quelle altezze (che sembrano variare fra 80 e 120 chilometri) mandano ancora tanto splendore, ed illuminano quella rara e poco riflettente massa d'aria, che le circonda, con lampi sì vivi, agevolmente si comprenderà che il loro effetto di luce può essere almeno eguale a quello dei bolidi più brillanti. E finalmente vediamo, qual benefico ufficio eserciti la nostra atmosfera come riparo dalle masse che il cielo ci invia: senza di essa saremmo continuamente esposti a frequenti colpi assai più fatali che quelli delle armi da fuoco.

58. Non tralascierò di far notare una assai singolare conseguenza delle cose finora discorse, la quale può fornire il mezzo di provare per osservazioni dirette la loro verità. Poichè le stelle meteoriche di caduta più veloce si accendono più presto, e più rapidamente si consumano, è chiaro

che l'altezza media delle loro traiettorie dev'esser maggiore, che per le meteore di caduta più lenta. Dunque le traiettorie più alte devono appartenere in generale a quei flussi meteorici, i cui punti radianti sono più vicini all'apice [1]. Un fatto si potrebbe addurre a sostegno di questa proposizione: ed è che l'altezza media di 78 meteore osservate in America il 13 novembre 1863 eccede di 15 o 20 miglia l'altezza ordinaria delle meteore. Quindi il NEWTON ha concluso che la pioggia delle meteore di novembre è formata di materiali più facilmente distruttibili o più facilmente infiammabili che i corpi aerolitici [2]. Per noi questa ipotesi non è punto necessaria, come si vede, a spiegare il fatto. La pioggia di novembre è, fra tutte le conosciute, quella la cui caduta si fa colla maggiore velocità, e di cui il punto radiante è più vicino all'apice. Nessuna meraviglia adunque che la combustione e dissoluzione delle sue meteore succeda più rapida, ed in istrati aerei più rari. È possibile del resto che fra meteora e meteora, fra corrente e corrente, abbiano luogo differenze chimiche, il cui influsso certamente non è da trascurare nello studio dei fenomeni che accompagnano la conflagrazione: ma ciò che noi sappiamo fino ad oggi su questo punto si può dire eguale a nulla.

VI. Effetti dell'attrazione terrestre sulla caduta delle stelle meteoriche.

59. *Incontro di una corrente meteorica colla terra.* Rappresentino le linee punteggiate della figura 5 una corrente meteorica diretta nel senso della freccia MS. AB sia la traiettoria della Terra, del cui movimento il senso è pure indicato da una saetta. Essendo tT la velocità della Terra, Mt quella delle meteore, la direzione del moto relativo e del punto radiante sarà TM; e quando la Terra sia in t, riceverà la pioggia meteorica come se venisse nella direzione tx, e nella direzione opposta tp rimarrà un vuoto cilindrico, il cui diametro è eguale a quello della Terra. Quando

(1) Si osservi che questo fatto influisce sulla visibilità delle meteore e sulla loro variazione diurna.

(2) *American Journal of Science*, t. XL, p. 252.

la Terra sia giunta in t', il vuoto cilindrico si sarà allungato e trasferito in $t'p'$. Uscita la Terra fuori della corrente, il vuoto cilindrico camminerà colle meteore, e quando la Terra giunga in t'', esso sarà qp''. E continuerà ad avanzarsi fintanto che le piccole diversità nelle velocità delle meteore e altre circostanze lo abbian deformato e colmato. Lo spettatore terrestre vedrà cadere sopra di sè la massima copia di meteore, quando il punto radiante o la direzione tx si trovi al suo Zenit. Per quelli che hanno il punto radiante lontano dallo Zenit è facile convincersi, che l'abbondanza della pioggia meteorica sarà proporzionale al coseno della distanza del punto radiante dallo Zenit. Di qui la conclusione: che ogni pioggia meteorica è soggetta, per un dato osservatore, ad una variazione quotidiana, la massima frequenza avendo luogo quando culmina il punto radiante al Meridiano superiore. Quando il punto radiante è sotto l'orizzonte, la pioggia meteorica cessa affatto. Per le celebri pioggie d'agosto e di novembre il punto radiante culmina nelle ore della mattina; onde un incremento di queste pioggie dalla mezzanotte alla mattina, che soventi fu confuso con quello prodotto dalla variazione diurna, di cui la causa è affatto differente. La variazione diurna dà il massimo quando culmina l'apice, e con esso la maggior quantità possibile di punti radianti è sull'orizzonte. Ma per un dato punto radiante il massimo di stelle da esso inviate ha luogo nel tempo della sua culminazione, che può essere ad un'ora qualunque fra le ventiquattro.

60. Essendo a la larghezza trasversale della corrente, la lunghezza del cilindro evacuato qp'' sarà eguale ad a moltiplicato per la cosecante dell'angolo tMT che l'asse del detto cilindro fa colla direzione MS della corrente. Il diametro del cilindro essendo sempre il medesimo, il volume del cilindro evacuato, o il numero delle stelle cadenti ricevute dalla Terra sarà tanto maggiore, quanto più piccolo sarà l'angolo tMT; e per questo si vede che le correnti arrivanti nella direzione dell'apice, e quelle che arrivano nella direzione opposta, soffriranno dalla Terra il massimo danno. Minimo sarà per quelle correnti che hanno il punto radiante lontano 90° dall'apice. Questa circostanza è una delle molte, che influiscono sulla variazione diurna delle stelle cadenti, producendo maggior abbondanza di meteore verso l'apice e verso il punto opposto, che nei punti intermedi.

61. *Effetto dell'attrazione terrestre sulla caduta delle pioggie meteoriche.* L'attrazione terrestre perturba il corso delle meteore nelle ultime ore della loro esistenza cosmica, ed incurvandone diversamente le orbite, modifica alquanto le conclusioni precedenti, le quali suppongono rettilinee e fra loro parallele le linee descritte dagli elementi della corrente all'istante della loro caduta. Siccome l'effetto dell'attrazione terrestre al di là della sfera della Luna non può produrre sul corso delle meteore alcuna perturbazione sensibile, e per una distanza eguale a quella della Luna il corso della Terra e delle meteore nello spazio si può riguardare come rettilineo, noi riferiremo il movimento delle meteore al centro della Terra, negligendo al tutto la forza perturbatrice del Sole, il che ognuno ci concederà potersi fare. Supponendo dunque arrestata la Terra, e attribuito ad una meteora il moto relativo, questo si farà in una sezione conica avente il centro della Terra per foco; il piano di questa orbita passerà per il centro ora detto, e per la retta che rappresenta la direzione e la posizione del moto relativo che avrebbe luogo, quando la Terra non esercitasse alcuna attrazione. Inoltre è palese che la meteora venendo a noi dagli spazi celesti, l'orbita relativa sarà necessariamente un'iperbole, e non una curva chiusa. Quell'assintoto di essa iperbole, che si accosta al ramo anteriore della curva (1), sarà la direzione del moto relativo all'infinito: esso si potrà confondere senz'altro colla retta che la meteora avrebbe percorso relativamente alla Terra, se l'attrazione di questa non avesse operato.

62. Poichè il piano dell'iperbole passa per il centro della Terra, se questa viene considerata come sferica, tal piano sarà verticale per lo spettatore collocato nel punto dove la meteora cadendo termina il suo corso. L'incurvamento delle traiettorie dovuto all'attrazione terrestre ha dunque sempre luogo secondo un piano verticale dello spettatore (2): e poichè la traiettoria è necessariamente concava verso il centro della Terra, l'ultima

---

(1) Chiamo così quel ramo dell'iperbole che descrive la meteora prima di esser passata al perigeo.

(2) Si suppone che il luogo dello spettatore coincida esattamente con quello della caduta. L'errore di questa supposizione è sempre trascurabile.

tangente, che è quella osservata dallo spettatore, *e che per lui determina il punto radiante*, farà colla verticale un angolo minore che le altre parti della traiettoria dalla meteora descritte fuori dell'atmosfera. Sia O (fig. 6) il centro della Terra, AB la direzione che avrebbe la corrente non turbata, e che segna quindi nel cielo la vera posizione del punto radiante. Una meteora che cada lungo AB tendendo direttamente al centro della Terra, non soffrirà alcun cambiamento nella direzione, ma solo nella velocità. Al contrario quella meteora, che avrebbe descritto la retta QD parallela ad AB, sarà invece deviata a descrivere l'iperbole SMF, di cui O è il foco, e QD l'assintoto al ramo anteriore. Essa incontrerà la Terra in M, e l'osservatore la crederà venuta nella direzione MV, mentre in realtà la vera direzione non perturbata era MN parallela ad AB. Il punto radiante si troverà dunque avvicinato alla verticale MZ di tutto l'angolo NMV, che ora si tratta di determinare.

63. Detta r la distanza del punto M dal centro, g la gravità corrispondente a questa distanza, u la velocità relativa non perturbata, w la velocità accelerata in M, avremo qui come al § 50:

$$w^2 = u^2 + 2gr \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

dove $2gr = 124745180$, ogni volta che le unità assunte siano il metro ed il secondo di tempo. L'area descritta in un secondo dalla stella intorno ad O quando cade, è eguale a $^1/_2\, w \times OT$, dove OT sia la perpendicolare abbassata da O sulla tangente TV. Detta z la distanza zenitale apparente del punto radiante, sarà $VMZ = OMT = z$, e quindi $OT = OM \sin z = r \sin z$. Quindi l'area descritta in un secondo arrivando in M sarà $^1/_2\, wr \sin z$. Con quest'area sarà facile, usando di noti teoremi, dedurre gli elementi dell'iperbole. Anzi tutto il semiasse reale DO sarà dato da

$$a = g \cdot \frac{r^2}{u^2}, \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

il parametro sarà:

$$a(e^2 - 1) = \frac{1}{g} \cdot w^2 \sin.^2 z, \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

l'angolo $ODQ = \psi$, compreso fra l'assintoto e l'asse reale, sarà dato per

$$\text{tang.}\,\psi = \frac{uw}{gr}\,.\,\sin.z\ , \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

e si avrà anche

$$\cos.\psi = \frac{1}{e}\ ; \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

la distanza $CO = s$ dell'assintoto al centro della Terra è

$$s = r\,.\,\frac{w}{u}\,.\,\sin.z\ . \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

La distanza zenitale vera del punto radiante, che ora cerchiamo, è NMZ; indichiamola con ζ. Abbiamo sulla figura

$$MOB = \zeta\ , \qquad DOB = \zeta + MOD = 180^0 - \psi\ ,$$

dunque

$$\zeta = 180^0 - \psi - MOD\ . \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

Noi conosciamo ψ: quanto a MOD, essa è l'anomalia vera del punto M sull' iperbole, e chiamandola ϖ, si ha:

$$r = \frac{a(e^2 - 1)}{1 + e\cos.\varpi}\ ;$$

mettendo qui invece di $a(e^2 - 1)$ e di e i loro valori tratti da (8) e da (10) si ottiene:

$$\cos.\varpi = \cos.\psi\,.\left\{\frac{w^2\sin.^2 z}{gr} - 1\right\}\ . \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

Così dalla (12) si calcola $\zeta = 180^0 - \psi - \varpi$, dove ψ e ϖ si ottengono per mezzo di (9) e di (13). Più semplice sarà il sistema delle equazioni surrogando invece di ψ, ϖ i loro complementi $\psi' = 90^0 - \psi$ e $\varpi' = 90^0 - \varpi$. Allora determinati ψ', ϖ' per mezzo delle formole

$$\left.\begin{aligned} &\cot.\psi' = \frac{uw}{gr}\,.\,\sin.z\ , \\ &\sin.\varpi' = \sin.\psi'\,.\left\{\frac{w^2\sin.^2 z}{gr} - 1\right\}, \\ &\text{si avrà:} \qquad \zeta = \psi' + \varpi'\ . \end{aligned}\right\} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

Tale è il calcolo per mezzo di cui, dalla posizione osservata del punto radiante si ottiene la posizione corretta dall'effetto dell'attrazione terrestre. Nei calcoli teorici, che riguardano le orbite delle stelle cadenti, è evidente che conviene impiegare queste ultime posizioni e non le prime. Ma per poter giungere a questo valore corretto della distanza zenitale dei punti radianti, è necessario già conoscere la velocità relativa non perturbata u, e quindi l'orbita della corrente meteorica nello spazio. Basterà tuttavia per questo fine una cognizione approssimata di quest'orbita.

64. Ad esempio scegliamo le osservazioni fatte in Inghilterra del punto radiante delle stelle di novembre 1866. Per Greenwich il *maximum* dell'apparizione, che supponiamo corrispondere all'istante della determinazione del punto radiante, ebbe luogo il 14 novembre a $13^h\ 12^m$ di tempo medio, nel quale momento la distanza zenitale del punto radiante determinato fu $64^\circ.\ 45'.\ 3$, e questo è il valore di z. Dall'orbita già prima conosciuta delle meteore [1] ho dedotto la velocità relativa non perturbata $u = 69363$ metri per secondo, da cui risultò, per mezzo della formula (6), la velocità reale della caduta $w = 70257^m$. Impiegando per gr il valore 62372590 (V. § precedente), risultò dal calcolo delle (14)

$$\psi' = 0^\circ.\ 48'.\ 6\ , \qquad \varpi' = 64^\circ.\ 8'.\ 0\ , \qquad \zeta = 64^\circ.\ 56'.\ 8\ ;$$

dove il valore di ζ supera quello di z per soli $11'\ 5$: di tanto adunque l'attrazione terrestre ha avvicinato il punto radiante allo Zenit nel tempo dell'osservazione. Di qui risulta che alle coordinate osservate del detto punto bisogna apportare le correzioni $+8',\ 4$ in AR, e $-8',\ 5$ in declinazione. Sì piccole quantità sono assai inferiori al limite di esattezza che si può sperar di raggiungere nella determinazione del punto radiante. Similmente facendo il calcolo per le stelle d'agosto, si troverebbe che l'effetto dell'attrazione terrestre sul loro punto radiante è insensibile. Ma non può valere la stessa conclusione per tutti i casi, siccome or ora si vedrà.

---

(1) *Astronomische Nachrichten*, n° 1629. — *Bullettino meteorologico* del R. P. SECCHI, t. VI, pag. 9.

65. L'angolo NMV, che è la differenza fra la distanza zenitale osservata z del punto radiante e la distanza corretta ζ, è la quantità di cui l'attrazione terrestre avvicina il punto radiante allo Zenit, e per brevità la designerò col nome di *attrazione zenitale*. Allorquando si considera una determinata pioggia meteorica, le quantità u e w sono eguali per tutti i suoi elementi, qualunque sia l'obliquità con cui incontrano la superficie della Terra: ciò risulta evidentemente dalla formula (6). Quindi la considerazione delle (14) farà subito vedere che l'attrazione zenitale è, per i diversi elementi di una stessa corrente meteorica, funzione della sola z. Questa attrazione è nulla quando $z = o$, cioè quando la meteora cade lungo la verticale, come AB (fig. 7): ma va crescendo per le traiettorie $A'B'$, $A''B''$ ecc., che incontrano la Terra con maggiore obliquità: e giunge al suo massimo valore per la meteora che rade la superficie terrestre descrivendo la curva SMF; nel qual caso si ha evidentemente $z = 90^\circ$. L'attrazione zenitale opera dunque sui punti radianti delle correnti meteoriche a un dipresso come la rifrazione sui luoghi delle stelle: è nulla allo Zenit, e da questo punto cresce fino all'orizzonte, dove raggiunge il suo massimo valore. È facile concludere dalle formule (14) o dall'immediata considerazione della fig. 7, che, detto Φ questo valore massimo, si ha $\Phi = 90^\circ - \psi$, quindi sarà facile ottenerlo dalla (9), che in questo caso di $z = 90^\circ$ dà

$$\text{tang.}\,\psi = \frac{u\,w}{g\,r}\,, \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

o, in virtù della relazione (6) fra u, w e $g\,r$, anche

$$\text{tang.}\,{}^1/_2\,\psi = \frac{u}{w}\,. \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

66. Il fenomeno dell'attrazione zenitale dei punti radianti non è identico per tutte le correnti meteoriche; esso si manifesta colla massima intensità per le correnti che vengono da punti radianti opposti all'apice; la minima intensità ha luogo per le correnti che vengono da punti radianti collocati nell'apice stesso. Nel primo caso abbiamo veduto essere (§ 49 e 50)

$$u = 12120^{\text{m}}, \qquad w = 16482^{\text{m}}$$

quindi nasce $\Phi = 17^{\circ}.\ 20'$: cioè il punto radiante sembrerà levarsi sull'orizzonte, quando invece si trova ancora alla profondità di $17^{\circ}\ 20'$ sotto il medesimo. Giungendo questo punto radiante allo Zenit, l'attrazione zenitale sarà nulla; si vede adunque che per questo solo effetto il centro di radiazione, nel portarsi dall'orizzonte allo Zenit in virtù del moto diurno, sembrerà spostarsi di $17^{\circ}\ 20'$ fra le stelle. È questa una circostanza, che serve a vieppiù complicare le apparenze, per sè non semplici, che offrono le pioggie meteoriche. Il movimento dei punti radianti può ancora diventar maggiore, se si comparino posizioni anteriori e posteriori alla culminazione. Così, per un osservatore situato sotto l'Equatore, un punto radiante di declinazione nulla descriverà nel suo moto diurno il primo verticale: lungo questo nell'intervallo fra il sorgere ed il tramontare percorrerà fra le stelle un arco di $34^{\circ}\ 40'$. Tali effetti possono ancora essere accresciuti in circostanze speciali, quando, per esempio, si avessero correnti ad orbita di breve periodo, dotate di moto diretto e parallelo a quello della Terra (1).

67. L'attrazione zenitale decresce però rapidamente collo scostarsi dei punti radianti dall'anti-apice. Per punti radianti lontani di 90° dall'apice si ha $\Phi = 3^{\circ}.\ 58'$; e finalmente per quelli che coincidono con l'apice stesso, $\Phi = 0^{\circ}.\ 42'$. Lo spostamento dei punti radianti sarà poi in generale sempre assai minore del massimo valore Φ durante le osservazioni; perchè la determinazione dei punti radianti non si può far bene, se non quando essi sono considerabilmente elevati sull'orizzonte. Considerate queste circostanze e tenuto a mente il grado di esattezza che si suole raggiungere in osservazioni di questo genere, crediamo si possa stabilire come regola generale, che si debba tener conto del movimento dovuto all'attrazione zenitale per tutti quei punti

---

(1) Se per esempio si abbia una corrente diretta la quale descriva un'orbita simile a quella della cometa di Biela, movendosi parallelamente alla Terra posto $a = 3,5$, la sua velocità relativa alla Terra sarà soltanto $u = 9042^{m}$, e la velocità accelerata, con cui la vedremo cadere dal punto opposto all'apice sarà $w = 14370^{m}$; quindi concludiamo il valor massimo dell'attrazione zenitale $\Phi = 25^{\circ}.\ 38'$. Se ci mettiamo nelle circostanze indicate qui sopra, se supponiamo cioè, che il punto radiante sia nell'equatore celeste, e che l'osservatore sia sull'equatore terrestre, lo spostamento del punto radiante fra le stelle potrà arrivare, dal sorgere al tramontare, a $51^{\circ}.\ 16'$, quantità veramente enorme.

radianti, che distano dall'apice più di 90^0. Ora si comprenderà di quale importanza sia la notazione dell'ora quando si descrivono sui planisferi le traiettorie apparenti delle meteore, per usarne alla determinazione dei punti radianti.

68. *Effetto dell'attrazione terrestre sul numero delle stelle meteoriche cadenti nell'atmosfera.* Considerando la figura 7, si vede che molte stelle meteoriche, le quali non avrebbero incontrato la Terra, se avessero continuato il loro corso in direzione rettilinea, vengono attirate nella nostra atmosfera dalla gravità. Se noi immaginiamo che l'iperbole SMF, tangente al globo terrestre, giri intorno alla retta OA, essa descriverà un conoide di rivoluzione, il quale a distanza infinita si confonderà col cilindro, che genera l'assintoto QD girando pure intorno ad OA. Le traiettorie descritte dalle stelle che penetrano nell'atmosfera saranno tutte contenute nel conoide suddetto, ed il raggio del cilindro evacuato sarà OC, ed è agevole convincersi, che

$$OC = r \cdot \frac{w}{u} \; ; \qquad \ldots\ldots\ldots (17)$$

Detta a la larghezza traversale della corrente, ξ l'angolo TMt (fig. 5), sarà il volume del cilindro evacuato

$$V = \pi r^2 \cdot \frac{w^2}{u^2} \cdot a \operatorname{cosec.} \xi \; ;$$

e poichè $w^2 = u^2 + 2gr$,

$$V = \pi r^2 a \operatorname{cosec.} \xi \cdot \left\{ 1 + \frac{2gr}{u^2} \right\} .$$

La qual formola è la traduzione di un fatto notato per la prima volta dal professore Newton (1), cioè che in causa dell'attrazione terrestre il numero delle stelle cadenti viene aumentato nel rapporto di 1 a $1 + \frac{2gr}{u^2}$. Questo aumento è quindi relativamente assai più sensibile per le correnti che cadono con piccola velocità, che per le altre. Così per le correnti della massima

(1) *Amer. Journ. of Science*, vol. XXXIX, p. 199.

velocità l'aumento si farà nel rapporto di $1 : \left(\frac{71520}{70642}\right)^2$, ossia di 1 : 1, 025; il numero delle stelle crescerà di circa $^1/_{40}$ rispetto a quello che si avrebbe avuto senza l'attrazione della Terra. Al contrario per le correnti che cadono colla minima velocità l'aumento si farà nel rapporto di $1 : \left(\frac{16482}{12120}\right)^2$, ossia di 1 : 1, 849; il numero delle stelle cadenti viene quasi duplicato. Quindi, a circostanze pari, la quantità delle stelle cadenti nella direzione dell'apice deve stare alla quantità delle stelle cadenti nella direzione opposta come 1, 025 : 1, 849, cioè come 1 : 1, 804, o più semplicemente, come 5 : 9. Questo fatto notabilissimo tende a compensare in gran parte l'effetto della variazione diurna delle meteore, diminuendo la sproporzione fra la frequenza del mattino e quella della sera.

69. *Aberrazione diurna dei punti radianti.* Affinchè niente manchi di ciò che riguarda il moto apparente dei punti radianti, darò qui le formule della loro aberrazione diurna, proveniente dal moto rotatorio dell'osservatore intorno all'asse terrestre. Queste formule in nulla differiscono da quelle che danno l'aberrazione diurna della luce per le stelle fisse. Essendo w la velocità della caduta d'una corrente meteorica, ω la velocità del moto rotatorio dell'osservatore lungo il suo parallelo terrestre; θ, δ l'angolo orario e la declinazione del punto radiante nel momento dell'osservazione; per liberare la sua posizione apparente dall'aberrazione diurna converrà apportare alla sua ascensione retta α e alla sua declinazione δ le correzioni

$$\left.\begin{aligned} \Delta\alpha &= -\frac{\omega}{w} \cdot \frac{\cos.\theta}{\cos.\delta}\,; \\ \Delta\delta &= -\frac{\omega}{w} \cdot \sin.\theta \sin.\delta\,. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (19)$$

Il massimo valore numerico, a cui possono arrivare $\Delta\alpha \cos.\delta$ e $\Delta\delta$ è $\frac{\omega}{w}$, quantità che per un osservatore situato sotto l'Equatore e per il valore minimo di w ($w = 16482^m$), equivale angolarmente ad $1^\circ.\ 37'$. Per il punto radiante delle meteore del 14 novembre 1866 sotto il parallelo di Greenwich a $13^h\ 12^m$ di tempo medio fu $\Delta\alpha = -3', 2$: $\Delta\delta = +5', 4$. È chiaro che

soltanto in rari casi sarà necessario tener conto dell'aberrazione diurna dei punti radianti.

70. L'aberrazione diurna in questione può essere indebolita, od anche quasi completamente distrutta dalla resistenza dell'atmosfera, quando il tragitto della meteora duri un tempo sufficiente, siccome già si è fatto osservare (§ 7-8). Considerata la brevità del tempo che sogliono impiegare le stelle cadenti a percorrere la parte atmosferica della loro traiettoria, incliniamo a credere che l'effetto della resistenza dell'aria sull'aberrazione diurna sia poco sensibile, e che quindi l'applicazione delle formule (19) sia giustificata in tutti i casi. Tuttavia ulteriori ricerche in questo proposito saranno sempre desiderabili.

VII. Perturbazioni esercitate dalla Terra o da altri pianeti sul corso delle stelle meteoriche.

71. Allorquando la Terra attraversa una corrente meteorica, produce in essa un vuoto cilindrico, il cui asse segue la direzione opposta al moto relativo (fig. 5). Questo vuoto tuttavia non è assoluto, quando si tenga conto della forza attraente della Terra; esso contiene stelle cadenti in minor quantità che il resto della corrente, ed ha un diametro maggiore di quello della Terra. La fig. 8 dà un'idea precisa di quanto avviene. Le stelle meteoriche contenute nel conoide mkn già accennato nel § 68, sono arrestate dalla Terra, su cui cadono tutte colla velocità w; quelle le cui traiettorie formano la superficie del conoide stesso, continueranno la loro strada pel ramo posteriore della loro iperbole ap, bq: finalmente le meteore che passano vicino alla Terra, stando fuori del conoide, descriveranno anch'esse relativamente alla Terra altrettante iperboli col foco in O, e saranno più o meno deviate nel loro corso. Alla distanza di un piccolo numero di diametri terrestri, tal deviazione diventa già insensibile. La Terra dunque, senza fare un vuoto completo nella corrente, dirada e disperde le meteore lungo un tratto, che giace nella direzione opposta a quella del moto relativo (o del punto radiante corretto per l'attrazione zenitale e per la aberrazione diurna).

72. Un pianeta qualunque O (fig. 9), di cui la massa (prendendo quella della Terra per unità) sia μ, eserciterà alla distanza ρ l'attrazione $\mu g \frac{r^2}{\rho^2}$, quando con g s'indichi, come al solito, la gravità terrestre che corrisponde alla distanza r dal centro. Se U sia la velocità relativa non perturbata di una meteora, W la velocità corrispondente al punto M, per cui $OM = \rho$, avremo la relazione analoga alla (6) del § 63:

$$W^2 = U^2 + 2\mu g \frac{r^2}{\rho} \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (20)$$

qualunque sia il punto M della traiettoria iperbolica. Indichiamo qui con M in particolare il perigeo della meteora [1], e con ρ la distanza perigea, o il massimo avvicinamento dei due astri. La (20) darà allora una relazione fra la distanza perigea e la velocità perigea W; aggiungendovi la seguente (v. § 65):

$$\text{tang.} \frac{1}{2}\psi = \frac{U}{W} \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (21)$$

avremo una relazione, assai utile in seguito, fra la distanza perigea OM e l'angolo $2\psi = QDP$ compreso fra gli assintoti dell'iperbole. La deviazione che il pianeta O produce sulla direzione del moto relativo della meteora, è evidentemente rappresentata dall'angolo $PDN = 180^\circ - 2\psi$; onde le (20) (21) ci danno un modo assai semplice di calcolare la deviazione del moto, data la distanza perigea, e la distanza perigea, data la deviazione del moto. Ciò suppone, a parlare esattamente, che i rami della iperbole siano esattamente paralleli ai loro assintoti nei punti dove la meteora entra nella sfera d'attrazione del pianeta, e dove ne esce [2]. Tale ipotesi è sempre talmente approssimata al vero, quando la sfera di attrazione si estenda soltanto ad alcune decine di diametri di qualunque dei pianeti, che non occorrerà tener conto della piccola differenza.

73. Il moto iperbolico essendo simmetrico rispetto al perigeo, la

---

(1) Per non creare neologismi chiamo *perigeo* il punto dove la meteora si accosta maggiormente al pianeta: è quello che si dovrebbe chiamare *peripianeta*.

(2) Circa alla definizione del raggio di questa sfera, v. più sotto § 75.

velocità relativa nel punto d'ingresso e nel punto d'egresso della meteora dentro e fuori della sfera d'attrazione è la stessa: noi supponiamo di più che essa sia eguale alla velocità relativa U del pianeta e della meteora, che avrebbe luogo se questi due astri non si attraessero. Così adunque concludiamo che l'attrazione di un pianeta che passi molto vicino ad una meteora, non ha per risultato di mutare la velocità del loro movimento relativo, ma soltanto la direzione di questo movimento. Ed è facile convincersi che il cambiamento della direzione sarà tanto più grande, quanto più piccola è la velocità relativa non perturbata U, e quanto più i due corpi si accosteranno l'uno all'altro nell'istante in cui la meteora passerà al perigeo.

74. Ben altro è il risultato, se consideriamo i movimenti assoluti (fig. 10). Sia XY la traiettoria descritta nello spazio dal pianeta con moto che supporremo rettilineo ed uniforme per tutto il tempo in cui la meteora si troverà nell'interno della sua sfera d'attrazione. Sia OA la velocità di questo movimento, e BA la direzione e grandezza della velocità assoluta non perturbata dalla meteora (1): il pianeta supposto in O vedrà cadere su di sè la meteora colla direzione e velocità relativa BO. Passando la meteora al perigeo, soffrirà dall'attrazione del pianeta una certa deviazione, dipendente, quanto alla sua grandezza, dalla distanza perigea: quindi, invece di continuare per OF il suo corso relativamente al pianeta, prenderà senza cambiar di velocità la direzione di uno dei lati del cono retto DOC, di cui l'angolo al vertice $FOC = FOD$ è identico alla deviazione suddetta. Sia OG questa nuova direzione del moto relativo. Per ottenere quella del moto assoluto, che ha luogo dopo cessata l'azione del pianeta, basterà comporre il nuovo moto relativo con il moto del pianeta. Fatto dunque $OE = OA$, $OG = OB$, si conduca EG. Questa linea rappresenterà la grandezza e la direzione della velocità assoluta della meteora dopo che è uscita dalla sfera d'azione del corpo perturbatore: ed il senso del movimento sarà da E verso G.

75. Allorquando il pianeta e la meteora si suppongono attratti dal Sole, BA rappresenterà la velocità orbitale della meteora all'istante in cui

(1) Il verso di questa e delle altre velocità è indicato sulla figura con saette.

essa penetra nella sfera d'attrazione, e EG la velocità nella nuova orbita che ha luogo dopo finita l'azione del pianeta. Noi supponiamo trascurabili le dimensioni della sfera d'attrazione rispetto alla distanza del Sole; nello stesso tempo le supponiamo grandissime rispetto alla distanza perigea della meteora. In tal guisa siamo dispensati dal fare alcuna ipotesi intorno al raggio di questa sfera, ciò che complicherebbe singolarmente la considerazione di tutti questi problemi, ed impedirebbe la deduzione di conseguenze generali. In queste nostre supposizioni (le quali sono sempre accettabili per qualunque dei pianeti, a cagione della loro massa piccolissima rispetto a quella del Sole) potremo prendere per BA la velocità orbitale che corrisponde al punto d'incontro delle due orbite, e riguardare EG come la nuova velocità orbitale corrispondente al medesimo punto. Ridotta a questi termini la discussione degli effetti che un pianeta esercita per trasformare le orbite delle meteore che gli si appressano senza incontrarlo, diventa un problema molto semplice, senza che tuttavia le conclusioni cessino di essere grandemente approssimate al vero. Il nostro procedimento è in sostanza una semplificazione di quello sviluppato per consimili casi da LAPLACE, e per opera di BURCKHARDT e di LEVERRIER applicato alla cometa di LEXELL [1].

76. Consideriamo ora, in luogo di una sola meteora, una intiera corrente, la quale cada sul pianeta O con la velocità relativa $OB = U$. Fra gli elementi della corrente, alcuni saranno arrestati dal pianeta; gli altri subiranno una deviazione più o meno grande, e la maggiore sarà per quelle meteore che avranno rasentato la superficie del pianeta. Chiamando R il raggio del pianeta (considerato come sferico), e ritenute le altre denominazioni delle formule precedenti, detta D la deviazione massima, essa si calcolerà colle formule:

$$\left.\begin{aligned} W^2 &= U^2 + 2\mu g \frac{r^2}{R}, \\ \text{tang.}\,\frac{1}{2}\psi &= \frac{U}{W}, \\ D &= 180^\circ - 2\psi. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (22)$$

(1) V. le formole di LAPLACE, *Mécanique Céleste*, livre IX, § 12, dove è indicata una

Dopo la perturbazione, tutte le meteore che avranno rasentato la superficie del pianeta prenderanno, nel moto relativo, le direzioni delle generatrici del cono COD, di cui l'angolo al vertice $FOD = D$. Ed è manifesto che le altre stelle cadenti, essendo passate ad una distanza perigea più grande, avranno subìto una deviazione minore; quindi il loro moto relativo, dopo la perturbazione, seguirà la direzione di una linea posta nell' interno di esso cono. Onde segue che le direzioni dei moti assoluti, dopo la perturbazione, saranno contenute nel cono obliquo CED, che ha coll'altro la base comune, ed il vertice nel punto E determinato da $OE = OA$.

77. Se consideriamo il caso per noi più interessante in cui il pianeta perturbatore è la Terra, l'angolo D di deviazione massima è, per una data corrente meteorica, eguale al doppio del massimo valore Φ dell'attrazione zenitale che corrisponde a quella corrente: del che è facile convincersi. L'angolo al vertice FOD sarà acuto e compreso generalmente fra $34^\circ\ 40'$ e $1^\circ\ 24'$ (§ 66-67). Sarà facile vedere che la massima e la minima velocità assoluta dopo la perturbazione (e quindi il massimo ed il minimo grand'asse delle nuove orbite percorse dalle stelle meteoriche) corrispondono a quelle due generatrici CO, OD della superficie conica, che giacciono nel piano del triangolo AOB; quindi, se si faccia $OC = OD = OB$, EC e ED saranno le due velocità estreme. Il loro calcolo dalle date OA, AB non dipende che dalla risoluzione dei triangoli OAB, EOC, EOD combinata coll'impiego delle formule (22), in cui pel caso presente è $\mu = 1$, $R = r$ (1).

78. Dietro così semplici principii avendo esaminato l'effetto che l'attrazione terrestre può produrre sopra le meteore di novembre, ho

---

semplificazione consimile: il calcolo di BURCKHARDT, ivi, § 13; quello di LEVERRIER con notabili perfezionamenti, *Annales de l'Observatoire de Paris*, vol. III, p. 203.

(1) Quando il punto E giace nell'interno del cono, queste proposizioni abbisognano di qualche modificazione, che il lettore facilmente indovinerà. Così pure quando (come può avvenire quando Giove o Saturno è il pianeta perturbatore) l'angolo al vertice FOD è maggiore di 90°, e il cono occupa più che metà dello spazio interno al suo vertice. Sarebbe troppo lungo ed anche inutile il fare qui la completa discussione di tutti i casi che possono presentarsi.

trovato che l'angolo di massima deviazione del moto relativo per le meteore che rasentano la Terra è 1° 28′. Inoltre, che supponendo la rivoluzione di queste meteore eguale ad anni 33, 25, nei casi estremi qui sopra indicati l'orbita che risulta dalla perturbazione può esser accorciata fino ad anni 28, 67 od allungata fino ad anni 49, 92. Si vede adunque che l'effetto del passaggio delle meteore presso alla Terra può risolversi in una variazione assai notabile del tempo rivolutivo. Quindi, sebbene la nube compatta delle meteore di novembre non sia molto lunga, e soltanto ogni 33, 25 anni possa venir incontrata dalla Terra, una piccola parte delle medesime, quelle cioè che in una delle rivoluzioni passarono vicino alla Terra, ha avuto campo di variare i suoi periodi, e di occupare, in forma di rarissima corrente annulare, tutta intiera l'orbita. Questa è forse la causa per cui quasi ogni anno si mostra una piccola apparizione di queste meteore, mentre le grandi apparizioni sono così rare.

79. Se poniamo che una di queste meteore, rasentando la Terra e passando oltre abbia provato la massima deviazione di 1° 28′ nel suo moto relativo, facil cosa è vedere che, se dopo una o più rivoluzioni, essa viene a cadere sopra la Terra, il suo punto di radiazione sarà allontanato da quello delle altre meteore di 1° 28′. Chè se ammettiamo che, per un caso singolarissimo, nel secondo appulso alla Terra, la meteora ne rasenti ancora la superficie e passi oltre, cadendo dopo una o più rivoluzioni la meteora sulla Terra, il punto radiante sarà osservato in una terza posizione distante di 1° 28′ dalla seconda, e di meno che 2° 56′ dal punto radiante delle altre meteore. Si vede adunque che, malgrado mutazioni affatto radicali nei tempi rivolutivi, i punti radianti delle meteore perturbate di novembre non possono allontanarsi di una quantità considerabile dal punto radiante del maggior numero. Ed ancora occorrerà un numero stragrande di rivoluzioni, perchè una stella cadente passi più volte in tale vicinanza della Terra, da subire ogni volta uno spostamento sensibile nel suo punto di radiazione.

80. Questo ci conduce a concludere che la precisione del fenomeno della radiazione, sempre diminuendo col volgere degli anni, può tuttavia essere ancora grandissima, malgrado che le orbite delle singole meteore sieno già state disperse ed abbiano subìto variazioni notabili dei tempi

rivolutivi. Una corrente meteorica può irradiare con esattezza quasi geometrica da un punto unico, e tuttavia possono i suoi elementi descrivere nello spazio orbite assai diverse. Questo fenomeno deve essere specialmente sensibile nelle correnti, il cui moto è quasi esattamente parabolico. L'attrazione della terra cambierà allora una parte delle orbite in ellissi di periodi assai varii, che possono anche essere molto brevi, altre in iperboli. Così la corrente si disperderà poco a poco, mandando continuamente agli spazi stellari una parte de' suoi membri. Al contrario quelle meteore che sono riuscite a stabilirsi in un'orbita di breve periodo, e quindi più fissa, possono compiere un numero grandissimo di rivoluzioni senza essere deviate in un'iperbole od in una parabola. Così, per esempio, le stelle di novembre formeranno sempre una corrente stabilissima; nessuna delle meteore che la compongono potrà essere deviata dalla Terra in un'orbita aperta, se non dopo più passaggi nelle vicinanze del nostro pianeta.

81. Le correnti meteoriche, le quali divergono da punti radianti vicini all'anti-apice, e seguono quindi press'a poco la Terra nella direzione del suo movimento, hanno assai meno stabili i loro punti radianti, e ciò a cagione del grande valore a cui possono aumentare le deviazioni delle meteore onde sono composte. Tali deviazioni per le meteore che rasentano la Terra possono giungere fino a 34° 40′; sì grande è lo spostamento che può subire il punto radiante di una meteora perturbata dalla Terra in questi casi. Anche è da notare, che per le correnti di cui qui si discorre, il numero delle stelle sensibilmente deviate dal loro corso è senza paragone assai maggiore che per le correnti simili a quelle di novembre, le quali vengono quasi nella direzione dell'apice. Epperciò le correnti, il cui punto radiante culmina la sera, saranno la sorgente principale delle *stelle sporadiche*. Sono anche queste le correnti, in cui la Terra opera cambiamenti più radicali sui grandi assi delle orbite e sui tempi rivolutivi. Queste riflessioni, congiunte ad altre di ordine diverso che già ho esposto nel § 16 e nel § 66, danno più che sufficiente ragione delle gravi difficoltà che s'incontrano nel classificare le stelle meteoriche secondo i punti radianti; difficoltà le quali principalmente pesano sulle correnti che appaiono nelle ore della sera.

82. Nello scopo di vedere fino a qual punto l'azione attrattiva della Terra può modificare i grandi assi e i tempi rivolutivi, io mi sono proposto di ricercare in quali circostanze debba muoversi un corpo dotato di velocità parabolica, affinchè in virtù dell'azione perturbatrice terrestre venga a ridursi nell'orbita della più breve rivoluzione possibile. Supponendo la terra costantemente dotata della sua velocità media, ho trovato, che il moto dev'essere diretto, e la parabola deve tagliare l'orbita terrestre (supposta circolare) sotto un angolo di 18°. In questa ipotesi il corpo descrivente la parabola dovrà presentarsi alla Terra *davanti* al suo passaggio (fig. 11), e rasentarne la superficie. Uscirà allora dalla sfera d'azione del nostro pianeta, seguendo una direzione inclinata di 25° rispetto all'orbita della Terra, e descriverà nel piano di questa orbita un'ellisse, di cui il semigrand'asse sarà 2,65 ed il tempo rivolutivo anni 4,31. È questa l'orbita più breve, in cui l'attrazione terrestre possa costringere un corpo qualunque dotato primitivamente di moto parabolico. Se, tutte le altre circostanze restando eguali, supponiamo che il perigeo sia eguale al doppio del raggio terrestre, la nuova orbita avrà 5,04 per grand'asse, e la sua rivoluzione sarà di anni 11,31. Nella seguente tavoletta sono dati i grandi assi ed i tempi rivolutivi corrispondenti a varie distanze perigee, supponendo sempre pel resto le circostanze qui sopra descritte.

Distanza perigea in raggi terrestri	Semigrand'asse dell'orbita trasformata.	Tempo rivolutivo corrispondente.
1	2, 65	4, 31
2	5, 04	11, 31
3	7, 43	20, 26
4	9, 90	31, 15
5	12, 46	43, 98
6	14, 77	56, 76
7	17, 19	71, 27
8	19, 64	87, 04
9	22, 08	103, 75
10	24, 45	120, 90

Se, invece che da un solo corpo, noi supponiamo la parabola percorsa da una corrente meteorica, alcuno dei suoi elementi sarà deviato in orbite di breve periodo, come quelle or ora indicate: altri in orbite di maggiori tempi rivolutivi, ed una parte considerevole sarà condotta in orbite iperboliche. Adunque si vede quale varietà di effetti corrisponde ad un medesimo passaggio della Terra a traverso di una corrente meteorica.

83. Io mi sono servito ancora dei principii esposti nei §§ 74, 75, 76 per ottenere alcuni schiarimenti intorno alla celebre questione sull'origine delle stelle meteoriche di novembre. Nella mia terza lettera al rev. P. Secchi (1) io avea tentato di spiegare l'origine di questa e di altre simili correnti annulari, supponendo che un ammasso di materia cosmica rarissima, arrivato dalle profondità degli spazi stellari e deviato dalla forte perturbazione di alcuno dei grossi pianeti in un'orbita di breve periodo, si fosse venuto disperdendo successivamente in modo da occupare, colle sue parti divenute fra loro indipendenti, tutta intiera quest'orbita, o almeno una porzione considerabile della medesima. Avrò ampia occasione di parlare sul grado di probabilità di questa ipotesi. Per ora basti accennare che il ch. sig. Leverrier, direttore dell'Osservatorio Imperiale di Parigi, giunto ad idee analoghe, credette di poter ravvisare in Urano il pianeta perturbatore (2), ed a questa conclusione egli fu principalmente condotto dalla circostanza, che l'orbita presente delle meteore di novembre sembra avvicinarsi notabilmente all'orbita di Urano. L'avvicinamento della massa cosmica originaria e del pianeta avrebbe avuto luogo, secondo le congetture di Leverrier, intorno all'anno 126 dell'èra volgare.

84. Convien qui riflettere in primo luogo, che l'orbita descritta dalle meteore di novembre è soggetta a rapide variazioni di posizione e forse anco di forma, siccome consta indubbiamente dal moto del nodo determinato dietro le osservazioni dal professore Newton, e coi suoi calcoli confermato dal professore Adams (3). Onde essere in grado di affermare

(1) *Bullettino meteorologico dell'Osservatorio del Collegio Romano*. Anno 1866, n° 11, del 30 novembre.

(2) *Comptes rendus*, vol. LXIV, p. 94 e seguenti.

(3) *Ibid.*, p. 651.

il concorso di un pianeta e della massa cosmica generatrice delle meteore per un dato istante, converrebbe poter seguire passo passo, risalendo nell'ordine dei tempi, tutte le mutazioni avvenute nell'orbita meteorica: al che certo non si è potuto pervenire fino ad oggi, e si può dubitare che si possa ottenerlo con qualche esattezza in avvenire. Adunque l'avvicinarsi dell'orbita meteorica all'orbita d'Urano nel tempo presente nulla può insegnarci intorno alla posizione rispettiva di queste due orbite nei secoli passati. Ed infatti chi esamini con qualche cura la questione, troverà possibile di condurre, per mezzo di acconcie ipotesi intorno alle variazioni degli elementi, l'orbita delle meteore ad intersecare non solo quella d'Urano, ma anche quelle di Saturno o di Giove, senza che sia possibile dire con qualche fondamento quale di esse intersezioni abbia avuto per sè maggiore probabilità nei tempi anteriori all'anno 902 dell'êra volgare, con cui cominciano le osservazioni conosciute del flusso meteorico di novembre.

85. Assai più facile sarà giudicare, valendoci delle cose qui sopra esposte, qual grado di mutazione abbia potuto produrre Urano per cambiare nell'ellisse attuale di circa 33 anni l'orbita anteriore di una massa così rara e così voluminosa, quale dobbiamo supporre fosse quella, dalla cui dispersione è nata la corrente di novembre. A tal fine noi rifletteremo che, sebbene a rigore l'orbita anteriore abbia potuto essere anch'essa di breve periodo, nondimeno ciò non può riputarsi probabile: prima perchè sarebbe uno spiegare *idem per idem*, ed inoltre difficile sarebbe il comprendere, come la dispersione della massa non abbia potuto aver luogo già prima almeno in parte. Riterremo dunque per base dei nostri ragionamenti, che l'orbita anteriore fosse una sezione conica allungatissima, quale si conviene a corpi che arrivano dalle profondità dello spazio stellato.

86. Sia dunque (fig. 12) S il Sole, MR l'orbita del pianeta perturbatore, MQ l'orbita presente delle meteore, ed ammettiamo che in un tempo non molto distante dall'attuale le due orbite si siano tagliate in M, e che in esso punto abbia avuto luogo la trasformazione dell'antica parabola delle meteore nell'orbita nuova. Essendo il corso MR del pianeta quasi circolare, l'angolo della tangente Mr col raggio MS potrà calcolarsi con

una certa approssimazione risalendo nell'ordine dei tempi coll'aiuto del moto cognito dei nodi dell'orbita meteorica attuale; così pure la velocità del pianeta in M. In ogni caso l'angolo SMr sarà sempre pochissimo diverso dal retto, e la velocità assai poco diversa della velocità circolare. Similmente il raggio vettore MS del punto M si potrà avere con precisione sufficiente per il punto M in cui all'epoca investigata si trova il nodo. E siccome il grand'asse e l'eccentricità dell'orbita meteorica MQ sono rimaste quasi costanti dal 902 in qua [1], potremo supporre costante la forma e la grandezza della medesima: quindi dato in essa il raggio vettore MS, ne conchiuderemo con poca incertezza l'angolo SMq, che tale raggio fa colla tangente Mq. Se noi facciamo la supposizione molto probabile, che l'inclinazione reciproca delle due orbite non abbia subìto delle variazioni eccessive, potremo coll'aiuto di essa e degli angoli SMr SMq concludere l'angolo qMr, e da esso ricavare la velocità relativa delle meteore e del pianeta nel punto M d'incontro. La forma e la posizione relativa delle orbite è tale, che il risultato finale dipende assai poco dalle variazioni secolari degli elementi delle meteore, ed in ultima analisi porta con sè assai poca incertezza.

87. Ciò ben compreso, passiamo alla figura 13, la quale rappresenta in scala proporzionata i fenomeni che avrebbero dovuto arrivare nel punto di concorso dell'orbita d'Urano e di quella delle meteore, secondo l'ipotesi di Leverrier. Rappresentata con $EO = OA$ la velocità del pianeta nel senso indicato dalla saetta, si ha, prendendo per unità la velocità media orbitale della Terra, e supponendo che O, il punto d'incontro delle due orbite, abbia su quella di Urano la longitudine di 231°,

$$EO = 0,23355;$$

la velocità assoluta delle meteore in quel punto è attualmente rappresentata da

$$EC = 0,09981,$$

(1) Gl'intervalli dei ritorni periodici del flusso di novembre furono sempre costanti: il raggio vettore nel nodo discendente fu pure sempre costante.

l'angolo OEC fra loro compreso è 133°, 8: la velocità relativa troviamo quindi essere

$$CO = 0,31334.$$

Questa dovea essere pure la velocità relativa anteriore alla perturbazione. Adunque per il corso anteriore a questa contingenza noi conosciamo: 1° la velocità relativa dei due corpi, cioè di Urano e dello sciame meteorico: essa è quella che or ora fu riferita; 2° la velocità assoluta di Urano, che pure abbiam dato; 3° la velocità assoluta delle meteore, che è la velocità parabolica corrispondente al punto O dell'orbita d'Urano: un facile calcolo dà per essa il valore 0, 32660. Noi conosciamo dunque i tre lati del triangolo OAB (fig. 10 e 13), e possiamo concludere gli angoli BAO e BOA, che la velocità assoluta BA e la relativa BO delle meteore facevano colla direzione OA dell'orbita d'Urano prima della perturbazione: sono rispettivamente 65°, 6, e 71°, 7.

88. Facendo ora girare il triangolo OAB intorno ad OA, noi sappiamo che la direzione del moto relativo dello sciame meteorico anteriormente alla perturbazione ha dovuto seguire una delle generatrici del cono BOB' generato in questa rotazione. Degli angoli, che queste generatrici fanno colla CO (direzione del moto relativo posteriore alla perturbazione) il minimo è COB', il massimo COB: calcolando questi angoli, diremo adunque che la deviazione operata da Urano sulla direzione dello sciame meteorico considerato nel suo moto relativo è compresa fra i limiti dati da

$$COB' = 95°,6$$
$$COB = 121,1$$

ai quali, secondo le formule (20) e (21) corrispondono le distanze perigee

$$\rho_1 = 1,28 \text{ raggi d'Urano},$$
$$= 6,13 \text{ raggi terrestri}:$$
$$\rho_2 = 2,70 \text{ raggi d'Urano},$$
$$= 12,93 \text{ raggi terrestri}.$$

Arriviamo dunque a questo singolare risultato: che se Urano ha dovuto trasformare l'orbita anteriore dello sciame di novembre (che supponiamo parabolica o quasi) nell'orbita attuale di 33 anni, la distanza perigea dei due corpi ha dovuto esser compresa fra 1,28 e 2,70 raggi del pianeta, o fra 6,13 e 12,93 raggi della Terra. Ed è facile vedere ancora che una distanza perigea minore del limite ρ_1 suppone necessariamente che l'orbita anteriore sia stata iperbolica; mentre una distanza perigea maggiore di ρ_2, suppone inevitabilmente un'orbita ellittica. Per distanze perigee comprese fra ρ_1 e ρ_2 l'orbita primitiva ha potuto essere una qualunque delle sezioni del cono.

89. Un passaggio della massa meteorica a sì breve distanza da Urano, quale è indicata dal limite esterno ρ_2 ha egli potuto aver luogo senza una dispersione totale della massa medesima in diversissime regioni dello spazio? Ne dubitiamo forte e dietro buoni argomenti. Il sistema delle meteore di novembre ha fatto, dal 902 in qua, ventinove rivoluzioni complete. Durante questo lungo intervallo di quasi 10 secoli esso si è conservato molto sottile e molto compatto, e non ha ancora occupato che una piccola parte della sua ellisse. Ne concludiamo che le orbite descritte da questi innumerevoli corpuscoli sono quasi identiche di forma, di grandezza e di posizione: i grandi assi sopratutto devono essere estremamente poco diversi l'uno dall'altro, e le loro differenze possono al più arrivare a qualche millesimo della loro lunghezza. Tale circostanza è sommamente importante per la nostra questione. Essa ci mostra, che quando la nube meteorica è stata condotta nella sua orbita presente, il pianeta perturbatore ha prodotto effetti quasi completamente uguali su tutte le parti ond'essa era composta. Quindi la conseguenza, che la minima distanza fra la nube ed il pianeta ha dovuto essere molto considerabile rispetto alle dimensioni della nube stessa. Ora queste dimensioni non potevano essere di un ordine inferiore ai diametri dei grossi pianeti; basta ricordare che nell'interno di questa nube era contenuta tutta la cometa di Tempel (1866 I), la quale occupava, alla sua ultima apparizione, un volume non inferiore a Giove. La conclusione è, che il pianeta perturbatore ha deviato la nube dalla sua orbita primitiva, senza tuttavia accostarsi troppo alla medesima.

90. Così noi vediamo, in modo generale, l'improbabilità che Urano abbia potuto deviare la nube meteorica di novembre da un'orbita parabolica in un'orbita quale è la presente. Non vi sarebbe altro modo di sfuggire a questa improbabilità, che la supposizione di un piccolissimo diametro per la nube meteorica. Affinchè si possa giudicare numericamente quest'altro lato della questione, io supporrò che, mentre una particella della nube descriveva rispetto ad Urano la sua orbita relativa passando a distanza perigea ρ, un'altra particella, camminando nel medesimo piano che la prima, sia passata alla distanza perigea $\rho + d\rho$; e mi proporrò d'investigare la differenza che ne nasce nel grand'asse dell'orbita delle meteore dopo la perturbazione. Essendo supposta U eguale per tutte le parti della nube, la differenziazione di (20) darà

$$\rho\, dW = -\frac{\mu g r^2}{W}\,\frac{d\rho}{\rho} \qquad \ldots (23)$$

Dalla (21) poi si trae

$$\operatorname{tang}\psi = \frac{2UW}{W^2 - U^2} = \frac{UW\rho}{\mu g r^2}, \qquad \ldots (24)$$

la cui differenziazione dà

$$d\operatorname{tang}\psi = \frac{U}{\mu g r^2}\left\{ W d\rho + \rho\, dW \right\},$$

che equivale, per le formule precedenti (23) e (24), a

$$d\operatorname{tang}\psi = \frac{d\rho}{\rho}\left\{ \operatorname{tang}\psi - \operatorname{tang}{}^1/_2\psi \right\} \qquad \ldots (25)$$

Mettiamo che per il caso più di tutti favorevole sia ρ eguale a 2. 70 raggi d'Urano; sarà $\psi = {}^1/_2\, COB = 60^0, 5$, e nasce per questo caso

$$d\psi = 0,287\frac{d\rho}{\rho}.$$

Ora, essendo $COB = 2\psi$, e la direzione anteriore BO essendo supposta eguale per le due particelle, è chiaro che, aumentando COB della quantità $2d\psi$, COE si accrescerà pure di altrettanto, e restando $CO = U$

costante, avremo una variazione della velocità assoluta CE dopo la perturbazione, espressa da

$$2\, d\psi\, U \sin C.$$

Detta Y la velocità CE, sarà dunque

$$dY = 0,574 \frac{d\rho}{\rho} U \sin. C$$

ed avendosi qui $U = 0,31334$, $C = 33^\circ,5$

$$dY = 0,0993 \frac{d\rho}{\rho}.$$

Finalmente se sia a il semiasse maggiore della ellisse descritta dalle meteore dopo la perturbazione, p il raggio vettore del punto dov'essa succede, esisterà la nota relazione

$$Y^2 = \frac{2}{p} - \frac{1}{a},$$

dove la velocità media della Terra è presa come sempre per unità. Di qui abbiamo

$$da = 2\, a^2\, Y\, dY = 0,1986\, a^2\, Y \frac{d\rho}{\rho}.$$

Nell'orbita attuale delle stelle di novembre è $a = 10,340$, e sopra si è veduto che $Y = CE = 0,09981$. Si ha dunque finalmente

$$\frac{da}{a} = 0,205 \frac{d\rho}{\rho}. \qquad \ldots (26)$$

91. Non è mai avvenuto, dal 902 in qua, che le meteore di novembre abbiano prodotto le loro grandi apparizioni per due anni consecutivi. Ne concludiamo che la parte densa della loro nube non occupa ancora $\frac{1}{33,25}$ della loro orbita. E poichè di queste meteore già furono osservate 29 rivoluzioni, la differenza del tempo rivolutivo fra le più veloci e le più lente non può salire a $\frac{1}{33,25 \times 29}$ di una rivoluzione: e la differenza dei semiassi delle orbite più ampie e delle meno ampie non sorpasserà due

terzi di questa frazione, ossia $\frac{1}{1446}$ dei semiassi medesimi. Questa frazione è il limite più alto, che possiamo concedere per il valore di $\frac{da}{a}$ della formula (26). Onde si conclude che il limite più alto ammessibile per $\frac{d\rho}{\rho}$ è $\frac{1}{296}$; il qual limite nell'ipotesi da noi fatta di $\rho = 2,70$ raggi d'Urano $= 12,93$ raggi terrestri, equivale a meno di $\frac{1}{100}$ del raggio d'Urano, a circa $\frac{1}{24}$ del raggio terrestre, a 271 chilometri. Non maggiore avrebbe dovuto essere il diametro della nube meteorica, se Urano l'avesse messa sulla via che essa descrive al presente. Un limite anche più stretto avremmo potuto trovare, supponendo ρ minore del limite esterno fissato al § 88. Circa la possibilità di ammettere così piccoli diametri per le nubi meteoriche, dalla cui dissoluzione risultano le stelle cadenti, non vogliamo qui discutere, ed anche sarebbe impossibile di stabilire la discussione sopra basi alquanto sicure. Dalla necessità di queste piccole dimensioni non si sfugge, che ammettendo una molto maggiore distanza perigea. Ma in questo caso l'orbita primitiva non può essere che un ellisse. Se a cagion d'esempio si voglia ammettere che nel passaggio al perigeo la nube si trovò distante da Urano di 10 raggi del pianeta, un calcolo non dissimile da quelli esposti finora mostrerà che l'orbita primitiva non poteva avere un tempo rivolutivo maggiore di anni 50,14. Ripetiamo che ciò non è impossibile, ma che è poco probabile.

92. Tutte queste difficoltà non esistono per Giove e per Saturno, l'orbita dei quali è del resto assai più favorevolmente situata per incontrare l'ellisse descritta dalle meteore di novembre. Facendo per Saturno i calcoli indicati nei §§ 87-88, e determinando per esso i due limiti di ρ, fuori dei quali non è ammissibile una parabola per l'orbita primitiva, si trae

$\rho_1 =$ 1,11 raggi equatoriali di Saturno,
$=$ 11,06 raggi terrestri;
$\rho_2 =$ 10,19 raggi equatoriali di Saturno,
$=$ 102,00 raggi terrestri;

la quale seconda distanza è tanto considerabile, da permettere alla nube meteorica di passar oltre, senza andar troppo dispersa. Per Giove si ottiene:

$$\rho_1 = 1,64 \text{ raggi equatoriali di Giove},$$
$$= 19,09 \text{ raggi terrestri};$$
$$\rho_2 = 27,27 \text{ raggi equatoriali di Giove},$$
$$= 317,42 \text{ raggi terrestri};$$

quest'ultimo limite è più del quintuplo della distanza della Luna dalla Terra, e supera d'alquanto la distanza di Giove dal suo quarto satellite. La potente massa di Giove avrebbe dunque avuto la forza di cambiare un'orbita parabolica od una sezione conica allungatissima nell'orbita attuale, e ciò senza neppure obbligare la nube meteorica ad entrare nella sfera dove si muovono i quattro satelliti.

93. Riassumendo questa discussione, concludiamo: 1° che se le meteore di novembre sono state condotte nella loro orbita presente dall'azione perturbatrice di un pianeta, ciò ha potuto facilmente aver luogo per opera di Giove e di Saturno; 2° che per Urano ciò non è impossibile, ma è poco probabile. Oltre alle difficoltà già enumerate, si osservi che la sfera, nel cui interno ha dovuto cadere il perigeo, ha, nell'ipotesi d'Urano, il raggio di 12,93 semidiametri terrestri, mentre per Giove essa ha 317,42 semidiametri e nel caso di Saturno 102,00 semidiametri. La semplice probabilità che il corso della nube meteorica abbia potuto incontrare piuttosto l'una che l'altra di queste tre sfere così differenti di volume, mostra qual caso si deve fare dell'ipotesi relativa a Urano. Quanto alla Terra, è impossibile ch'essa sia stata il pianeta perturbatore: calcolando infatti per essa i limiti ρ_1 ρ_2 si trova che l'uno e l'altro cade nell'interno della sua mole. Anche nell'ipotesi impossibile, in cui lo sciame abbia rasentato la sua superficie, l'orbita primitiva non avrebbe potuto avere in questo caso più di anni 49,92 e meno di anni 28,67 di rivoluzione. E ciò per la stessa ragione, che la Terra, perturbando una qualunque delle meteore di novembre, non può condurla in un'orbita, il cui tempo rivolutivo sia fuori dei limiti ora accennati (§ 78). Quando si supponga la distanza perigea maggiore del raggio terrestre, i limiti possibili per la

rivoluzione nell'orbita primitiva si restringono grandemente, convergendo verso 33, 25 anni, che è il tempo rivolutivo attuale.

94. Degli argomenti finora addotti sulla questione sollevata dal signor Leverrier una parte soltanto sarebbe valida, quando invece di supporre le stelle cadenti nate dalla dissoluzione di nubi meteoriche, o di comete, si volesse farle derivare dall'emissione nucleare di queste ultime, siccome ha proposto il signor Faye accademico di Francia (1). In questo caso la perturbazione del pianeta non si farebbe più sopra una massa incoerente, ma sopra un nucleo compatto. Quindi non potrebbero più aver forza qui le ragioni dedotte dalla dipersione della massa perturbata. Ma gli argomenti tratti dalla diversa ampiezza delle sfere, che limitano le distanze perigee compatibili collo stato parabolico anteriore dell'orbita (§ precedente) e dalla posizione delle orbite dei pianeti perturbatori rispetto all'orbita dello sciame meteorico considerato nelle sue rivoluzioni anteriori al 902, hanno ancora il medesimo peso. Noi esamineremo del resto in un'altra sezione le diverse teorie che si possono immaginare circa all'origine degli sciami meteorici.

VIII. Sulla trasformazione della materia celeste in correnti meteoriche.

95. Fino a questo punto abbiamo considerato problemi, i quali riguardano principalmente la teoria geometrica del corso apparente e del corso reale delle stelle meteoriche. I risultati ai quali siamo pervenuti sono conseguenze semplici e rigorose della supposizione, che le traiettorie descritte nello spazio dalle stelle meteoriche siano identiche per natura e per distribuzione alle orbite delle comete. Ciò non può essere oramai più soggetto di dubbio. Ma nel medesimo tempo dobbiam confessare, che noi ignoriamo completamente l'indole e la causa dell'analogia testè trovata fra le comete e le stelle cadenti. La ricerca di tale indole e di

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXIV, p. 553.

tale causa implica evidentemente considerazioni di un genere assai meno determinato e assai più difficile di quello, a cui appartengono le discussioni precedenti. Ad assalire di fronte quistioni di natura così misteriosa più mi spinge il desiderio di tentare in qualunque modo la via, che la speranza di arrivare subito alla verità. Qui è forza abbandonare di quando in quando il filo conduttore della geometria, per seguire il sentiero sdrucciolevole e multiforme delle speculazioni cosmologiche. Non è che manchino fatti di osservazione per rischiarare la via anche in questa parte; ma la loro vera interpretazione diventa vieppiù difficile, quando si tratta di collegare ciò che esiste con ciò che fu prima di noi: nè di raro avviene, che una medesima cosa si possa spiegare in due o tre modi egualmente plausibili alla nostra ignoranza, e tuttavia escludentisi vicendevolmente. Tuttavia non sia detto che vogliamo imitare coloro, i quali affettano per simil genere d' investigazioni un sovrano disprezzo. Le probabilità derivanti da congetture non possono per sè formare una scienza: ma combinate fra di loro, riescono talora ad indicare dove la verità si trova, ed a far sorgere le prime scintille di luce in soggetti ancora inesplorati e tenebrosi. L'istoria scientifica è piena di esempi che lo dimostrano.

96. Nei primi articoli di questo scritto ho già indicato sommariamente quali sono i fatti che provano senza replica la stretta connessione esistente fra le comete e le stelle meteoriche. L' ipotesi che ha condotto alla scoperta di questi fatti è che le stelle cadenti formassero originariamente ammassi di materia molto rara negli spazi stellati. Da questo solo e semplicissimo fatto, al quale induzioni di vario genere ci possono condurre, derivano come necessaria e geometrica conseguenza: 1° la formazione delle correnti meteoriche; 2° l'affinità delle loro orbite con quelle delle comete; 3° la presenza delle comete stesse in certe correnti, come parte integrante delle medesime. Non è tuttavia questa la sola ipotesi che possa servire a rendere ragione di quanto si osserva: altre ne furono proposte, le quali pure dobbiamo prendere in considerazione. Così Faye ha derivato le correnti meteoriche dall'emissione nucleale delle comete; Secchi pare inclinato ad attribuirle all'emissione caudale delle medesime. Infine recentemente Erman con veramente ingegnoso artifizio volle dedurre la formazione delle correnti meteoriche dall'azione di un mezzo resistente come quello

cui Encke attribuì l'accelerazione della sua cometa. La discussione di tutte queste idee non sarà priva d' interesse. Io comincierò ad esporre quella teoria, che deriva le correnti meteoriche dalla dispersione di nuvole cosmiche, operata in forza della sola gravitazione universale, ed esaminerò le obbiezioni che contro di essa si possono sollevare.

97. Nella celebre ipotesi, che Laplace immaginò per render ragione della formazione del sistema planetario, i caratteri comuni ai pianeti primari e secondari, mentre servono di base alle congetture circa ai successivi sviluppi dinamici a cui andò soggetta la nebulosa primitiva, danno pure un mezzo infallibile di riconoscere quali fra i corpi celesti appartenevano già al sistema nell'epoca della sua formazione, e quali erano a questa formazione estranei. Comparando fra loro le proprietà delle orbite dei pianeti e quelle che appartengono alle traiettorie delle comete, Laplace non dubitò di pronunziare che le comete sono straniere al nostro sistema. Egli le considerava come piccole nebulose erranti fra i sistemi stellati, e formate dalla materia celeste onde è pieno l'universo, secondo le memorabili speculazioni di Herschel (1). Questa supposizione sì semplice e sì naturale, basta a render conto della forma delle orbite cometarie, e della loro irregolare distribuzione nello spazio; nel medesimo tempo ci conduce a concludere, che l'universo è popolato non soltanto di stelle fisse e di gigantesche agglomerazioni di materia, ma ben anche di corpi minori, generalmente invisibili, sebbene molto più numerosi, i quali non si rendono a noi osservabili, che quando l'attrazione solare li conduce a passare nelle parti più interne del nostro sistema. Nulla dunque avvi di più naturale che supporre un'origine identica alle stelle cadenti. Le correnti meteoriche hanno in altri tempi formato parte, come le comete, dell' infinita schiera di corpi ond' è gremito lo spazio stellato. La loro forma originaria non era probabilmente di correnti, ma erravano nello spazio sotto forma di ammassi, che l'analogia colle nebulose ci obbliga a supporre sommamente rari, e di irregolare costruzione. Se, nello avvicinarsi al Sole, questi sistemi hanno preso la forma di correnti continue, piegate in forma di sezione

(1) *Exposition du système du monde*, 6me éd., 1835.

conica, ciò non può essere che una conseguenza del modo con cui il Sole li ha attratti a sè.

98. Ora, la trasformazione di questi ammassi di materia rarissima in correnti incurvate a foggia di sezione conica intorno al Sole come foco non è solo una possibilità, ma è anzi un fenomeno che ha luogo necessariamente ogni volta che un tale ammasso si approssima al Sole fino a toccar l'orbita della Terra. Ciò non è piccola presunzione in favore dell'ipotesi qui considerata. Di questo fatto ho dato nella mia seconda lettera al rev. P. Secchi una prova, la quale non può lasciare alcun dubbio nell'animo del lettore, sebbene il ragionamento si aggiri tutto intorno ad un caso particolare, e contenga qualche errore nei numeri (1). Tuttavia non increscerà forse che io soggiunga qui un'altra dimostrazione assai più generale, sebbene certo non più rigorosa e non più evidente di quella.

99. In quelle regioni dello spazio celeste, dove l'attrazione del Sole incomincia a diventar preponderante sopra quella delle stelle circonvicine, immaginiamo che si muova un ammasso di materia cosmica di qualunque figura, e supponiamo che l'attrazione reciproca delle sue parti sia nulla, o almeno si possa riguardare come trascurabile rispetto all'attrazione del Sole. Movendosi tal corpo principalmente sotto l'influsso del Sole, descriverà una sezione conica, le cui dimensioni saranno per lo più grandissime rispetto a quelle dell'orbe terrestre: e soltanto nel caso, in cui la distanza perielia e il parametro siano assai piccoli, potrà il corpo scendere alle regioni inferiori del sistema solare. Ciò suppone necessariamente, che l'orbita sia una conica sommamente allungata e poco diversa dalla parabola. Inoltre, dovendo il parametro essere di grandezza comparabile al parametro dell'orbe terrestre, la velocità con cui il raggio vettore del corpo descrive le aree dovrà essere del medesimo ordine che la velocità con cui descrive le proprie aree il raggio vettore della Terra. Ciò posto, sarà facile vedere, che quando le dimensioni dell'ammasso siano molto piccole rispetto

(1) Nel percorrere la lettera citata, il lettore sagace avrà potuto avvertire che in una ellisse, il cui semigrandasse è 10 mila volte quello dell'orbe terrestre, il tempo rivolutivo è di 1,000,000 d'anni, non già di 2,830,000 anni, come per errore ivi è affermato. I numeri derivati da questo sono dunque inesatti; ma la dimostrazione sussiste sempre.

alla sua distanza, le diverse orbite percorse dai suoi elementi giaceranno in piani poco fra loro diversi, e similmente le direzioni dei grandi assi di tutte queste orbite saranno pochissimo divergenti le une dalle altre; perchè questi grandi assi non possono fare angoli molto considerevoli col raggio vettore, se non quando in queste orbite allungatissime l'anomalia media sia molto piccola; caso che qui escludiamo.

100. Per maggiore semplicità sarà dunque permesso di considerare un ammasso, di cui tutte le parti giacciano in un medesimo piano, e percorrano orbite in esso situate. Prendiamo questo piano come piano delle coordinate x, y, e sia l'origine nel Sole. Consideriamo una delle particelle dell'ammasso, di cui ad un dato istante x, y, r siano le coordinate ed il raggio vettore, tutte quantità che supponiamo contenere molte migliaia di volte il semigrandasse dell'orbe terrestre, che indichiamo con s. La velocità da cui è animata la particella abbia per componenti ξ, η secondo i due assi; essa, per quanto abbiamo detto nel § precedente, dovrà in generale esser piccolissima rispetto alla velocità media orbitale della Terra che indico con u. Noi avremo, per una formola conosciuta, il semigrandasse a dell'orbita percorsa:

$$\xi^2 + \eta^2 = s u^2 . \left\{ \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right\} , \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (27)$$

il parametro e l'eccentricità risulteranno da

$$x\eta - y\xi = u . \sqrt{s} . \sqrt{a(1-e^2)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (28)$$

L'anomalia eccentrica E del punto materiale nella sua orbita all'istante considerato si otterrà dalla nota equazione

$$r = a(1 - e \cos. E) , \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (29)$$

e di qui sarà facile dedurre l'intervallo t fra l'istante considerato ed il passaggio della particella al suo perielio; si ha infatti:

$$2\pi . \sqrt{\frac{s^3}{a^3}} . t = E - e \sin. E , \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (30)$$

quando l'unità per t sia l'anno siderale, ed E venga contato positivamente dal perielio a ritroso, in senso contrario al movimento.

101. Consideriamo ora una seconda particella dell'ammasso. Poichè supponiamo che questo corpo si muova di moto eguale in tutte le sue parti (senza di che presto andrebbe disperso), le componenti ξ, η della velocità saranno, per la seconda particella, eguali a quella della prima: mentre al contrario le coordinate della seconda particella differiranno da quelle della prima di certe quantità dx, dy, che sono dell'ordine delle dimensioni dell'ammasso. Queste dimensioni noi supponiamo piccolissime rispetto alla distanza dell'ammasso dal Sole; quindi, generalmente parlando, dx, dy saranno quantità molto piccole rispetto a r. Determiniamo le variazioni, che negli elementi dell'orbita induce la variazione delle coordinate x, y. Differenziando primieramente la (27) nell'ipotesi di ξ, η costanti, si trova:

$$\frac{da}{a}=\frac{2a}{r}\cdot\frac{dr}{r}, \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (31)$$

da cui si vede, che la variazione del grand'asse dell'orbita è dello stesso ordine che la variazione prodotta nel raggio vettore del cambiamento delle coordinate x, y in $x+dx$, $y+dy$. Convien soltanto eccettuare il caso in cui $\frac{2a}{r}$ sia una quantità molto grande; nel qual caso ad una piccola variazione del raggio vettore può corrispondere una molto più grande mutazione del grand'asse. Ciò può aver luogo particolarmente quando la sezione conica descritta dall'ammasso sia quasi identica ad una parabola, per cui $a=\infty$.

102. Differenziando in seguito la (28), si ricava

$$e\,de=\frac{1}{2}\cdot\frac{da}{a}\cdot(1-e^2)-\frac{x\eta-y\xi}{us}\cdot\left(\frac{\eta}{u}\cdot\frac{dx}{a}-\frac{\xi}{u}\cdot\frac{dy}{a}\right) \quad \ldots (32)$$

e quando si tratti d'un'orbita sommamente allungata si vedrà facilmente che la variazione de è di un ordine assai inferiore alle variazioni $\frac{dx}{a}$, $\frac{dy}{a}$, o alle variazioni $\frac{dx}{r}$, $\frac{dy}{r}$. Infatti osserviamo che, detto p il parametro dell'orbita, si ha $1-e^2=\frac{p}{a}$: sostituendo nell'equazione precedente questo valore, e mettendo invece di $\frac{da}{a}$ quello che si ricava dalla (31), nasce

$$e\,de = \frac{p}{r}\cdot\frac{dr}{r} - \frac{x\eta - y\xi}{us}\cdot\left\{\frac{\eta}{u}\cdot\frac{dx}{a} - \frac{\xi}{u}\cdot\frac{dy}{a}\right\}.$$

I fattori $\frac{dr}{r}$, $\frac{dx}{a}$, $\frac{dy}{a}$ sono dello stesso ordine che il rapporto delle dimensioni dell'ammasso alla sua distanza dal Sole; ma osserviamo che nel primo termine del secondo membro vi è ancora il fattore $\frac{p}{r}$ che è necessariamente piccolissimo dietro l'ipotesi fatta; nel secondo termine vi sono i fattori $\frac{\eta}{u}$, $\frac{\xi}{u}$, che dalla (27) comprendiamo subito dover essere sommamente piccoli. Quanto al fattore

$$\frac{x\eta - y\xi}{us},$$

esso esprime il rapporto dell'area descritta nell'unità di tempo dall'ammasso all'area descritta in pari tempo dalla Terra; rapporto, che a cagione della supposta piccolezza del parametro dell'orbita percorsa dall'ammasso (§ 99), è una quantità finita e non molto diversa da 1. Concludiamo dunque, che per un'orbita qualsivoglia, purchè sommamente vicina alla parabola, l'incremento de dell'eccentricità è di 2° ordine per rapporto alle variazioni $\frac{dx}{r}$, $\frac{dy}{r}$.

103. Dall'equazione (30) si avrà immediatamente per differenziazione il cambiamento che il passare da un punto all'altro dell'ammasso induce nell'epoca del perielio; infatti otteniamo

$$2\pi\cdot\sqrt{\frac{s^3}{a^3}}\cdot dt = \frac{r}{a}\cdot dE - \sin.E\,de\;;$$

e la (29) ci permette di ricavare dE colla

$$e\sin.E\,dE - \cos.E\,de = \frac{a}{r}\cdot\left\{\frac{da}{a} - \frac{dr}{r}\right\};$$

in queste relazioni noi possiamo trascurare i termini in de, siccome quelli il cui ordine è inferiore all'ordine dei rimanenti; così resterà

$$2\pi\cdot\sqrt{\frac{s^3}{a^3}}\cdot dt = \frac{r}{a}\cdot dE = \frac{1}{e\sin.E}\cdot\left\{\frac{da}{a} - \frac{dr}{r}\right\}, \qquad \ldots\ldots (33)$$

e dividendo questa equazione per (30) otterremo

$$\frac{dt}{t} = \frac{1}{E - e\sin.E} \cdot \frac{1}{e\sin.E} \cdot \left\{ \frac{da}{a} - \frac{dr}{r} \right\};$$

surrogandovi per $\frac{da}{a}$ il suo valore tratto dalla (31), viene

$$\frac{dt}{t} = \frac{1}{E - e\sin.E} \cdot \frac{1}{e\sin.E} \cdot \frac{dr}{r} \cdot \left\{ \frac{2a}{r} - 1 \right\}.$$

104. Cotest'ultima espressione mostra, che quando il rapporto di r ad a non è troppo grande o troppo piccolo, e quindi E non è troppo vicino a 0° o a 180°, il rapporto $\frac{dt}{t}$ è del medesimo ordine che $\frac{dr}{r}$. La differenza dei passaggi al perielio delle diverse parti dell'ammasso è dunque del tempo t una frazione del medesimo ordine che $\frac{dr}{r}$, e quest'ultima quantità è evidentemente del medesimo ordine che il diametro angolare dell'ammasso, veduto dal Sole. Se adunque la sezione conica descritta dall'ammasso sia tale, che per arrivare al perielio occorrano milioni d'anni (cosa non punto fuori di probabilità), il tempo dt può facilmente arrivare a decine, centinaia e migliaia d'anni. Quando nella posizione iniziale l'ammasso occupi l'afelio dell'orbita, e si abbia $E = 180°$, l'espressione di dt diventa indeterminata, come pure quando si consideri un'orbita esattamente parabolica. Tuttavia è facile convincersi che in ambidue i casi si verifica pel rapporto $\frac{dt}{t}$ la stessa circostanza. Il primo dei due è stato anzi scelto come esempio nella lettera seconda al rev. P. Secchi.

105. Ecco dunque che cosa avverrà. Il fascio delle orbite percorse dalle diverse parti dell'ammasso, considerate come corpi indipendenti, sarà strettissimo e sottile nelle regioni prossime al perielio. Esso s'incurverà secondo una forma poco diversa da una parabola avente il foco nel Sole. Le diverse parti dell'ammasso arriveranno successivamente al perielio in epoche molto diverse, e quindi l'ammasso si troverà distribuito sopra un arco lunghissimo quasi parabolico, ed impiegherà a passare parte per parte al perielio un tempo più o meno lungo, che dipenderà in buona parte

dalle dimensioni primitive che l'ammasso aveva prima di venir così trasformato. Ed ecco in qual modo il solo e semplice effetto dell'attrazione solare basta a convertire in correnti meteoriche gli ammassi di materia molto rara, che trovansi dispersi per lo spazio. Se il fascio delle orbite, lungo cui la corrente si muove, è incontrato dalla Terra, questa riceverà una pioggia meteorica ad un'epoca fissa dell'anno, e ciò durerà tanti anni quanti la corrente ne impiega a passar tutta al perielio. Ed è manifesto, per quanto abbiamo detto, che, dopo finito il passaggio, la corrente non ritornerà che dopo un tempo straordinariamente lungo, od anche non tornerà affatto: cosicchè della medesima non rimarranno altre traccie osservabili che alcune poche meteore deviate dall'attrazione terrestre in orbite di più breve periodo, le quali conserveranno (approssimativamente almeno) il punto di divergenza dell'antica corrente, ma si andranno di volta in volta sempre più disperdendo (V. a questo proposito il § 80). È dunque possibile, che una grande pioggia meteorica lasci come residuo una pioggia poco appariscente, e questo può accadere con maggior facilità per le correnti di moto diretto (§ 81).

106. Affinchè tutte le conseguenze precedenti abbiano il loro pieno effetto, è necessario che l'attrazione reciproca delle parti componenti l'ammasso sia nulla, o possa almeno riguardarsi come trascurabile rispetto alle differenze d'attrazione che il Sole esercita sopra le varie particelle componenti quel sistema. Essendo R la distanza dell'ammasso dal Sole, M la massa di quest'ultimo, δ la densità dell'ammasso supposto omogeneo e di forma globulare, è facile convincersi che quando

$$\delta < \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{M}{R^3}, \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (34)$$

l'attrazione interna fra le parti del sistema cede alla forza dissolvente dell'attrazione solare [1]. Per ogni data densità δ è dunque facile calcolare quel limite R di distanza, al di sotto del quale nell'ammasso incomincierà

(1) Non credo necessario di dare qui maggiori dichiarazioni intorno a questa cosa, che il lettore potrà trovare nella lettera III al R. P. Secchi.

l'opera della dissoluzione. E inversamente per ogni data distanza si potrà ottenere quella densità, al di sotto della quale un ammasso omogeneo non potrebbe restare saldamente costituito e coerente nelle sue parti in forza della propria attrazione. Si arriva in questo modo a risultati veramente inaspettati. Così, a cagion d'esempio, se si faccia R eguale al semiasse maggiore dell'orbe terrestre, e se si supponga la densità del Sole eguale ad una volta e mezza quella dell'acqua, si ottiene per densità limite di un ammasso stabile $\delta = \frac{1}{3370000}$, la densità dell'acqua essendo posta eguale all'unità; ciò fa tre grammi di materia ogni 10 metri cubi, e corrisponde alla densità dell'atmosfera sotto la pressione di $0^{mm},174$. È una densità molto superiore a quella, che si è d'ordinario inclinati ad attribuire alle atmosfere delle comete; e se queste nondimeno rimangono aderenti, ciò proviene senza dubbio dall'attrazione di un nucleo centrale molto denso, del quale noi non abbiamo supposto dotato il nostro ammasso di materia.

107. Nelle orbite molto allungate il valore di R è soggetto a grandissime variazioni, e quindi può avvenire, che un medesimo ammasso, il quale rimane coerente nelle parti più lontane della sua orbita, poco a poco cessi di esserlo avvicinandosi al Sole, e si trovi in dissoluzione completa quando passa al perielio. Quando tale dissoluzione abbia avuto luogo, è quasi impossibile che, allontanandosi nuovamente il sistema dal Sole, esso venga a ricostituirsi sotto l'influsso della reciproca attrazione fra le sue parti. Infatti, non è probabile che le orbite descritte dalle singole parti si tengano, dopo il passaggio al perielio, sì fattamente congiunte: inoltre la diversa epoca dei passaggi al perielio fa sì che i pianeti producono nelle varie orbite perturbazioni di diversa natura; quindi l'ammasso ritornerà agli spazi celesti in istato di dispersione crescente colla distanza dal Sole.

108. Siccome nulla limita il grado di condensazione a cui si può immaginare giunta la materia celeste, potremo facilmente concepire che esistano ammassi così densi, da conservarsi senza dispersione anche nel passaggio al perielio; ed in questo caso appena si potrà dire che l'ammasso differisca da una cometa ordinaria. Ma come le comete, avvicinandosi ai pianeti maggiori, sono assai frequentemente costrette a descrivere orbite

ellittiche di periodo più o men lungo, lo stesso potremo concepire che avvenga del sistema da noi considerato. In questo caso l'attrazione del pianeta perturbatore, e talvolta l'effetto della distanza perielia assai diminuita per causa del cambiamento d'orbita, potranno far sì, che la nube si venga sciogliendo poco a poco in parti indipendenti, le quali descrivendo delle orbite di periodi lievemente fra loro diversi, finiranno per estendersi progressivamente sull'ellisse descritta dal sistema. Questo si allungherà poco a poco occupando della detta ellisse una porzione sempre maggiore, e dopo un certo numero di rivoluzioni l'anello si chiuderà. Noi avremo così una corrente annulare; e questa serie di mutazioni accade ora nel sistema delle stelle di novembre, il quale sembra che originariamente consistesse in un ammasso simile a quelli su cui abbiam poc'anzi ragionato. In una epoca non molto lontana, esso fu deviato da un grosso pianeta, probabilmente da Giove o da Saturno (V. §§ 83-95); la sua orbita anteriore fu cambiata nell'attuale ellisse di 33,25 anni. Contemporaneamente il legame che riuniva le diverse parti si sciolse, ed ora la trasformazione in corrente annulare già di tanto è progredita, che tutta la sua materia impiega un anno (o forse più) a passare al perielio. Verrà il tempo in cui l'apparizione delle stelle di novembre si farà ogni anno come quella d'agosto; ma la densità della nube annulare sarà di molto diminuita, ed il fenomeno sarà assai meno splendido, la medesima quantità di meteore essendo ripartita sopra uno spazio più grande. Infine è notabile che l'ammasso di novembre conteneva, prima di disperdersi, un nucleo o una porzione di maggiore densità. Questo nucleo non subì le vicende delle parti più rare, e non andò disperso. Come astro unico, esso circola in mezzo alle meteore che prima gli erano riunite, e forma, com'è noto, ciò che noi chiamiamo la cometa 1866 *I* (1).

109. Le correnti meteoriche annulari sono adunque nel mondo delle stelle cadenti ciò che nel mondo cometario sono le comete periodiche.

---

(1) Questa teoria sulla formazione delle correnti annulari è stata da me proposta per la prima volta nella lettera III al rev. P. Secchi (pubblicata il 30 novembre 1866). Il celebre Leverrier la propose anch'egli con qualche ulteriore sviluppo nella seduta 21 gennaio 1867 dell'Accademia Parigina delle Scienze. V. *Comptes rendus*, tom. LXIV, p. 94.

Secondo ogni probabilità, le correnti e le comete che passano una sola volta al perielio sono assai più numerose che quelle, cui la posizione peculiare della loro orbita rispetto ai pianeti dotò di una periodica apparizione. Ma siccome una cometa o una corrente non periodica si vede una sola volta, mentre una cometa o una corrente periodica è visibile per un numero grandissimo d'anni (parlo di ciò che avviene in generale), il numero delle apparizioni periodiche potrà essere non tanto minore od eguale, od anche superiore a quello delle apparizioni non periodiche. Gli è quanto le apparizioni cometarie degli ultimi decennii dimostrano ampiamente (1), e i decennii futuri lo mostreranno ancor meglio. Così dunque, allorquando si avverasse ciò che ha congetturato il sig. Weiss (2), e si trovasse che la maggior parte dei flussi meteorici è prodotto da correnti periodiche ed annulari, falso sarebbe conchiuderne, che le correnti non annulari e non periodiche, descritte nei §§ 104 e 105, esistano in numero minore delle altre, o non esistano affatto. Esse devono necessariamente formare la gran moltitudine, sebbene ciascuna non si presenti a noi che una sola volta, o sia soggetta a ritorni di lunghissimo periodo.

110. Tutte le precedenti conclusioni, il cui rigor geometrico nessuno vorrà contestare, diventeranno altrettanti fatti della natura tosto che avremo accertato la base principale, l'esistenza cioè di materia rarefatta negli interstizi dei mondi stellari. Nella sua celebre Memoria dell'anno 1811 W. Herschel ha descritto tutti i differenti gradi di concentrazione della materia celeste, che si possono osservare coi nostri strumenti, incominciando da quelle nebulose rarissime e diffuse sopra ampi tratti del cielo, che solo si possono congetturare coi telescopi della maggior chiarezza, e venendo per gradi successivi alle stelle fisse, che per ora dobbiamo riguardare come i tipi della materia ridotta al maggior segno di densità (3). Queste memorabili speculazioni costituiscono una vera storia astrogonica

(1) Per esempio, nel 1858 passarono osservate al perielio quattro comete di breve periodo, e quattro di periodo non conosciuto o di periodo molto lungo.

(2) *Astronomische Nachrichten*, n° 1632.

(3) *Astronomical observations relating to the construction of the heavens.* Phil. Trans. 1811.

dell'universo, ed i recenti studi spettrali hanno splendidamente confermato la loro base, cioè l'esistenza della materia allo stato nebuloso. Se la gradazione di densità e le combinazioni di raro e di denso descritte da HERSCHEL esistono nelle grandi agglomerazioni che il telescopio può rivelarci, non sarà egli naturale, anzi necessario supporre, che anche nelle agglomerazioni minori si trovino pure le medesime varietà? Di queste minori agglomerazioni alcune sono abbastanza dense per non andar disciolte dall'attrazione del Sole e dei pianeti; venendo dallo spazio ci appaiono come corpo unico dotato di un nucleo o centro di condensazione ben definito, il quale descrive la sua parabola, senza nulla abbandonare lungo la via da esso descritta. Altre constano di parti rare e di parti dense; avvicinandosi al Sole le ultime ancora si mantengono in istato di coesione, abbandonando le prime lungo la strada percorsa. Si vedrà allora un corpo principale (o più corpi principali) accompagnato da una corrente, l'uno e l'altra descrivendo la medesima orbita nello spazio. Finalmente esisteranno masse di materia troppo rara per restar coerenti in qualche parte; la loro dissoluzione prodotta dall'attrazione solare e planetaria le trasformerà in correnti meteoriche non contenenti alcun corpo o massa principale.

111. È dunque chiaro che le comete semplici, le comete accompagnate da correnti meteoriche e le correnti meteoriche non provvedute di comete sono casi particolari appartenenti ad un solo ed unico ordine di fatti. Essi sono conseguenze semplicissime e rigorose di un fatto unico, che difficilmente si potrà negare, cioè della varia condensazione della materia che riempie gli spazi celesti. Se il lettore ha ben penetrato la forza di questo argomento, non troverà certo singolare che esistano correnti meteoriche separate od unite con comete. Egli si maraviglierà piuttosto che dall'esistenza delle comete non siasi arrivato a prevedere l'esistenza delle correnti meteoriche *a priori*. Perchè, da quanto abbiam detto nel § 106, risulta che una cometa per andar disciolta e trasformata in corrente non ha bisogno di subire una rarefazione estrema, e ciò quand'anche esista un nucleo nell' interno della sua massa. Sembra anzi, che il calore del Sole, aumentandone il volume, coadiuvi potentemente a diminuire l'attrazione interna ed a produrre le condizioni di dissolvibilità. Ed è cosa assai possibile, che molte fra le comete, giungendo al perielio, abbandonino lungo

la loro orbita la parte più rara e più esterna dell'atmosfera che ne circonda il nucleo (1).

112. Fu mossa l'obbiezione, che sciami di materia meteorica molto rara, quale si richiede per produrre le correnti meteoriche, non furono mai veduti (2). A ciò è facile rispondere, che nelle vicinanze del Sole questi sciami sono trasfigurati in correnti, le quali ben certamente esistono, e tuttavia non sono visibili, se non quando i corpuscoli che le compongono sono già entrati nell'atmosfera. Che se si domanda di vedere la materia meteorica non ancora trasformata in corrente, mi basterà citare il catalogo delle nebulose diffuse inserito da HERSCHEL nella lodata Memoria del 1811, alcuna delle quali occupa otto o nove gradi quadrati. E se si avesse difficoltà di accettare quest'argomento, potremo sempre mostrare la materia nebulosa allo stato di somma rarità nelle atmosfere delle comete, la cui dispersione è impedita dall'azione del nucleo centrale.

113. Ma se gli ammassi di materia rara e trasformabile in corrente sono invisibili appunto perchè così rari, e perchè trasformati in corrente, ciò non ci dovrà impedire di veder quando a quando alcuno di quei sistemi od ammassi più densi, che in ragione appunto della maggiore loro densità non vanno dispersi. Di tali ammassi ne furono veduti parecchi. Non citerò qui gli esempi notissimi delle comete doppie di BIELA e di LIAIS, nè il nucleo secondario osservato da Otto STRUVE e da WINNECKE nella cometa di DONATI, nè la 1ª cometa 1853, il cui nucleo fu multiplo secondo l'osservazione del P. SECCHI (3); si potrebbe opporre che ciò non fa al caso presente: come una stella doppia è formazione troppo diversa da un cumulo di stelle, così una cometa doppia non può riferirsi come esempio di ammassi, quali qui s' intendono. Ma gli esempi che m'accingo a produrre riguardano veri ammassi amorfi di materia celeste irregolarmente e debolmente concentrata, e veduta da vicino; formazioni insomma simili a quella che possiamo immaginare fosse lo sciame meteorico di novembre prima della sua dissoluzione.

---

(1) Non è da confondersi questa dispersione lungo l'orbita colla dispersione caudale che ha luogo nel senso del raggio vettore, e di cui ragionerò più sotto.

(2) V. FAYE nei *Comptes rendus*, tomo LXIV, p. 554.

(3) *Bullettino Meteorologico*, tomo V, p. 129.

114. Nove anni dopo l'invenzione del cannocchiale fu per la prima volta applicato questo strumento allo studio della struttura delle comete, e ciò avvenne all'apparire della seconda cometa del 1618. Il suo nucleo, che dapprima sembrava semplice, si disciolse bentosto in un vero sciame di nuclei minori. Sebbene fatte con cannocchiali imperfetti, quali allora si potevano avere, le relazioni dei diversi osservatori sono troppo concordi perchè resti alcun dubbio. Io riferirò testualmente le principali, affinchè il lettore possa usare del proprio criterio.

115. *Osservazioni del* P. Cysat (1). « Die prima et quarta decembris cometam diligenti et diuturna inspectione per tubum opticum, eumque geminum, quorum unus sex fere, alter novem vel decem pedes longus, consideravimus. . . . . Nucleus luminosi capitis cometae apparebat rotunda figura, luce continua ac stipata, etsi minime clara seu fulgida, diametro tali, ut summum occupare potuerit $^2/_3$ diametri Jovialis. Iste porro luminosi capitis cometae nucleus densi, sed plumbei et obscuri luminis circumfusum undique habuit rarius quoddam et pallidius lumen, duplo fere latiore limbo, quam fuerit ipsa nuclei diameter. . . . . Et licet nebulosam illam coronam, quae nucleum ambiebat, etiam tertium quoddam jubar longe dilutioris et obscurioris luminis circumdederit; quia tamen illud lumen lumine cometae densius non fuit, immo ipse cometa profluxus videbatur, idcirco capiti cometae accensere noluimus. Constabat ergo caput cometae meditullio, seu nucleo quodam denso, et coronante limbo latiore quidem, sed multo rarioris luminis: eratque diameter nuclei 2′ circiter. Latitudo limbi 3′. Tota capitis diameter 8′ circiter (2). »

8 *decembre* 1618. « Non tantum totum cometae caput (nempe nucleus una cum circumfuso jubare), sed solitarius quoque nucleus etiam duplo Arcturo major in diametro 3′ aut 4′ videbatur (cum primo die longe esset minor) neque amplius rotundus, sed diffissus in ternos aut quaternos

---

(1) Estratte dalla Cometografia d'Evelio, p. 341-342. Le date sono tutte nel nuovo stile così per questa come per le relazioni seguenti.

(2) Rifletta il lettore che il micrometro non era ancora stato inventato in quel tempo: quindi la contraddizione di queste misure colla stima precedente del diametro paragonato a Giove non farà meraviglia. Veggansi pure i disegni della tavola IV, fedelmente riprodotti dalla Cometografia d'Evelio.

irregularis figurae globulos, inter se cohaerentes, quales solent apparere Saturni comites [1]. » (Tav. IV).

17 *decembre*. « Pro nucleo illo nuper compacto jam aliquot minutissimae stellulae comparuerunt obtusissimo lumine circum interque fuso, tamquam ex nebula seu alba luce promicantes; idque multo clarius et distinctius sequenti die 18 visum est. »

20 *decembre*. « Manifestius meditullium seu nucleus, qui primo die quasi solida ac rotunda lux apparuerat, in stellulas multas dissolutus apparuit, ita ut jam esset congeries complurium minimarum stellularum, quarum tres prae caeteris constantius ac distinctius videbantur, earumque maxima instar stellae 5ae fere magnitudinis: extra illam praeterea congeriem stellularum etiam in affuso jubare stellula eluxit, quae primum putabatur pertinere ad caeteram congeriem, sed fuisse unam e fixis apparuit post sesquihoram: erat autem haec quoque stellula longe minor minimo Jovis comite. Fuit denique hujus nuclei seu jam stellarum globi diameter 5′ aut 6′, notabiliter certe maior quam die 1a decembris. »

24 *decembre*. « Et nucleus seu globus ac congeries stellularum, et ipsum circumfusum jubar longe majus quam antehac spatium occupabant, sed lumine multo tenuiore et rariore. Ex tribus nuper distinctis stellulis nunc una tantum constanter visa est; caeterae quidem plurimae, sed distincte numerari haud poterant, quia etsi certo aut crebro scintillare videbantur, tamen non continue ac constanter simul omnes, sed interruptim aliae post alias quasi per saltus in oculos incurrebant, eo plane modo, quo coelo valde sereno minimae stellae fixae etiam nudo oculo spectari solent. Erant denique singulae hodie inter se longe dissipatiores quam prioribus diebus, ita ut nuclei diameter esset minima 6′, latitudo circumfusi limbi 5′, tota capitis diameter 16′ circiter. Atque hoc die ultimo per tubum observare licuit. Quae dicta sunt repraesentantur, ut possunt, subjectis schematibus. » (Tav. IV).

116. *Osservazioni di* Wendelin [2]. « Caput ipsum cometae, cum illud

---

(1) Cioè le anse dell'anello.

(2) *Hevelii Cometographia*, p. 878.

primum telescopio exploravi die 29ª novembris, deprehendi veluti ingentis foci lucentes tres aut quatuor prunas igne valido accensas. Vidi, inquam, cometam quasi triplicem globum; et quidem istas tres prunas adverti in coram mei nonnihil mutare situm, quasi esset, qui focum scrutaretur: ac sequentibus diebus plures mihi prunae conspectae sunt, quasi carbones nostri, qui dissiliunt in plures partes jam accensi. »

117. La cometa 1618 *II*, di cui qui vedemmo descritte le singolari apparenze, passò al perielio addì 8 novembre 1618; il 6 decembre la sua anomalia vera già arrivava a 90°, e la distanza dal Sole era il doppio della distanza perielia. Dal principio di dicembre alla fine crebbe la distanza sua dalla Terra circa del doppio, e ciò malgrado crebbe pure considerabilmente il diametro angolare di quel sistema complesso, che Cysat chiama nucleo. Si vede adunque, che coll'allontanarsi dal Sole andarono rapidamente crescendo le dimensioni di tal nucleo, o piuttosto di tal sistema di nuclei. Ammettendo come plausibili i dati del P. Cysat rispetto alle dimensioni, si ha il seguente quadro (1):

Giorno		Distanza dalla Terra	Distanza dal Sole	Diametro apparente del nucleo	Diametro vero (quello della Terra = 1)
1618 dic.	1	0, 37	0, 71	2′	2, 4
	8	0, 37	0, 86	4	4, 9
	24	0, 43	1, 14	6	8, 6

Sembra dunque evidente, che la forza onde avea origine l'espansione non fosse l'irradiazione del Sole, ma piuttosto la dispersione incipiente della massa, prodotta dalle cause più sopra descritte. Non voglio tuttavia insistere troppo su questa congettura, che ha bisogno di ulteriori confermazioni.

118. La cometa or ora considerata, sebbene di struttura particolare, era abbondantemente fornita di quella materia onde si sviluppan le code, siccome si può vedere nelle memorie che di essa ci furono trasmesse. Non così la singolarissima cometa del 1652 (se cometa si può chiamare),

(1) Gli elementi impiegati al calcolo sono quelli di Bessel pubblicati nel *Berliner Jahrbuch* del 1808.

la quale è il più bell'esempio che possiamo citare a favore della nostra tesi. Essa mostrò l'apparenza di un ammasso irregolare ed eterogeneo di forma quasi sferica e di volume colossale, fornito di una coda affatto senza proporzione colle sue dimensioni. Veggasi la nostra figura della tavola IV, la quale è una copia del disegno fattone al telescopio da Evelio. La relazione di questo astronomo è la più esatta e la più completa che ne abbiamo, sebbene la sua fedeltà sia stata messa in dubbio da illustri autorità. Noi riferiremo la descrizione di Evelio e quella dei principali osservatori contemporanei, lasciando al lettore il giudicare di propria coscienza se i dubbi accennati abbiano fondamento o no. Si potrà vedere quanto pericoloso sia il negare o mettere in dubbio un fatto osservato, solo perchè esso non quadra colle teorie ricevute.

119. La cometa del 1652 fu veduta per la prima volta in America dal P. Giovanni Königk della Compagnia di Gesù il 15 dicembre di quell'anno. Convien dire che il suo aspetto in quel giorno fosse molto straordinario, avendo il suddetto Padre scritto alcun tempo dopo al P. Kircher: « *quod anno 1652 die nimirum 15 Dec. geminus Cometa apparuerit decussatis caudis, et tertio ex altero illorum promicante* [1] ». La cometa era allora invisibile in Europa; mancando testimoni sincroni, non è possibile farsi un'idea chiara del significato di codesta descrizione. Il 18 dicembre essa fu veduta da Davide Christiani in Giessen, il quale così la descrive [2]: « Animadverti novum quoddam phaenomenon, et stellam adscititiam obscuro, raro, et nebuloso lumine praeditam, quae tota sua forma gyro illi sive congeriei et conglomerationi stellarum, quam Pleiadas vocant, simillima erat, nisi quod ab initio circa hunc diem (18 dec.) et aliquot sequentes hoc ipso gyro aliquanto major videbatur, adeo ut ipsas extremitates siquis accuratius intueretur, apparenti magnitudine orbiculum quemdam spithamam in diametro continentem quam proxime adaequaret, licet ob luminis obtusi tenebricosum adspectum nequaquam adeo perspicue ut planetae vel fixa sidera mundi coaeva oculis se se ingereret. »

120. Evelio vide per la prima volta la cometa il 20 dicembre 1652

(1) *Hevelii Cometographia*, p. 352.
(2) *Ibid.*, p. 889.

a sei ore di sera: « Caput erat rotundum rarae magnitudinis, vix aliquanto Luna plena minus ostendens: caudam, sive barbam insignem prolixamque 6 vel 7 graduum porrigens. Lumen autem capitis pallidum, ac ex parte obtusum, minusque splendidum, Lunae ad instar nubecula tenuissima obductae videbatur: simili fere, nisi debiliori adhuc et rariori lumine, in tenuissimum terminante mucronem, cauda gaudebat [1]. »

23 *decembre*. « Caudam oculum circiter boreum Tauri versus extendebat, eodem modo quo ante pyramidatam. . . . . tum quoad magnitudinem corporis, quam longitudinem barbae phaenomenon fuit valde deminutum [2] . . . . . Hora 11 $^1/_4$ diameter cometae quadrante azimuthali magno diversis vicibus observata fuit 26 vel 25 minutorum. Color capitis erat pallidus et livida albedine obsitus [3]. »

26 *decembre*. « Corpus cometae aliquanto minus apparuit, attamen diameter ejus beneficio magni quadrantis adhuc extitit 24 minutorum; id quod sibi vix quisquam persuadebit [4]. »

27 *decembre*. « Longitudo caudae circa 4° aestimata est. Praeterea tubo optico quodam longissimo (qui inter alia maxime dissita etiam Saturni comitem detegit [5]), corpus istud cometicum sum speculatus. Totum autem discum isto telescopio (quod tamen 20 et amplius ostendit minuta) comprehendere nequivi: lumen admodum obtusum et imbecille spargebat: ac in ipso disco sinistram et caudam versus quatuor vel quinque corpuscula quaedam, sive nucleos, reliquo corpore aliquanto densiores ostendebat, quorum duo reliquis tribus paullo majores videbantur; quamquam adhuc diversi alii minutissimi hinc inde sparsim in disco se se offerebant, quae tamen visum pene illudebant: atque hinc eos recte distinguere et delineare haud dabatur. Dextram vero versus lumen aliquod flexuosum et anfractuosum, clarius multo quam reliqua pars totius corporis, similiter ac si esset congeries multorum minutissimorum corpuscolorum, animadvertimus. Lumen

(1) *Hevelii Cometographia*, p. 1.
(2) *Ibid.*, p. 3.
(3) *Ibid.*, p. 7.
(4) *Ibid.*, p. 8.
(5) Questa osservazione fu probabilmente aggiunta da Evelio alcuni anni dopo; il satellite Ugeniano di Saturno non fu scoperto che nel 1655.

autem istud non erat adeo intensum et vividum, aeque ac reliquarum stellarum fixarum, sed paullo obtusius [1]. »

1653, *gennaio* 3. « Debile lumen, caudam non conspeximus. Diameter corporis aestimata fuit 7′ vel 8′; ratione debilissimi luminis instar stellae cuiusdam nebulosae apparuit [2]. »

7 *gennaio*. « Corpus admodum exile et attenuatum, lumen ejus valde pallidum. Diameter 5′ circiter [3]. »

10 *gennaio*. « Nudis oculis se prorsus subducebat: telescopio vero longiori armatis se nonnihil offerebat. Deprehendimus itaque ratione capitis et luminis valde attenuatum. . . . . Corpusculum autem erat rarissimum, adeo ut nulli praeterea nuclei in eo apparerent; siquidem materia, nonnisi instar umbrae dispersa, ac dilutissima interspersis quibusdam fissuris et meatibus videbatur: quae tamen omnia difficulter aeque accurate discernebantur [4] ». Evelio non potè più osservar la cometa dopo il 10 gennaio.

121. *Osservazione di Cornelio* Malvasia *a Bologna* [5]. « Hora prima noctis die 21ª decembris repertus est cometa circa stellas clypei Orionis, nebulosus et magnitudine insignis, aequalis eius diameter fere Lunae diametro. Ex telescopio non apparebat totum corpus eiusdem rationis. In medio namque candicantem discum veluti inter nubes Luna spectatur, prae se ferebat, et tantae magnitudinis, quantae ipsa Luna oculo nudo apparet, et aliquantum etiam majori. »

122. *Osservazione di* Wendelin. « Die 21 dec. hora 8 vespertina ad Orionis clypeum insolitum quoddam lumen, quod majus quidem esset, quam aliqua stellarum nebulosarum, luceret vero malignius colore pallido ac buxeo triste et obscurum. . . . . Magnitudo erat quae discum Lunae vel aequaret, vel excederet [6]. . . . . Dum expedio telescopium, atque aliquamdiu exploro corpus totum istius sideris, video in eo stellulas plusculas minutissimas, atque in his unam caeteris majorem, et oblongam aliarum mediam;

---

(1) *Hevelii Cometographia*, p. 326.
(2) *Ibid.*, p. 327.
(3) *Ibid.*, id.
(4) *Ibid.*, id.
(5) *Ibid.*, p. 325
(6) *Ibid.*, p. 324.

diceres, focum aliquem, consumtis lignis, favillas suas reliquas, permixtasque in his prunas et scintillas ostentantem. Breviter, eadem visa mihi facies, quae fuit cometae illius superioris anno 1618 in manu Bootis conspecti (1). »

123. Tralascio di addurre altre testimonianze, le quali concordano nell'affermare, che in principio la testa della cometa era grande come la Luna, che il lume ne era molto pallido, che il suo disco era sparso di macchie più luminose. Le descrizioni che ho trascritto, insieme al disegno della tavola IV (il quale rivela certo poca perizia in questo genere di pitture, ma concorda perfettamente colle relazioni scritte) basteranno, spero, a convincere anche i più sospettosi, che la cometa del 1652 fu di aspetto assai diverso dal comune, e che essa consisteva principalmente in una massa globulare di materia irregolarmente condensata nel suo interno, e contenente, oltre ad una agglomerazione informe, che si può considerare come il nucleo principale, un certo numero di nuclei minori, più un grandissimo d'altri non esattamente discernibili nei cannocchiali di quel tempo. Inoltre la stessa agglomerazione principale sembra constasse di un ammasso di piccoli nuclei (osservazione di Evelio del 27 dicembre). La coda al contrario (se si può chiamar tale) era sì poco appariscente, che parecchi autori non ne parlano, e tutti o quasi tutti confessano che in principio non potevano adattarsi a considerare questa singolare apparizione come una cometa, e soltanto la natura del suo moto apparente potè indurli a collocarla in quella classe.

124. Coll'aiuto degli elementi d'Halley, avendo calcolato le distanze ed il diametro della cometa per i giorni in cui questo diametro fu osservato da Evelio, ottenni i seguenti risultati:

Giorno	Distanza dalla Terra	Distanza dal Sole	Diametro apparente	Diametro vero (quello della Terra = 1)
—	—	—	—	—
Dic. 20	0, 13	1, 07	30′	13
23	0, 16	1, 11	25 ½	14
26	0, 22	1, 14	24	18
Genn. 3	0, 44	1, 25	7 ½	11
7	0, 54	1, 29	5	9

(1) *Hevelii Cometographia*, p. 328.

Si vede che le variazioni del diametro non sono superiori all'incertezza delle osservazioni, e specialmente delle ultime, in cui la cometa non era bene visibile. La minima distanza della cometa alla Terra ebbe luogo intorno al 19 dicembre e fu di 0,12 circa. Prendendo come valore medio del diametro 15 diametri terrestri, e supponendo che la densità dell'ammasso globulare fosse quella che è determinata dalla formula (34) come limite necessario alla stabilità del sistema, risulta (posta la distanza dal Sole eguale all'unità, ossia $R=1$ nella formula citata), che la massa della cometa avrebbe dovuto eguagliare quella d'una sfera d'acqua di un diametro dieci volte minore che il diametro della Terra; ciò che, supponendo la densità terrestre sestupla di quella dell'acqua, porterebbe a concludere, che la massa della cometa fu almeno $^1/_{6000}$ di quella della Terra. Ciò suppone veramente che nella cometa la densità del capo fosse per tutto uniforme. Tuttavia, siccome non apparvero tracce di deformazione nel capo, la massa dei nuclei non sembra fosse molto grande [1]; il nostro calcolo può dare dunque un'idea approssimativa del limite, al di sotto del quale la massa della cometa non ha potuto discendere.

125. Se gli esempi precedenti fanno vedere che ammassi di materia molto rara e irregolarmente concentrata esistono nel cielo e possono dal Sole essere attratti nelle parti interne del nostro sistema, la seconda cometa del 1811 ci mostra invece questa medesima materia celeste portata ad un grado altissimo di concentrazione; infine una cometa, che già si avvicina alla categoria delle stelle propriamente dette. W. Herschel ne ha lasciato una descrizione accurata nelle *Transazioni Filosofiche* del 1812 [2]. Essa consisteva quasi esclusivamente in un nucleo ben definito d'aspetto planetario, circondato da una chioma rarissima, e appena discernibile in quei potenti riflettori. Se nella direzione opposta al Sole non si fossero mostrate debolissime tracce di luce, osserva Herschel che questa cometa appena avrebbe meritato un tal nome. Egli la riguarda come un corpo in istato

(1) Se la densità dei nuclei fosse stata molto più considerabile di quella dell'inviluppo meno luminoso in cui nuotavano, la figura d'equilibrio della massa globulare non sarebbe stata così esattamente sferica, come gli osservatori la rappresentano.

(2) Vol. CIII, p. 229.

molto avanzato di consolidazione, non contenente più che una piccolissima porzione di materia nebulosa [1].

126. Prima di terminare il discorso relativo al presente argomento, aggiungeremo alcune parole intorno al modo con cui si può immaginare che le stelle cadenti nascano dalla materia meteorica sparsa negli spazi celesti. La maniera con cui le stelle cadenti ci si presentano nelle loro subite apparizioni, ci dà l'idea di corpi isolati, solidi almeno in parte, i quali siano sparsi molto raramente, anche nelle parti più dense delle correnti da loro formate [2]. Gli interstizi che li separano, abbiamo ogni ragione di supporre che siano interamente vuoti. E se talora le stelle cadenti ci appaiono a gruppi o ad ondate, ciò significa puramente che come nelle fisse, anche qui abbiamo esempi di sistemi doppi e multipli. Il numero di questi corpuscoli è straordinariamente grande anche nelle correnti di mediocre densità, e la frequenza delle meteore telescopiche ci conduce alla conclusione certissima, che le correnti meteoriche sono fiumi di polvere, i cui granelli presentano tutti gli stati possibili di divisione, dalle dimensioni dei più grossi aeroliti, andando al pulviscolo più impalpabile. Egli è appunto su quest' idea che il rev. P. Cavalleri ha fondato una spiegazione assai probabile della luce diffusa, che fu osservata in occasione dell'ultima pioggia di novembre, ed in altri casi consimili [3].

127. Tuttavia si potrebbe muovere la questione, se non si possano immaginare correnti di materia continua, e sommamente rarefatta, quale usiamo figurarci sia la materia primitiva di Herschel, di cui quelle correnti vediamo essere il prodotto. Questa idea è stata posta innanzi e con dotti argomenti sostenuta dal rev. P. Serpieri [4]. *A priori* non si ha alcuna ragione di negare la possibilità di tali correnti, o per lo meno non si comprende, come da materia continua non si possan generare correnti continue. Ma vi è un fatto palese, dal quale siamo assicurati, che le

---

(1) *Transazioni Filosofiche*, vol. CIII, p. 236.

(2) Vedi a questo proposito il calcolo del P. Secchi nel *Bullettino Meteorologico*, tomo V, p. 132, e il mio nel medesimo *Bullettino*, tomo V, p. 115.

(3) *Rendiconti dell'Istituto Lombardo*, vol. IV, p. 85 e seguenti.

(4) *Bullettino Meteorologico del Collegio Romano*, vol. VI, p. 17 e 27. - Vedi pure *Bullettino Met. del Coll. Raffaello d'Urbino*. 1867, fasc. 2°, p. 12 e seguenti.

correnti meteoriche realmente sono composte di materia discreta con interstizi al tutto vuoti, ed è la intersecazione e compenetrazione di più correnti in un medesimo punto dello spazio. Le ricerche di Heis e di Greg hanno fatto vedere che in ogni notte le stelle meteoriche provengono da un certo numero di punti radianti simultaneamente efficaci; e questo significa senza dubbio, che in quel punto dov' è la Terra, s' intersecano altrettante correnti meteoriche senza reciprocamente turbarsi. Ciò si troverà assai naturale per correnti discontinue e di struttura polverosa; è impossibile per correnti continue, come p. e. di gaz rarefatto o di altrettale materia. Si rifletta al numero stragrande di correnti che deve riempir gli spazi planetari, affinchè in ogni punto se ne intersechino cinque o dieci o più; e poi si giudichi quale spaventoso caos nascerebbe, se tutto ad un tratto queste correnti diventassero continue, quindi capaci di reciprocamente comprimersi e modificarsi!

128. Da questa costituzione delle correnti meteoriche troppo male però si concluderebbe, che la materia celeste dell'universo sia un insieme di nebbia polverosa. La deduzione non sarebbe di rigore, ed anzi probabilmente è da tenersi per falsa, generalmente parlando. Perchè l'analisi spettrale ha oramai provato senza replica, che molte nebulose, appartenenti alla classe di quelle che i telescopi non han potuto ancora risolvere, sono semplicemente ammassi di materia gazosa poco lucente, e dotata di altissima temperatura. Ed anche la struttura di molti aeroliti prova, che masse di vapori incandescenti han dovuto esistere negli spazi celesti. Sarà per me il grande Apollo colui, che mi mostrerà in qual modo i cristalli di olivina, di cui è sparsa nel suo interno la massa aerolitica detta *ferro di Pallas*, han potuto penetrarvi dentro, senza che il ferro stesso non fosse primitivamente sciolto in vapore. Come è dunque avvenuto, si domanderà, che materia continua ha generato correnti discontinue?

129. Qui ancora noi troviamo semplicissime conseguenze del diverso modo di agglomerazione e del diverso grado di concentrazione della materia primitiva. Allorquando una massa gazosa di forma globulare e raccolta, senza bracci nè diramazioni, si raffredda e si condensa in virtù dell' irradiamento che ha luogo alla sua superficie, l'operazione avrà luogo tanto più lentamente, quanto maggiori ne sono le dimensioni. Le parti vicine

alla superficie si condenserebbero prontamente, ma l'irradiamento molecolare conduce ad esse nuovo calore dalle parti interne della massa, onde l'abbassamento di temperatura si fa per gradi, e la massa diminuendo successivamente di volume si farà vieppiù compatta, e finirà collo addensarsi in un corpo unico, senza subire divisioni o dispersioni. Tale è il lavoro che, secondo la teoria di Faye, si va compiendo ora nel Sole, tale è il lavoro già compito sulla Terra, ed ancor più sulla Luna.

130. Ma se noi poniamo invece una massa di vapori di forma irregolare e frastagliata, con divisioni, interstizi, ramificazioni ed interruzioni, l'opera del raffreddamento sarà più veloce nelle parti più sottili e che sporgono maggiormente in fuori. È manifesto, che in tal caso potranno nascere dalla condensazione più nuclei principali, talora un solo; o finalmente anche i centri di condensazione possono essere numerosissimi e irregolarmente o regolarmente distribuiti. Veggansi le figure dei cumuli stellari secondo W. e J. Herschel, e secondo Rosse. Questa formazione potrà dare agglomerazioni di ogni ordine, cominciando da un nucleo principale, e venendo fino alla polvere minutissima.

131. È possibile che una massa globulare di materia abbia una forte condensazione al centro, ed invece sia vapore sommamente raro alla circonferenza e negli strati più esteriori. Potrà allora la condensazione farsi subitamente nelle parti vicine alla superficie, prima che dal centro sia restituito il necessario calore. Avremo così per risultato finale un corpo principale nel centro d'una miriade di corpuscoli minori. Il corpo centrale potrà ancora essere allo stato vaporoso, ed i corpi circostanti già perfettamente condensati. Un tal sistema, se attratto dal Sole nelle sue vicinanze, potrà produrre una cometa con accompagnamento di corrente meteorica.

132. Finalmente noi possiamo supporre una massa omogenea assai rara, e sottile secondo una o due delle sue dimensioni. Il concentramento potrà allora aver luogo simultaneamente su tutta la massa: si costituirà una infinità di centri di condensazione: la massa diventerà una nube polverosa, e potrà, venendo a noi, produrre una corrente senza cometa. Un esempio sommamente notabile di questo modo di condensazione della materia ci offre il fenomeno della cristallizzazione dei corpi nelle soluzioni chimiche troppo saturate.

133. Ecco dunque come i fenomeni in apparenza più diversi possono derivare dalla multiforme azione di una sola e medesima causa, *la diversa concentrazione della materia celeste sotto l'influsso dell'attrazione:* la qual materia in diverse circostanze produce le stelle fisse, i pianeti, le comete, gli ammassi nebulosi e le stelle meteoriche. Gli è ben dunque cotesta la ὕλη d'Anassagora, il principio d'ogni cosa nell'universo corporeo! È stato facile, specialmente dopo Galileo, il descrivere i grandi corpi del firmamento; ma essi ci apparivano isolati, formanti in certa guisa l'ossatura del mondo. Ora questi fiumi cosmici, i quali percorrono gli intervalli fra stella e stella, mantengono in comunicazione tutte le parti, e sono il principale agente della circolazione mondiale. Quali funzioni siano destinate a compiere, ancora non sappiamo.

134. Il sig. Ab. Raillard (1) sarebbe inclinato ad assegnare alle nostre correnti meteoriche la funzione di distributori della temperatura. Egli assegna ad alcuna di esse il raffreddamento periodico, che Erman fu il primo a notare verso la metà di maggio. Mentre secondo Erman il raffreddamento ha luogo per ciò che la corrente s' interpone tra il Sole e la Terra, sottraendo a questa una parte del calore: secondo Raillard, la corrente stessa venendo da regioni di più bassa temperatura, raffredderebbe la Terra per il semplice fatto dell' immersione. Si potrebbe anzi immaginare, che una nebulosa allo stato di gaz incandescente, trasformandosi in corrente, producesse sopra la Terra il fenomeno dell' incendio finale, compiendo così il vaticinio espresso dai rozzi ma terribili versi degli oracoli sibillini:

Tempora torpebunt: vidua omnia semina mundi,
Aër, terra, salum, lux ignis fervida coeli,
Cardo, dies, noctes, concident omnia in ignes,
Et fiet species quam desertissima rerum.

Io mi trovo obbligato a confessare di non essere abbastanza preparato a discussioni di questa natura, chiedo quindi licenza di non prendervi parte.

---

(1) *Les Mondes*, tome XIII, p. 606; tome XII, p. 648.

IX. Diverse altre opinioni intorno alla relazione che esiste fra le comete e le correnti meteoriche.

135. L'analogia e la relazione reciproca che esiste fra le comete e le correnti meteoriche è stata dichiarata nei §§ precedenti per mezzo della comune origine. Ammettendo come vera la nostra teoria, la quale è una semplice estensione e particolarizzazione delle immortali vedute di W. Herschel, segue che in un certo senso posson le stelle meteoriche riguardarsi come altrettante comete, sebbene la minor mole e il grado assai diverso di condensazione abbiano potuto produrre un apparente contrasto di forme. In ogni caso non possiamo dimenticare, che le comete sono corpi d'un altro ordine superiore (1): e se chiamiamo cometa ogni massa di materia descrivente intorno al Sole un'orbita allungatissima, potremo dire ancora con verità, che le stelle meteoriche provengono dalla dissoluzione delle comete. Dopo gli sviluppi dati poc'anzi sarebbe inutile estendersi più oltre a dilucidare il senso di tutte queste espressioni, ciò che ci condurrebbe al rischio di far questioni sopra semplici parole.

---

(1) Ho emesso altra volta l'idea (V. lettera III al rev. P. Secchi), che le comete, supposte isolate, potessero avere colle correnti meteoriche una relazione simile a quella che i grossi pianeti del sistema solare hanno coi pianeti minori tra Marte e Giove. In questo caso ogni corrente meteorica sarebbe da ritenersi come una zona in cui si muovono infinite comete, ed ogni stella meteorica dovrebbe riguardarsi come differente dalle comete soltanto per la sua mole. Tale era l'opinione ch'io mi ero formata di questa cosa prima che si fosse scoperta la coesistenza delle comete 1862 *III* e 1866 *I* colle correnti d'agosto e di novembre. Ma ulteriori riflessioni su questo argomento, come pure alcune osservazioni molto stringenti che Otto Struve si degnò comunicarmi per lettera, mi fecero abbandonare del tutto l'idea di riguardare ogni stella meteorica come l'equivalente di una cometa. Con questo non è che venga tolta la possibilità di veder meteore paragonabili in mole alle comete, o comete di piccolissimo volume. Agli esempi che in proposito ho addotto nella lettera citata, sono ora in grado, mercè la gentilezza del sig. professore Littrow, di aggiungere la singolare e forse finora unica osservazione riferita da Jahn nel vol. XXIII, p. 237 delle *Astronomische Nachrichten*, sulla quale il detto sig. professore ha chiamato la mia attenzione. Trattasi di una cometa con tre code, la quale, in circa 26 minuti che fu visibile, percorse un arco di forse 40°. Senza dubbio essa passò molto vicino alla Terra, e fu proporzionatamente assai piccola. Vedi il luogo citato. Ciò avvenne addì 3 luglio 1845.

136. Allorquando noi parliamo della *dissoluzione* delle comete, deve questo intendersi nel senso che vi abbiamo dato finora; si tratta cioè della dispersione delle parti di un ammasso di materia sotto l'influenza della *sola* attrazione, la quale è l'attrazione solare per le correnti non periodiche, e può essere anche in parte l'attrazione di un pianeta perturbatore per le correnti di breve periodo. È stato dimostrato, che questa causa basta appieno a produrre tutti i fenomeni osservati: ed ogni volta che questa causa entra in azione, il suo effetto, se effetto ha luogo, non può essere altro che la formazione di una corrente, la quale si allunga sull'orbita percorsa intorno al Sole dal corpo primitivo. Se adunque in alcune di questi corpi, che arrivano dalle profondità dello spazio, verrà a manifestarsi qualche altro genere di dispersione, per cui le particelle non si stendano *sull'orbita*, ma in altre direzioni, dovremo concludere che questa dispersione è di un altro genere di quella da noi finora considerata. Tale è appunto il caso delle comete dotate di coda, le quali sembrano perdere materia, a misura che avanzano nello spazio: ma questa perdita non succede lungo l'orbita, sì bene nella direzione del raggio vettore, che al tempo, in cui le code sogliono maggiormente svilupparsi, suole essere poco lontano dalla perpendicolare all'orbita.

137. Allorquando si considera la formazione delle code cometarie come un fenomeno materiale e non puramente ottico, è impossibile supporre che la materia onde sono formate quelle lunghissime appendici non vada, almeno nella maggior parte dei casi, dispersa nello spazio. Tolta ogni connessione della medesima col nucleo della cometa, questa materia si dispone in forma di ampio strato giacente nel piano dell'orbita percorsa dalla cometa. Non è dunque una sottile corrente che qui si forma, ma uno strato di materia in movimento, della quale le particelle descriveranno orbite di varia natura, tutte giacenti nel medesimo piano. Ora è manifesto, che il fenomeno *della radiazione* suppone una corrente filiforme, di cui tutte le orbite possano riguardarsi come fra loro parallele in ogni dato punto. Una corrente in forma di strato, come quella che sarebbe generata dalle code cometarie, non potrebbe divergere da un punto unico di radiazione apparente, ma bensì da una serie d'infiniti punti formanti una curva continua sulla vòlta dell'emisfero stellato. Perchè soltanto in circostanze affatto

speciali e per qualche punto di essa corrente potrebbe immaginarsi, che tutte le traiettorie delle particelle che la compongono siano fra loro parallele, e descritte con eguale velocità.

138. Non sembra adunque essere questo il caso di applicare la celebre regola di Newton, colla quale egli prescrive, che agli effetti naturali del medesimo genere debbano assegnarsi le medesime cause (1). Se fosse possibile spiegare la formazione delle code cometarie per mezzo della sola attrazione universale combinata con una forza di espansione o di proiezione risiedente nel nucleo, sarebbe opera utile il tentare di conciliare le discordanze e le differenze or ora notate fra le correnti filiformi quali risultano dalla teoria dell'attrazione e dall'osservazione, e le correnti stratiformi che necessariamente le comete producono pel fatto della loro emissione caudale. Ma se vi è una cosa certa nella teoria fisica delle comete, è questa: che la materia delle code deve il suo movimento a forze di natura non ben conosciuta, le quali distruggono l'effetto della gravitazione, ed anzi producono effetti contrari a quelli che dalla gravitazione risulterebbero. Mi reca somma meraviglia il vedere, che questa cosa non sia ancora diventata evidente per tutti. Senza dubbio convien bene guardarsi dall'introdurre nuove cause, e nuove classi di fenomeni, quando ciò non sia necessario. Ma quando più fatti cospirano a condurci ad una medesima ipotesi, e quando questa offre il modo più semplice e più naturale di sciogliere difficoltà insuperabili, vuole il buon senso, che non la si rifiuti solo perchè essa contiene qualche cosa di nuovo nell'ordine della natura.

139. Troppo noto è il fenomeno dei getti luminosi, che sogliono emettere i nuclei di molte fra le grandi comete. Veggonsi questi getti sollevarsi dalla parte del nucleo che guarda il Sole, e la forza di proiezione che li solleva sembra non essere piccola. La materia onde sono composti suole rapidamente espandersi, formando così una specie di ventaglio, o di settore luminoso. Codesti settori hanno invariabilmente la proprietà di riversarsi all'indietro, lasciando fuggire la materia dei loro lembi verso la parte della cometa, ove si trova la coda. Tale rovesciamento può

(1) « *Effectuum naturalium eiusdem generis eaedem assignandae sunt causae, quatenus fieri potest.* » *Principia*, lib. III. *Regula philosophandi II.*

farsi da tutte le parti del settore, quando il suo asse di simmetria si volge al Sole; ma accade anche sovente, che inclinandosi il medesimo in virtù di certi movimenti oscillatorii, il rovesciamento è più copioso da una parte che dalle altre, ed anzi talora avviene, che il tutto si rovescia da una parte, dando luogo ad uno zampillo parabolico. Di tali fenomeni abbiamo esempi più o meno evidenti nelle grandi comete che apparvero nel 1665, nel 1744, nel 1819, nel 1835, nel 1858, nel 1861 e nel 1862. Questo rovesciamento dei getti fa sì che la materia, eiettata dal nucleo verso il Sole, finisce per confondersi con quella della coda, ed anzi sembra che in molti casi lo splendore e la lunghezza di questa appendice sia principalmente dovuta alla materia dei getti luminosi.

140. I diversi tentativi fatti per ispiegare questi singolari fenomeni per mezzo di semplici combinazioni del movimento iniziale di proiezione del getto col movimento parabolico del nucleo furono sino ad oggi infruttuosi. Il sig. Roche, considerando la forma delle comete come risultato del semplice equilibrio di un fluido sotto l'azione attraente del nucleo, ed introducendo un'azione ripulsiva del Sole, è riuscito a trovare la ragione perchè si produca un fenomeno in certa maniera somigliante ai getti [1]. Ma per quanto bella ed ingegnosa voglia dirsi la teoria del Roche, nessuno di quelli che han potuto osservare le comete del 1858, del 1861 e del 1862 potrà ammettere, che essa rappresenti pur da lontano i fenomeni che hanno luogo veramente in natura. Questi getti sono talora doppi, come nelle comete del 1744, del 1835 e del 1858 [2]; anzi la cometa del 1858 (di Donati) ne mostrò fino quattro ed anche più in una volta, siccome può vedersi dai disegni di Bond. Evidentemente qui non abbiamo un fluido in equilibrio, ma materia proiettata con forza da certe regioni della superficie del nucleo, che a questa operazione sono più adattate; e se tale materia si piega indietro a raggiungere la coda ed a formarla anzi in massima parte, ciò avviene semplicemente perchè una forza ignota la spinge nella direzione opposta al Sole. Tal forza, che già era sembrata necessaria a Keplero e ad Eulero per ispiegare la formazione delle code

---

(1) H. Resal: *Traité élémentaire de Mécanique céleste*, p. 286.

(2) Vedi i disegni di Heinsio, di Struve e di Bond.

cometarie, ha dovuto pure intervenire, ma in modo assai più artifiziale, per ispiegare la formazione dei getti nella teoria citata del Roche.

141. Se, uscendo dal campo delle azioni complesse e multiformi che sogliono manifestarsi intorno al nucleo, noi seguiamo lo svolgimento della coda nello spazio, ci troviamo di fronte ad un insieme di operazioni assai più semplice, e fino ad un certo punto accessibile al calcolo. Questi lunghi fiumi di materia luminosa sono regolati nel loro corso dalla velocità con cui si staccano dal nucleo, combinata coll'azione esercitata dal Sole, e forse anche in parte dal nucleo, sulla loro materia divenuta libera. Il fatto che la massima parte delle code cometarie s'incurva nel piano della traiettoria descritta dal nucleo ci è testimonio, che azioni estranee a queste, generalmente parlando, non intervengono nel determinare la forma e la curvatura della coda. Aggiungi la circostanza, che molte volte la sottigliezza della coda permette di riguardarla come un sistema lineare di punti. Tutto ciò è sommamente favorevole alla ricerca delle relazioni fra la forma osservata delle code, e le forze che determinano questa forma. Il problema diventa comparativamente assai semplice. Un punto della materia caudale si trova in un determinato istante, all'estremità dell'appendice luminosa, in una posizione conosciuta dello spazio. Questo punto è arrivato colà, partendo dal nucleo, vicino al quale esso si trovava. È possibile, colla semplice gravitazione, spiegare questo trasporto, e costruire la coda senza altre supposizioni?

142. Il problema è stato proposto e sciolto sotto questa forma dal gran Bessel, nè certamente alcuno potrà dubitare, che questa sia la giusta e diretta via per risolverlo. A dir propriamente, qui non vi è affatto ipotesi. Se adunque Bessel, trattando in questo modo col calcolo la cometa d'Halley (1), è stato condotto a pronunziare « che la presenza delle code non lascia alcun dubbio sull'esistenza d'una forza che opera sulla loro materia in modo diverso dalla gravitazione universale (2), » ed a dire in altro luogo « che è impossibile dubitare di una azione repulsiva reale od apparente del

(1) *Astronomische Nachrichten*, n° 300, 301, 302.
(2) *Ibid.*, § 15, p. 229.

Sole sulle code delle comete [1], » ed in un terzo luogo « che la forma ordinaria delle code è inesplicabile colla ordinaria gravitazione [2]; » con ciò egli non ha espresso un'*ipotesi*, ma sì bene il risultato matematico dei fatti osservati sulle code medesime, e di cui non è per conseguenza permesso dubitare a chi pesi parte a parte il valore dei ragionamenti di Bessel. Questa forza repulsiva, come bene avverte il cauto astronomo di Königsberga, può avere, od anche non avere la sua sede nel Sole, sebbene operi nel senso contrario alla direzione del gran luminare: similmente può essere od anche non essere, che decresca col quadrato della distanza dal Sole, senza ch'essa sia meno constatata per questo.

143. È impossibile determinare numericamente la grandezza della forza in questione, senza fare alcuna particolare ipotesi sulla legge con cui essa opera. Bessel, avendo eseguito i suoi calcoli nella supposizione che il Sole sia il suo centro, e che decresca nella ragione inversa dei quadrati, determinò, per mezzo delle proprie osservazioni sulla cometa d'Halley, la costante di questa repulsione; e trovò, che ponendo $= + 1$ la costante della gravità, quella della repulsione esercitata sulla coda della cometa era, nel 1835, eguale a $-1,812$, cioè quasi doppia della attrazione universale, ed operante in senso opposto. Nel 1858 Pape fece una discussione consimile della cometa di Donati; e trovò che per la coda principale l'azione del Sole, piuttosto che una repulsione, dovea riguardarsi come un'*attrazione elettiva*, di cui determinò la costante in $+0,612$. Ma la coda secondaria e quasi rettilinea osservata da Bond e da Winnecke diede una repulsione più che quintupla della gravitazione colla costante $-5,317$ [3]. Finalmente l'autore del presente scritto avendo assoggettato ad un calcolo consimile le osservazioni sulla cometa del 1680, che Newton ci ha tramandato nel libro dei *Principii* [4], trovò essere possibile di rappresentare la posizione dell'estremità della coda, supponendo l'azione del Sole perfettamente nulla rispetto alle parti della cometa;

---

(1) *Memoria citata*, p. 225.
(2) *Ibid.*, p. 225.
(3) *Ibid.*, vol. XLIX, p. 342-346.
(4) Ed. di Glasgow del 1822, vol. IV, p. 175.

ponendo cioè che per esse la costante della repulsione o dell'attrazione elettiva sia uguale a zero.

144. Sebbene tutti questi risultati numerici non abbiano valore che per l'ipotesi sulla quale sono fondati, essi indicano tuttavia chiaramente (e le code multiple lo confermano abbastanza) che l'azione repulsiva od elettiva nel senso del raggio vettore varia da una cometa all'altra, anzi da una coda all'altra di una medesima cometa. Ma in grado maggiore o minore è necessario ammetterla in tutte le comete a grandi code. Ecco dunque nelle code una testimonianza sull'esistenza di questa azione, la quale conferma ciò che risultava già dalla semplice ispezione dei getti luminosi (§ 140). Prego il lettore ad osservare, che queste due testimonianze circa il fatto della repulsione sono *indipendenti fra loro*. È egli dunque ragionevole dubitare ancora? Per me concludo: che esiste nelle comete una specie di materia particolare (la quale per brevità designerò col nome di materia cometica) per cui il Sole esercita un'attrazione minore che per la rimanente materia; attrazione che nel più dei casi anche si volge in repulsione. Malgrado la presenza di questa materia nel corpo cometario, questo ubbidisce alle leggi di Keplero: dal che si può argomentare, o che la massa di quella materia è trascurabile rispetto al corpo della cometa, o che tal materia ha proprietà differenti dall'ordinario. Lo sviluppo delle code dipende esclusivamente dalla maggiore o minor abbondanza di questa materia, e dall'efficacia, con cui il Sole opera su di essa. Separandosi dalla cometa, essa è in balìa della propria attrazione elettiva, e determina la formazione della coda. È possibile, che in questo tempo essa trascini con sè maggiore o minor copia della materia ordinaria: nel qual caso si avrebbe una spiegazione naturale della diversa intensità di repulsione che mostrano le diverse code. Tale materia trovandosi commista in piccola quantità ad un ammasso quale fu la cometa del 1652, ha potuto produrre quella rara ed insignificante barba, che accompagnò la detta cometa. E per gli effetti del suo sprigionarsi dai corpi cometarii più o meno densi nel mentre che si avvicinano al Sole forse potranno dichiararsi molti fenomeni singolari. Ma come qui non vogliamo inoltrarci nell'intricatissima questione della natura e dei fenomeni delle comete, basti aver dimostrato l'esistenza della forza repulsiva nei getti e nelle code, che è quanto ci abbisognava.

145. Ciò stabilito, subito comprenderemo che nè getti nè code possono dare origine alle stelle cadenti; e questo perchè le stelle cadenti sono formate di materia che ubbidisce in tutto alle tre leggi di KEPLERO, e specialmente alla terza, che respinge qualsivoglia idea di attrazione elettiva. Se così non fosse, non le vedremmo accompagnate dalle comete nella medesima orbita, e nel caso delle meteore di novembre non vedremmo la cometa 1866 *I* trovarsi ancora alla vanguardia dello sciame dopo il numero considerabile di rivoluzioni (certamente maggiore di 29) che tutto il sistema ha fatto dopo la sua dissoluzione in corrente. La costante dell'attrazione solare, che regge il moto delle stelle cadenti, è dunque eguale alla costante generale, che regola il moto dei pianeti e delle comete; o per lo meno se v'ha differenza essa è senza dubbio impercettibile. Io credo, che questo argomento renderà per sempre impossibile qualsiasi tentativo di dedurre la formazione delle stelle cadenti sia dall'emissione nucleare delle comete, sia dall'emissione caudale: ciò indipendentemente dalle ragioni già suggerite nei §§ 137, 138. La materia delle code, appena separata dal nucleo, si allontana rapidamente dal Sole, descrivendo iperboli, e non può dar luogo a formazioni stabili, come sono le correnti meteoriche (1).

146. Il signor professore ERMAN, il quale è stato il primo a stabilire in termini rigorosi la questione astronomica del corso delle stelle cadenti, ha negli ultimi tempi pubblicato uno scritto su questo argomento, nel quale, dopo esposti in modo istorico i principali progressi fatti dal 1840 in qua, prende ad esaminare le diverse possibilità che si presentano a noi per concepire il modo di generazione delle correnti meteoriche. Invece di supporre con LAPLACE, che le comete facciano parte del mondo stellare, e che solo per la combinazione dei loro movimenti col moto

(1) Ho discusso la teoria dell'emissione nucleare e caudale delle comete con qualche lunghezza, prima per spiegar bene che cosa io intendo per dissoluzione delle comete in correnti: secondo perchè l'emissione nucleare e caudale sembra veramente fornire la spiegazione più naturale, se non la più vera, delle stelle meteoriche. Il sig. FAYE ha trattato questa cosa colla consueta sua eleganza e perspicuità nel vol. LXIV dei *Comptes rendus*, p. 552 e seguenti: qui sopra ho sviluppato le ragioni che m'impediscono di accostarmi alla sua opinione. Quanto alla connessione delle comete cogli sciami delle stelle cadenti, essa non è già arbitraria nella nostra ipotesi, come afferma il sig. FAYE, ma è un fatto dipendente dalla generazione stessa delle correnti e delle comete. V. qui sopra §§ 110-112.

proprio del nostro sistema vengano a passare nella vicinanza del Sole, egli considera le comete e le stelle cadenti come membri *ab antiquo* del sistema solare, sebbene le riguardi poi come indipendenti dai pianeti. E mentre le orbite di questi ultimi sono soggette a quelle norme che tutti sanno, secondo Erman le orbite dei corpi non planetari sarebbero da riguardarsi come determinate dal caso in tutti i loro elementi. Risalendo allora al tempo, in cui la gran nebulosa madre del nostro sistema si estendeva al di là delle orbite di tutti i pianeti, è chiaro, che la resistenza della sua materia dovea contribuire ad accorciare rapidamente i grandi assi delle orbite percorse dalle comete o dalle stelle cadenti. Quindi l'impiccolimento delle orbite, che ha prodotto le comete a breve periodo, e che ha potuto produrre, secondo Erman, orbite altrettanto brevi, ed anche più brevi, per le stelle meteoriche. In questo modo egli cerca di stabilire la possibilità di quelle orbite a brevissimo periodo, che per le stelle d'agosto e di novembre furono determinate da diversi calcolatori, e che non hanno alcun analogo fra i corpi conosciuti del sistema solare.

147. Se la questione riguardasse soltanto le correnti meteoriche di agosto e di novembre, essa si potrebbe ben dire risoluta, non essendo più possibile di ragionevolmente dubitare che queste ultime percorrano un'orbita di 33 anni e un quarto, mentre per le prime un'orbita di più che 100 anni è, se non certa, almeno molto probabile. Ma considerando in generale la possibilità di orbite non aventi che alcuni mesi di rivoluzione, e tuttavia godenti di qualsiasi eccentricità ed inclinazione, parmi che il confronto colle comete non le sia molto favorevole; infatti, mentre si hanno alcune comete con periodo di cinque, sei, sette anni (sono almeno sei), una sola, quella d'Encke, arriva a 3, 29 anni di periodo, e nessun'altra finora se n'è trovata di più breve rivoluzione. Questa è la ragione per cui io ho sempre riguardato press'a poco come sinonimi le parole *orbita cometaria* e *orbita di lungo periodo*, attribuendo ai corpi che le descrivono una velocità prossimamente eguale a quella della parabola, senza perciò pretendere che tutte le stelle cadenti debbano volgersi proprio in orbite paraboliche od iperboliche, come a torto mi è stato apposto (1). E del resto nessuno avrà

(1) *Erman's Archiv für die wissenschaftliche Kunde von Russland*, tom. XXV. Berlin, 1867.

difficoltà di ammettere per le stelle cadenti la possibilità di orbite dotate di alcuni mesi ed anche di alcuni giorni di rivoluzione, tosto che sarà provato (il che finora non è) esistere veramente correnti meteoriche volgentisi in tali orbite.

148. La resistenza di un mezzo formato dalla nebulosa solare di LAPLACE, mentre può farsi servire alla spiegazione delle orbite a breve periodo appartenenti a corpi non planetari, somministra anche un modo semplice e, diciamo pure, elegante di immaginare la formazione delle correnti meteoriche annulari. Poichè la resistenza di un mezzo alla progressione di un corpo non dipende soltanto dalla densità di quel mezzo, ma ancora dalla grandezza, densità e configurazione del corpo medesimo. Se adunque noi immaginiamo che uno sciame di piccoli corpi differenti di mole, di figura e di densità si volga intorno al Sole attraversando un mezzo resistente: le loro velocità verranno dalle ineguali resistenze inegualmente affette, onde nascerà presto una diversità di tempi rivolutivi che cambierà lo sciame primitivo in un anello continuo. Questo modo di generazione potrebbe evidentemente riputarsi valevole, sia che con LAPLACE facciamo venire volta a volta le comete dagli spazi stellati, sia che con ERMAN vogliamo riputarle appartenenti al sistema solare fin dalla prima origine. Noi potremo averlo come più o meno probabile, secondo che più o meno probabile ci riuscirà l'efficacia del mezzo resistente per produrre le orbite delle comete a breve periodo.

149. Ora noi siamo in grado di provare che delle due cause capaci di produrre le orbite a breve periodo, che sono cioè la resistenza della nebulosa madre e le perturbazioni esercitate dai grossi pianeti, la seconda è assai più probabile che la prima. Per i tempi presenti ciò è evidente: infatti al giorno d'oggi la resistenza della nebulosa madre, se pure ancora ha luogo, produce certamente effetti impercettibili, e la cometa di FAYE lo ha negli ultimi anni luminosamente dimostrato. Al contrario quasi sotto i nostri occhi il potentissimo GIOVE ha introdotto nelle parti interne del sistema, e deviato in orbite di breve periodo, due comete, quella di LEXELL e quella di BRORSEN; onde possiamo con sicurezza concludere che a cagione del numero stragrande delle comete tali avvenimenti non sono punto rari nella storia del nostro sistema, e la deviazione dello sciame di novembre da

noi supposta (§ 108 e 109) entra nel limite della più volgare probabilità. Ma io dico che i monumenti restanti delle antiche evoluzioni del sistema planetario attestano eloquentemente, in ogni tempo le perturbazioni dei pianeti essere state causa principale delle orbite a breve periodo percorse dai corpi non planetari del sistema stesso.

150. La nebulosa solare supponesi dotata originariamente di un moto rotatorio diretto, la cui velocità si vuole andasse crescendo col successivo condensarsi della nebulosa medesima. Così essendo, è chiaro che le comete di movimento diretto doveano subire minor resistenza che quelle di moto retrogrado. Epperciò fra tutte le orbite periodiche descritte dalle comete dovrebbero i periodi minori corrispondere alle comete retrograde, almeno in generale. Al contrario, se si chiamano in causa le perturbazioni planetarie, è facile convincersi che i maggiori cambiamenti d'orbita hanno luogo per comete di moto diretto. Sarebbe troppo lungo voler qui dimostrare una tale asserzione; basti addurre per esempio che sopra una cometa diretta percorrente un orbe parabolico inclinato di 18° sull'orbita della Terra (1), e posto nelle condizioni indicate al § 82, l'attrazione del nostro pianeta può giungere a mutare la parabola in un'ellisse di 4, 32 anni di rivoluzione: mentre sulle stelle retrograde di novembre, percorrenti un'orbita inclinata pure di 18° sull'orbita (2) terrestre, il sommo sforzo della Terra può giungere a cambiare la rivoluzione di 33, 25 anni in una di anni 28, 67 (V. § 93). Ora, fra le comete conosciute 14 hanno il periodo assicurato al di sotto di 100 anni di durata; in questo numero due sole, cioè la cometa di Halley e quella del 1866, hanno movimento retrogrado: ed anche si osservi che i loro periodi sono comparativamente lunghi, cioè 76 e 33 anni rispettivamente. Ciò luminosamente attesta che alle perturbazioni planetarie è dovuta la brevità dei periodi. Queste sono le ragioni per cui non mi è sembrato opportuno chiamare in soccorso la resistenza della nebulosa madre nella questione delle stelle cadenti per ispiegare la formazione delle correnti annulari.

---

(1) Notisi che diciamo *sull'orbita* e non *sul piano dell'orbita*.
(2) Come alla nota (1).

151. Esaminerò da ultimo la questione che riguarda la possibile relazione fra le stelle meteoriche e la luce zodiacale. Già nel 1836 Biot adduceva alcuni argomenti in favore dell'opinione che riguarda la luce zodiacale come una nube di piccoli corpuscoli planetari aggirantisi intorno al Sole, dei quali l'incontro colla Terra sarebbe causa delle apparizioni meteoriche. Se si avesse potuto provare che le orbite delle stelle cadenti sono prossime alla forma circolare e poco inclinate al piano dell'eclittica, niun dubbio che l'ipotesi di Biot avrebbe avuto per sè una notevole probabilità. L'assimilazione delle stelle cadenti alle comete rende più difficile il comprendere come corpi descriventi orbite d'ogni possibile inclinazione producano un fenomeno così intimamente legato al piano dell'eclittica, come è la luce zodiacale. Il signor Faye tuttavia non dispera che si possa riuscire a togliere questa difficoltà (1). Egli fa osservare che le orbite delle comete a breve periodo sono poco divergenti dal piano dell'eclittica, il che è una conseguenza naturale del modo con cui tali brevi periodi vengono prodotti. Ma nè il numero delle comete a breve periodo sembra sì grande, di fronte a quello delle altre, nè la loro adesione al piano dell'eclittica sì intima e costante da produrre tanto considerabile eccesso di luce lungo lo zodiaco. Tuttavia non è da una discussione di natura così incerta che dobbiamo sperare una risposta alla questione. Addurrò invece un altro argomento, per il quale rimarrà poco meno che dimostrato non potere la luce zodiacale esser prodotta da una nube meteorica composta di corpi simili alle stelle cadenti.

152. Notissima è la bella piramide luminosa, la quale si mostra in primavera ad occidente dopo il cader del Sole, in autunno ad oriente prima dell'aurora. Forse assai meno conosciuta è la circostanza che tal piramide non forma tutto intero il fenomeno, ma solo ne costituisce la parte più visibile e più facile ad osservare. Allorquando si osserva attentamente la luce zodiacale in un clima favorevole, come sono alcuni dei tropici, ed anche talora delle nostre zone temperate, si trova, oltre al fuso principale che forma intorno al Sole una nube luminosa lenticolare, un

(1) *Comptes rendus*, t. LXIV, p. 554.

altro fuso simile di forma, ma incomparabilmente minore di dimensioni apparenti e di luce senza confronto più pallida; del quale il centro si trova costantemente nel punto dell'eclittica che sta diametralmente opposto al Sole, mentre il suo asse, come quello della luce principale, segue l'eclittica per lo lungo. Gli è quello che i Tedeschi chiamano *Gegenschein*, e che noi chiameremo *fuso minore*. Nè qui è tutto. Il fuso minore, a seconda delle circostanze atmosferiche, è ora più ora meno intenso, ora più ora meno lungo; ma un occhio esercitato, il quale si trovi in buona temperie d'aria, potrà scorgere talvolta come l'uno o l'altro od ambidue i suoi estremi si allungano al punto di raggiungere gli estremi del fuso principale. Sotto questa forma la luce zodiacale altro non è più che una gran fascia luminosa, estendentesi per tutto lo zodiaco, di cui un *maximum* d'intensità coincide col luogo del Sole (1), un altro *maximum*, assai meno sensibile, sta nel punto opposto: due *minima* hanno luogo in due punti che dalle mie osservazioni risulterebbero lontani dal Sole circa 130° e circa 50° dal centro del fuso minore.

153. Fino dal 1730 aveva il P. Pezenas veduto la luce zodiacale apparire simultaneamente all'orto ed all'occaso, occupando tutta la parte visibile dello zodiaco (2): ma l'osservazione sua presenta alcuni caratteri che lascian dubbio, se in quel giorno si trattasse di luce zodiacale o di aurora boreale. Più decisiva è la relazione di Humboldt (3), il quale navigando nel marzo 1803 i mari equinoziali fra 12° e 15° di latitudine boreale, scriveva, dopo di aver narrato la magnificenza della piramide occidentale, le seguenti parole: « Mentre la luce zodiacale era vivissima dal lato di ponente, noi osservammo costantemente a levante una luce biancastra, di forma piramidale. Essa era talmente intensa, che la chiarezza del cielo in quella direzione ne veniva aumentata nel modo più sensibile. I marinai stessi erano maravigliati contemplando questa doppia luce all'Est ed all'Ovest, ed io sono inclinato a credere, che la luce bianca orientale

(1) Almeno così si deve supporre: la luce zodiacale, com'è noto, non si può osservare nella parte più vicina al Sole.

(2) *Mémoires de l'Acad. des Sc. de Paris*, 1731.

(3) *Astron. Nachrichten*, n° 989.

fosse un semplice riflesso dell'occidentale. Ed infatti elle scomparivano ambedue nel medesimo tempo. »

154. Soltanto nel 1855 l'astronomo Brorsen scoperse all'Osservatorio di Senftenberg ciò che egli chiamò *Gegenschein* (lume dell'opposizione), determinandone con osservazioni accurate il sito e la natura; nè il collegamento di esso colla piramide occidentale gli rimase celato (1). « Si vede questa luce non solo verso l'epoca dell'equinozio di primavera, ma bene anche intorno all'equinozio d'autunno..... È un fatto, di cui mi sono convinto per ripetute osservazioni, che la regione più luminosa di questa luce giace nella precisa opposizione del Sole. Inoltre risulta dalle osservazioni, che verso la metà di aprile la luce dell'opposizione si congiunge per una striscia luminosa colla piramide occidentale, ecc. » La scoperta di Brorsen fu completata dal rev. G. Jones, prete americano, il quale più d'ogni altro osservatore ha seguito con diligenza le apparenze della luce zodiacale. Egli scriveva in data del 18 novembre 1856 da Quito, città di cui appena è possibile trovare una più adatta a questo genere di osservazioni (2): « Io vedo ogni notte, e durante tutta la notte, un arco luminoso dal levante al ponente attraversare il cielo tutto intiero. Questo arco, della larghezza di 20°, è visibile sempre, quando il tempo è sereno, ma si mostra nella sua massima luce quando l'eclittica è verticale: nella qual circostanza esso rassomiglia quasi una seconda via lattea. Esso è evidentemente la luce zodiacale. »

155. Da sette anni io ho profittato delle occasioni favorevoli per giudicare, dietro proprie osservazioni, del vero aspetto della luce zodiacale. Vi ho trovato una perfetta conferma di tutte le cose esposte. Sebbene il clima di Milano non sia dei più favorevoli, tuttavia la luce dell'opposizione vi si può osservare con sufficiente frequenza: ed è certamente da riguardarsi come un fenomeno ordinario. L'osservazione è specialmente facile, quando il centro di questa luce è nel Leone o nella Vergine. Più raramente si osserva quando il centro è nell'Aquario o nei Pesci. Ma quasi impossibile riesce il distinguerla con sicurezza quando il centro

(1) *Astronomische Nachrichten*, n° 908.
(2) Gould: *Astronomical Journal*, n° 100.

è nei segni australi dell'eclittica, o si trova confuso colle ramificazioni della via lattea, la quale è di grande impedimento. Aggiungerò finalmente che nella notte del 3 maggio 1862 verso $11^h.\ 50^m$ vidi la luce zodiacale attraversare in forma di ponte continuo tutto l'emisfero visibile, passando attraverso alle costellazioni dei Gemelli, del Leone, della Vergine, della Libra e dello Scorpione con una larghezza di circa 15°. L'aria era in quel momento d'una purezza veramente insolita, e tosto dopo seguì una aurora boreale.

156. Questa digressione sulle apparenze della luce zodiacale non appartiene veramente al nostro soggetto: ma trattandosi di stabilire la verità di fenomeni così difficili ad osservare e così poco noti, mi era dovere dare più ampie dichiarazioni che non sarebbe stato opportuno in casi ordinari. Celebri autori d'astronomia hanno ignorato le osservazioni di Brorsen e di Jones, o almeno le han lasciate nell'oblio. Io spero che quanto ne ho detto basterà per indurre osservatori d'occhio sperimentato a verificare, com'io feci, la verità di quelle osservazioni, delle quali l'importanza per la teoria della luce zodiacale è somma. Se infatti vogliasi ammettere con Cassini e con la massima parte degli astronomi, che la luce zodiacale sia disposta intorno al Sole come un ellissoide molto schiacciato di rivoluzione, o come un sistema di anelli press'a poco circolari e concentrici, o come un disco estendentesi nel piano dell'eclittica, chiaro apparirà dal fuso secondario, che i limiti della luce stessa devono oltrepassare l'orbita della Terra. Ma si può a questo aggiungere ancora: 1° che la luce zodiacale non può risultare da un insieme di corpi fosforescenti o luminosi per loro stessi; 2° che la luce zodiacale non può risultare dal riflesso di una nube di corpi solidi, come sono gli aeroliti.

157. Intorno al Sole S (fig. 16) immaginiamo nel piano dell'eclittica un anello circolare di piccolissima larghezza e grossezza, tutto sparso uniformemente di corpuscoli luminosi o fosforescenti. Sia la Terra T' nell'interno di questo anello, TC una visuale che lo attraversi secondo la profondità VC. È facile dimostrare dai principii della fotometria, che se l'anello è, rispetto alla luce dei suoi corpuscoli, omogeneo, l'impressione luminosa nella direzione VC, o la quantità di luce che lo spettatore T' vedrà sparsa sopra un minuto quadrato della sfera celeste sarà indipendente

dalla distanza TC, e proporzionale soltanto alla profondità VC dello strato luminoso secondo la direzione della visuale. Dalla considerazione del triangolo VCI si comprenderà tosto, che tal profondità VC è proporzionale alla secante dell'angolo parallattico TCS; onde concludiamo tosto, che per i punti QQ' delle quadrature, dove l'angolo parallattico è massimo, sarà pure massima l'illuminazione del cielo prodotta dall'anello, mentre minima sarà nei punti XY della opposizione e della congiunzione col Sole. Se ora consideriamo, invece di un anello, un disco composto di anelli concentrici omogenei (anche di densità luminosa variabile dall'uno all'altro), l'effetto che l'insieme del disco produrrà sullo spettatore sarà quello di una fascia luminosa. Ma è chiaro che nella direzione TX gli effetti parziali dei singoli anelli corrisponderanno sempre ad un *minimum*. Quindi anche la somma dei loro effetti o l'effetto totale darà un *minimum*. Cioè nel punto dell'opposizione si avrà un *minimum* di luce; che è appunto il contrario di ciò che si osserva nella luce zodiacale. In nessuna guisa può adunque essa risultare dall'effetto di corpuscoli luminosi o fosforescenti.

158. Supponiamo ora che XQY sia una nube annulare omogenea, composta di corpi opachi a superficie non pulita. Anzitutto le inclinazioni di tutti gli elementi delle loro superficie potranno essere riguardate come casuali: onde l'effetto sarà il medesimo, come se la forma di tutti i corpi fosse la sferica. Ammettiamo dunque che tutti questi corpuscoli siano sferici e illuminati dal Sole. Essi rifletteranno la luce presso a poco al modo della Luna; ma non essendo qui il caso di supporre montagne, le leggi della riflessione succederanno esattamente come per sfere non pulite, ciò che per la Luna non è rigorosamente vero [1]. Adottando la formula, che per la riflessione prodotta da una sfera non pulita in una fase qualunque ha stabilito LAMBERT [2], noi avremo, dalla considerazione della figura, l'espressione

$$J = A.\left\{\sin.v + (\pi - v)\cos.v\right\}\sec.v\ ,$$

colla quale potremo calcolare l'intensità J della luce sparsa sopra un

(1) V. ZÖLLNER: *Photometrische Untersuchungen*, §§ 14-27.
(2) *Photometria*, § 1047.

minuto quadrato della volta celeste nella direzione TC, per la quale l'angolo $TCS = v$. La quantità A è costante per tutti i punti della nube annulare, quando la sua grossezza si ritenga come infinitesima rispetto al raggio dell'anello. L'espressione di J può anche scriversi

$$J = A . \{ \pi + \text{tang}. v - v \} :$$

e se si rifletta che v, cioè l'angolo parallattico, è sempre minore di 90° (perchè T vien supposto dentro dell'anello), si comprenderà tosto che J cresce e diminuisce col crescere e col diminuire di v; quindi sarà massima nelle quadrature, minima nella congiunzione e nell'opposizione, esattamente come pel caso considerato nel § precedente.

159. Se adunque invece di un anello immaginiamo un sistema di anelli, o un disco, od un ellissoide molto schiacciato, evidentemente nella direzione TX avremo un *minimum* d'intensità. E poichè le osservazioni della luce zodiacale mostrano nell'opposizione un *maximum* d'intensità luminosa: così apparirà giustificata l'impossibilità che la luce suddetta risulti da una nube composta di corpi opachi non puliti alla superficie. Medesimamente risulterà impossibile che essa consti di corpi opachi, parte luminosi per fosforescenza e parte per riflesso. Ora, la materia delle stelle cadenti è solida, almeno in parte; essa molto probabilmente è la stessa che quella degli aeroliti, corpi opachi e, per quanto si sa, non puliti alla superficie. Ecco per qual ragione sembra assai difficile ammettere, che la luce zodiacale risulti dal complesso di una infinità di stelle cadenti, erranti nello spazio, lucenti di luce propria, od illuminate dal Sole.

X. Alcune notizie storiche.

160. Fra le stelle cadenti non rare sono quelle che lasciano nel cielo una traccia più o meno fuggitiva, la quale dà a questi corpi l'aspetto di rapidissime comete. Tale appendice non manca quasi mai ai grossi bolidi, i quali anche talvolta nelle antiche narrazioni vengono descritti come comete, e con esse confusi. Questo io credo che fosse il punto di vista di Cardano

allorquando assimilava ad una cometa il gran bolide, dal quale caddero 1200 pietre sul territorio di Crema il 4 settembre 1511 (1). E senza dubbio dal medesimo argomento fu tratto KEPLERO a riguardare alcune stelle cadenti come piccole comete: « *Stellae cadentes sunt materia viscida inflammata. Earum aliquae inter cadendum absumuntur, aliquae vere in Terram cadunt, pondere suo tractae. Nec est dissimile vero, quasdam conglobatas esse ex materia foeculenta, in ipsam auram aetheream immixta, exque aetheris regione tractu rectilineo per aerem trajicere, ceu minutos cometas, occultata causa motus utrorumque* (2). » Tuttavia KEPLERO bandiva le stelle cadenti dall'astronomia, perchè non partecipi del moto diurno comune a tutti i corpi celesti. Sembra che le sue idee sulla natura di queste meteore non fossero completamente fissate.

161. HALLEY pensava che una materia disseminata per gli spazi celesti venisse a concentrarsi in caduta continua sul Sole ed, incontrando la Terra, producesse il fenomeno delle stelle cadenti (3). Questa ipotesi si avvicina molto al risultato delle precedenti investigazioni. MASKELYNE, più ardito di HALLEY, fece delle meteore altrettanti corpi celesti, e pare anzi inclinasse a collocarle fra le comete. Egli scriveva quanto segue in una lettera all'abate CESARIS, astronomo di Milano, sotto la data del 12 dicembre 1783: « *Libenter accipias, precor, chartulam, quam nuper edidi ad excitanda hominum tam doctorum, quam indoctorum ingenia ad acrius observanda meteora ignea dicta* Fire-balls. *Forte fortasse Cometae evasura sunt. . . . . Operam vestram in hac re, quae mihi magni momenti videtur, impendere, Vir doctissime, ne dedigneris, utpote quae ad Philosophiam naturalem saltem, forte etiam ad Astronomiam ipsam promovendam conducere potest* (4). » Non sembra che l'appello fatto da MASKELYNE ai dotti ed agli indotti per l'osservazione assidua delle meteore ignee abbia prodotto un grande effetto.

162. Non fu dunque soltanto ai nostri tempi che si pensò di comparare

---

(1) V. HUMBOLDT: *Cosmos*, III, p. 582, ed. di Milano. CARDANI *Opera*, Lugduni, 1663, t. III, p. 279.

(2) KEPLERI *Opera*, ed. Frisch., t. VI, p. 157.

(3) COULV.-GRAV. et SAIGEY: *Introd. historique*, p. 5.

(4) V. *Memorie della Società Italiana*, tomo III, Verona 1786, p. 345.

le meteore ignee alle comete: le precedenti citazioni lo dimostrano. Ma neppure l'idea di collegare colle comete la teoria della generazione di quelle meteore può dirsi tanto recente. Nella sua opera insigne intorno alle meteore ignee (1), il Chladni ha fatto in questa materia un passo, di cui soltanto oggi possiamo apprezzare l'importanza. Nello stabilire l'ipotesi cosmica, egli riguarda come possibili due casi. O le meteore sono ammassi di materia indipendenti e che non hanno mai fatto parte dei corpi celesti maggiori, o sono il prodotto della distruzione di un corpo celeste anteriormente esistente. Chladni ha questa seconda ipotesi come possibile, ma ritiene la prima come più probabile. Osserva egli infatti, non potersi dubitare che esistano negli spazi celesti molti corpi minori dotati di movimento, i quali talora si rendono osservabili passando davanti al Sole. Secondo Chladni, queste masse disperse sarebbero accumulazioni della materia cosmica primitiva, dalla quale si sono formati anche i grandi astri dell'universo. Molte delle nebulose, che si chiamano irresolubili, altro non sarebbero che porzioni di detta materia sommamente rarefatta, e dispersa in grandissimi spazi. Da tali nebulose pensa Chladni che le comete differiscano soltanto per la piccolezza del loro volume, per il loro isolamento, e forse anche per maggiore densità. Ora, le masse minori, che ci appaiono sotto forma di bolidi e di stelle cadenti non sembrano differire essenzialmente dalle comete. È anzi probabile, dice egli, che le comete consistano semplicemente in nuvole composte di masse in gran parte vaporose e pulverulente, le quali vengono trattenute insieme dalla reciproca attrazione. Che questa attrazione non valga a perturbare sensibilmente i movimenti planetari è una prova della somma tenuità e dispersione della materia in quelle nuvole, attraverso alle quali spesso è avvenuto di osservare le stelle fisse (2).

163. Queste idee così notabili di Chladni non furono mai compiutamente dimenticate in Allemagna. Si può trovarne l'eco in diverse pubblicazioni posteriori, e segnatamente nell'*Astronomia popolare* di Littrow (3).

---

(1) *Ueber Feuermeteore, und ueber die mit denselben herabgefallenen Massen.* Wien, 1819.
(2) *Feuermeteore*, p. 395. V. altresì Kaemtz: *Meteorologie*, vol. III, p. 316.
(3) *Die Wunder des Himmels*, 5ª Auflage 1866, p. 504, 533, 709.

Nel 1859 il barone di Reichenbach pubblicò una *Memoria sulle relazioni reciproche fra le comete e gli aeroliti*, intieramente fondata sul punto di vista di Chladni [1]. Egli immagina che ogni cometa sia uno stralcio di materia primitiva, la quale tendendo a concentrarsi secondo le leggi dell'attrazione, finisca per convertirsi in una nebbia di cristalli minuti e sommamente numerosi. Dall'accumulamento di questi cristalli, prodotto dalla loro attrazione reciproca, suppone poi che nascano gli aeroliti, i quali, secondo Reichenbach, altro non sarebbero che una specie di conglomerati: ognuno di essi sarebbe derivato dalla condensazione di una cometa. È per lo meno assai dubbio, che dalla semplice azione dinamica dell'attrazione possano nascere masse così compatte e così dure, come sono quelle degli aeroliti. Ma anche quando non si vogliano ammettere tutte le parti di questa bizzarra speculazione, forse non è impossibile, che in essa si nasconda qualche cosa di vero: veggansi i §§ 128-133. Se io mi fossi proposto di far qui un'istoria completa, potrei citare le opinioni di parecchi altri autori, i quali furono portati a sospettare analogie fra le meteore luminose e le comete. Fra questi nominerò il sig. ab. Raillard, il quale ha testè riprodotto le idee da lui emesse su questo proposito fino dal 1839 [2]: e il dottor Forster, secondo cui gli anni contrassegnati dall'apparizione di grandi comete sarebbero stati eziandio i più abbondanti di stelle cadenti, e specialmente di stelle bianche [3].

164. Nessuno tuttavia, fra gli autori finora citati, era riuscito a dare alla sospettata analogia o relazione fra le stelle meteoriche e le comete una probabilità maggiore di quella che si appartiene a semplici congetture. Se le mie informazioni sono esatte, il primo a cercare di dare un appoggio più solido alla teoria cometaria delle stelle cadenti è stato Boguslawski, il quale cercò di rappresentare per mezzo di parabole le orbite apparenti osservate in alcune meteore del 10 agosto 1837 [4]. Non avendo potuto vedere la sua Memoria originale, mi è impossibile dire con qual successo

---

(1) *Poggendorff's Annalen der Physik*, vol. CV, p. 438.
(2) *Les Mondes*, t. XII, p. 649; e t. XIII, p. 606. V. qui sopra § 134.
(3) *Essai sur l'influence des comètes, etc.* Bruges, 1843.
(4) Coulvier-Gravier e Saigey: *Introd. historique*, p. 103.

ei l'abbia fatto. Ma certo è, che questa idea non fu coltivata posteriormente nè dallo stesso Boguslawski, nè da altri. Erman nelle sue celebri Memorie avea stabilito l'orbita parabolica come un limite, a cui le stelle cadenti *periodiche* non potessero arrivare; ma la sua teoria delle *offuscazioni* richiedeva corti periodi tanto per le stelle d'agosto, quanto per quelle di novembre, ed escludeva assolutamente orbite di lunga rivoluzione, siccome si può vedere nella sua più recente Memoria su questo argomento (1). Allorquando il fenomeno della variazione diurna fu meglio conosciuto per opera di Herrick e di Coulvier-Gravier, e fu provato che esso era una conseguenza della combinazione del moto proprio delle meteore col moto orbitale della Terra, il prof. Newton tosto comprese, che la legge della variazione diurna poteva offrire qualche schiarimento sulla velocità assoluta delle meteore nello spazio, e dalla discussione delle osservazioni di Coulvier-Gravier rilevò che la media velocità loro deve essere maggiore di quella della Terra, e quindi l'orbita considerevolmente eccentrica (2).

165. Fu altresì il fenomeno della variazione diurna che diede origine alla teoria cometaria delle stelle cadenti, da me sviluppata nelle lettere già più volte citate al rev. P. Secchi. Da una teoria affatto incompleta del detto fenomeno ebbi l'ardire od anzi la temerità di concludere, che la velocità media assoluta delle stelle cadenti dovesse poco allontanarsi dalla velocità parabolica, e che le orbite delle meteore dovessero quindi esser sezioni coniche molto allungate, come quelle percorse dalle comete. Dico che questa conclusione, sebbene poi provata per vera, fu allora una temerità; ho dimostrato infatti nel corso della presente Memoria, che la variazione diurna della frequenza delle stelle cadenti dipende da tante e sì complesse cause, che non sarà mai possibile stabilirne in maniera rigorosa la teoria matematica. Si potrà darne la spiegazione, per quanto riguarda gli effetti principali, ma la determinazione quantitativa delle sue proporzioni di massimo e di minimo non sarà probabilmente mai determinabile *a priori*. Rettamente quindi sosteneva il ch. Faye (3), che non sarà mai possibile

(1) *Archiv für die wissenschaftliche Kunde von Russland*, t. XXV.
(2) *Memoirs of the National Acad. of Sc.*, vol. I. *Annuaire de l'Obs. de Bruxelles*, 1866, p. 201.
(3) *Comptes rendus*, t. LXIII, p. 1097.

determinare la velocità assoluta delle stelle meteoriche per mezzo di considerazioni fondate sui numeri di una semplice statistica oraria od annuale. Ne segue, che il calcolo da me proposto nella 1ª lettera al rev. P. SECCHI non può riguardarsi come l'espressione dei fatti naturali; e soltanto per fortuita compensazione di circostanze nel medesimo neglette è avvenuto, che i risultati da esso calcolo derivanti si trovarono esprimere approssimativamente la verità. E se altra volta ho creduto di sostenere a questo riguardo un'opinione diversa (1), ciò ho fatto in un tempo in cui io non avea sottoposto il fenomeno della variazione diurna ad un'analisi così completa e così rigorosa, come quella che il lettore ha veduto nella presente Memoria.

---

(1) *Les Mondes*, t. XIII, p. 212.

INDICE

I. *Base della nuova teoria.* — §§ 1-5.

Argomenti che depongono in favore della natura cometaria delle stelle cadenti, 1. - Identità di alcune principali orbite meteoriche con le orbite di alcune comete, 2. - Conseguenze di questo fatto, 3. - Nuove quistioni che si presentano sulle stelle meteoriche, 4. - Scopo della presente Memoria, 5.

II. *Esame delle ultime obbiezioni che i partigiani delle teorie atmosferiche oppongono alla teoria cosmica.* — §§ 6-17.

Nuova forma dell'ipotesi atmosferica secondo Coulvier-Gravier, 6. - Influenza della rotazione dell'atmosfera sulla traiettoria delle stelle cadenti, 7, 8. - Influenza dei venti, 9. - Traiettorie curve, 10, 11. - La curvatura è prodotta dalla resistenza dell'aria: prova tratta dal movimento delle palle dei cannoni rigati, 12. - Altri esempi di moto curvilineo prodotto dalla resistenza dei mezzi, 13, 14. - Spiegazione di alcuni moti singolari delle stelle cadenti, 15. - Le traiettorie curve sono meno rare di quanto sembra a semplice giudizio d'occhio, 16. - Olbers è stato il primo ad attribuire le traiettorie curve all'effetto del mezzo resistente, 17.

III. *Studio sulle variazioni periodiche delle stelle cadenti. Loro dichiarazione nella teoria cosmica.* — §§ 18-35.

Variazione annua delle stelle cadenti secondo Coulvier-Gravier, Schmidt e Wolf, 18. - Variazione diurna secondo Herrick e Coulvier-Gravier, 19. - Serve d'argomento ad impugnare la teoria cosmica: opinioni di Humboldt e di Quetelet, 20. - Teorica di Schmidt, 21. - Variazione azimutale secondo Schmidt e Coulvier-Gravier, 22. - Variazioni annue diurne della *risultante* secondo Coulvier-Gravier, 23. - Sono da lui assunte come fondamento della teoria meteorologica, e della predizione del tempo, 24. - Brandes ha dato la chiave della spiegazione di tutti questi fenomeni nella teoria cosmica, 25, 26. - Calcoli instituiti sulle variazioni

periodiche dietro i principii di BRANDES da BOMPAS, A. HERSCHEL, NEWTON, ecc., 27. - Relazione delle stelle cadenti coll'apice del movimento terrestre, 28, 29, 30, 31. - Moto annuo dell'apice, 32. - Moto diurno dell'apice, 33. - Moto azimutale dell'apice, 34. - Questi movimenti danno completa ragione di tutte le variazioni periodiche delle stelle cadenti, 35.

IV. *Moto assoluto delle stelle meteoriche nello spazio.* — §§ 36-41.

Le velocità assolute si possono riguardare come tutte eguali a quella della Terra moltiplicata per $\sqrt{2}$, 36. - Direzioni dei movimenti assoluti, 37. - Punti radianti e loro cataloghi, 38. - Le stelle meteoriche sono raccolte in un numero definito di correnti, 39. - Distribuzione di queste correnti nello spazio; esame fondato sull'analogia colle orbite cometarie, 40. - Non sembra che le correnti meteoriche seguano una direzione prevalente sulle altre, 41.

V. *Moto delle stelle meteoriche relativamente alla Terra.* — §§ 42-58.

Direzione dei moti relativi, 42. - Coordinate dei punti radianti di GREG riferiti all'apice, 43. - Parte delle pioggie meteoriche occultata dal Sole, 44. - Le correnti occultate dal Sole sono principalmente correnti di moto diretto, 45. - Le posizioni dei punti radianti non annunziano alcuna particolare condensazione delle correnti meteoriche sul piano dell'eclittica, 46. - Ostacoli che si presentano allo studio esatto delle variazioni periodiche, 47, 48. - Velocità dei moti relativi, 49. - Velocità reale della caduta delle stelle meteoriche, 50. - Grande differenza in queste velocità di caduta dal massimo al minimo, 51. - Diversità di effetto che ne nasce secondo la direzione in cui la caduta succede, 52, 53. - La proporzione degli aeroliti alle stelle cadenti dev'esser minore dalla parte dell'apice, che dalla parte opposta, 54, 55. - Perchè gli aeroliti siano più copiosi la sera che la mattina, 56. - Perchè non cadono aeroliti in maggior copia nelle epoche solenni d'agosto e di novembre, 57. - Non vi è ragione per supporre agli aeroliti altra origine che alle stelle cadenti, 58.

VI. *Effetti dell'attrazione terrestre sulla caduta delle stelle meteoriche.* — §§ 59-70.

Incontro di una corrente meteorica con la Terra, 59. - Volume del cilindro rappresentante lo scavo fatto dalla Terra nella corrente meteorica, 60. - Effetto dell'attrazione terrestre sulla caduta di una meteora, 61, 62. - Calcolo degli elementi

dell'orbita della meteora relativamente al centro della Terra, 63. - Esempio per la corrente di novembre 1866, 64. - Calcolo dell'attrazione zenitale sui punti radianti, 65. - Valori limiti dell'attrazione zenitale, e necessità di tener conto di essa, 66. - Fino a qual distanza dall'apice è lecito trascurare l'attrazione zenitale, 67. - L'attrazione terrestre aumenta il numero delle stelle cadenti sulla Terra, e ciò in diverse proporzioni nelle varie direzioni, 68. - Aberrazione diurna dei punti radianti, 69. - Effetto dell'atmosfera sull'aberrazione diurna, 70.

VII. *Perturbazioni esercitate dalla Terra o da altri pianeti sul corso delle stelle meteoriche.* — §§ 71-94.

Effetto prodotto dalla Terra sulle meteore che passano a piccola distanza, 71. - Deviazione delle meteore dalla loro direzione, 72. - La velocità relativa non è mutata dalla perturbazione, 73. - Mutazione nella direzione e nella quantità della velocità assoluta, 74, 75. - La Terra disperde le correnti meteoriche secondo direzioni limitate da un cono obliquo, 76, 77. - Massime perturbazioni che la Terra può esercitare sulle stelle di novembre, 78. - Spostamento successivo dei punti radianti delle meteore perturbate, 79. - Stabilità maggiore o minore dei punti radianti, 80, 81. - Massimo effetto che la Terra può produrre sull'orbita parabolica di una stella meteorica qualunque, 82. - Perturbazione esercitata sulle stelle di novembre da Urano, secondo Leverrier, 83. - Difficoltà contro quest'ipotesi, 84, 85. - Calcolo delle circostanze in cui è ammessibile tale perturbazione, 86, 87. - Limiti delle distanze perigee, 88, 89. - Limite superiore del diametro della nube meteorica avanti la perturbazione nell'ipotesi discussa, 90, 91. - Lo stesso calcolo nell'ipotesi che Giove e Saturno siano stati i pianeti perturbatori, 92. - La forma attuale dell'orbita percorsa dalle stelle di novembre è dovuta ad uno di questi ultimi pianeti, 93, 94.

VIII. *Sulla trasformazione della materia celeste in correnti meteoriche.* — §§ 95-134.

Utilità delle considerazioni cosmologiche in questo argomento, 95. - Vari modi di spiegare la connessione fra le stelle meteoriche e le comete, 96. - Natura ed origine delle comete secondo Laplace, 97. - Fenomeni che l'attrazione del Sole produce in una massa molto rara descrivente un'orbita molto allungata, 98-104. - Risultato necessario è la trasformazione della massa in corrente parabolica o quasi parabolica, 105. - Limite della densità che deve avere un ammasso sferico omogeneo di materia affinchè non venga disciolto in corrente, 106. - Cause che aiutano la

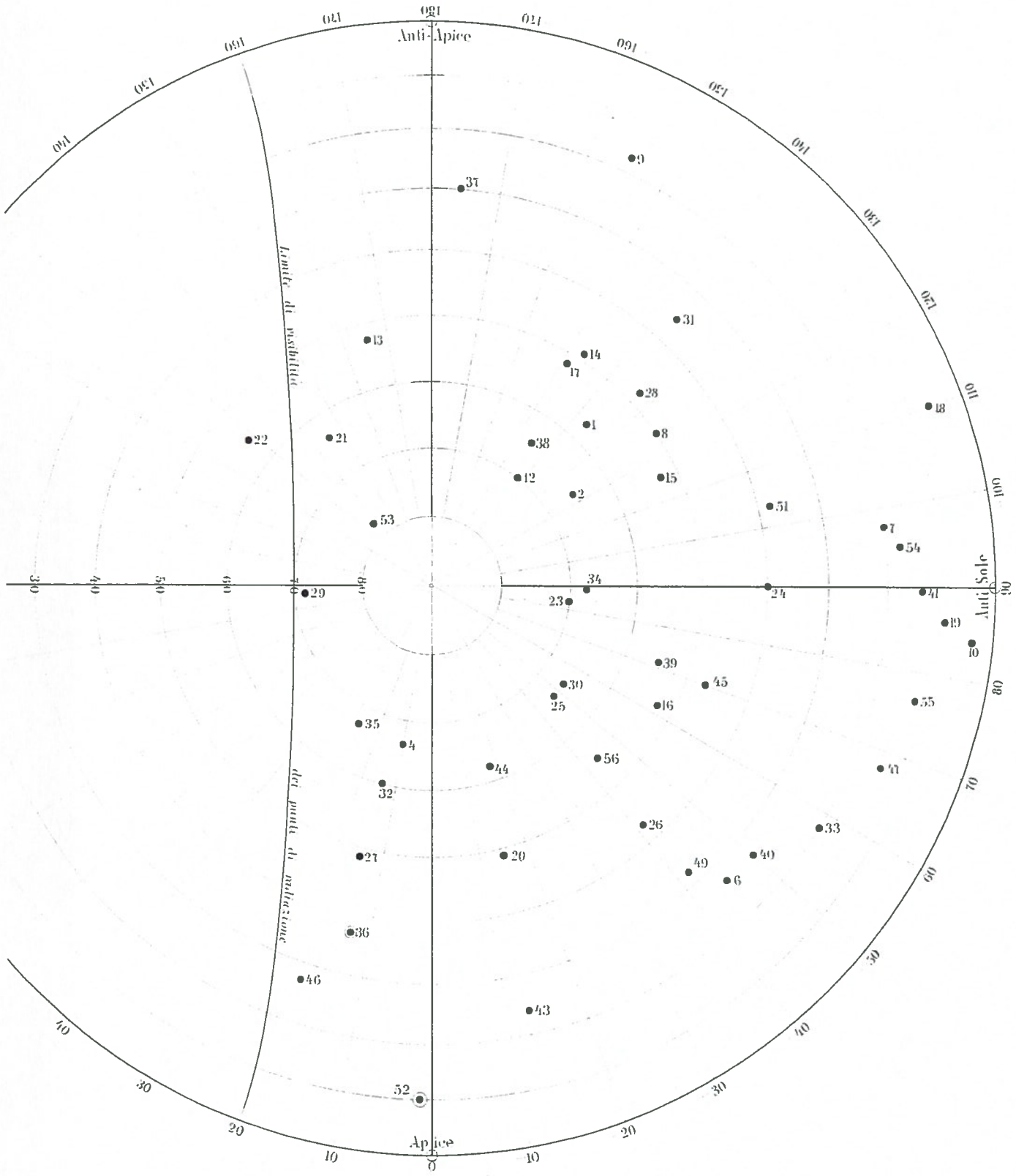
dissoluzione, 107. - Generazione delle correnti annulari e periodiche, 108. - Non sono più numerose che le altre non periodiche, 109. - La diversa condensazione della materia celeste negli spazi stellati basta a render conto della esistenza delle comete semplici, delle comete accompagnate da correnti, delle correnti prive di comete, 110, 111. - Perchè gli ammassi che si trasformano in correnti riescono invisibili, 112. - Ammassi più densi furono osservati in varie occasioni, 113, 114. - Osservazioni della gran cometa del 1618 fatte dal P. Cysat, 115. - Osservazioni di Wendelino, 116. - Diametro di questa cometa o dell'ammasso che ne formava il capo, 117. - Altro esempio tratto dalla cometa del 1652, 118. - Prime osservazioni di König e di Davide Christiani, 119. - Osservazioni di Evelio, 120, - di Malvasia, 121, - di Wendelino, 122. - Riflessioni sulla natura di questo astro, 123. - Sua grandezza e limite presumibile della sua massa, 124. - Natura eccezionale della seconda cometa del 1811, 125. - Le correnti meteoriche sono composte di materia discreta, 126. - Ipotesi del P. Serpieri, 127. - La materia dell'universo è tuttavia probabilmente continua nel suo stato originario, 128. - Come ciò malgrado essa possa dar origine a correnti discrete, 129-132. - Funzioni di queste correnti nell'ordine dell'universo, 133, 134.

IX. *Diverse altre opinioni intorno alla relazione che esiste tra le comete e le correnti meteoriche.* — §§ 135-159.

Che cosa si intenda da noi per dissoluzione delle comete in correnti, 135, 136. - L'emissione nucleare e caudale delle comete è un fenomeno diverso, 137, 138. - Fenomeni dei getti luminosi, 139. - Non ispiegabili che con una forza repulsiva. 140. - Problema fondamentale della formazione delle code cometarie, 141. - Le conclusioni di Bessel circa l'esistenza di una forza repulsiva agente sulle code non sono un'ipotesi, ma il risultato matematico delle osservazioni, 142. - Esempi tratti dalle comete del 1835, del 1858 e del 1680, 143. - I fenomeni delle code attestano l'esistenza di una repulsione o attrazione elettiva, 144. - Al contrario la materia delle stelle cadenti obbedisce alle leggi di Keplero, come quella dei pianeti, 145. - Ipotesi di Erman sulla generazione delle stelle meteoriche, 146, 147. - Generazione delle correnti per l'effetto di un mezzo resistente, 148. - Perchè non probabile, 149, 150. - Le orbite a breve periodo descritte dai corpi non planetari sono dovute alle perturbazioni dei grossi pianeti, 151. - Connessione delle stelle cadenti colla luce zodiacale, 152. - Descrizione esatta delle apparenze che essa ci presenta, 153-155. - La luce zodiacale non è composta di corpi luminosi e fosforescenti, nè di corpi opachi di superficie non pulita, 156-158. - Non è il riflesso d'una nube d'aeroliti, 159.

X. *Alcune notizie storiche.* — §§ 160-165.

Relazione fra le comete e le meteore già indicata da CARDANO e da KEPLERO, 160. - Opinione di HALLEY e di MASKELYNE, 161. - Teoria di CHLADNI, 162. - Speculazioni di REICHENBACH, 163. - Opinioni di BOGUSLAWSKI, ERMAN, NEWTON, 164. - La forma delle orbite meteoriche non può dedursi con certezza dalla variazione diurna, 165.


Anti-Apice
Anti-Sole
Apice
Limite di visibilità
del punto di radiazione

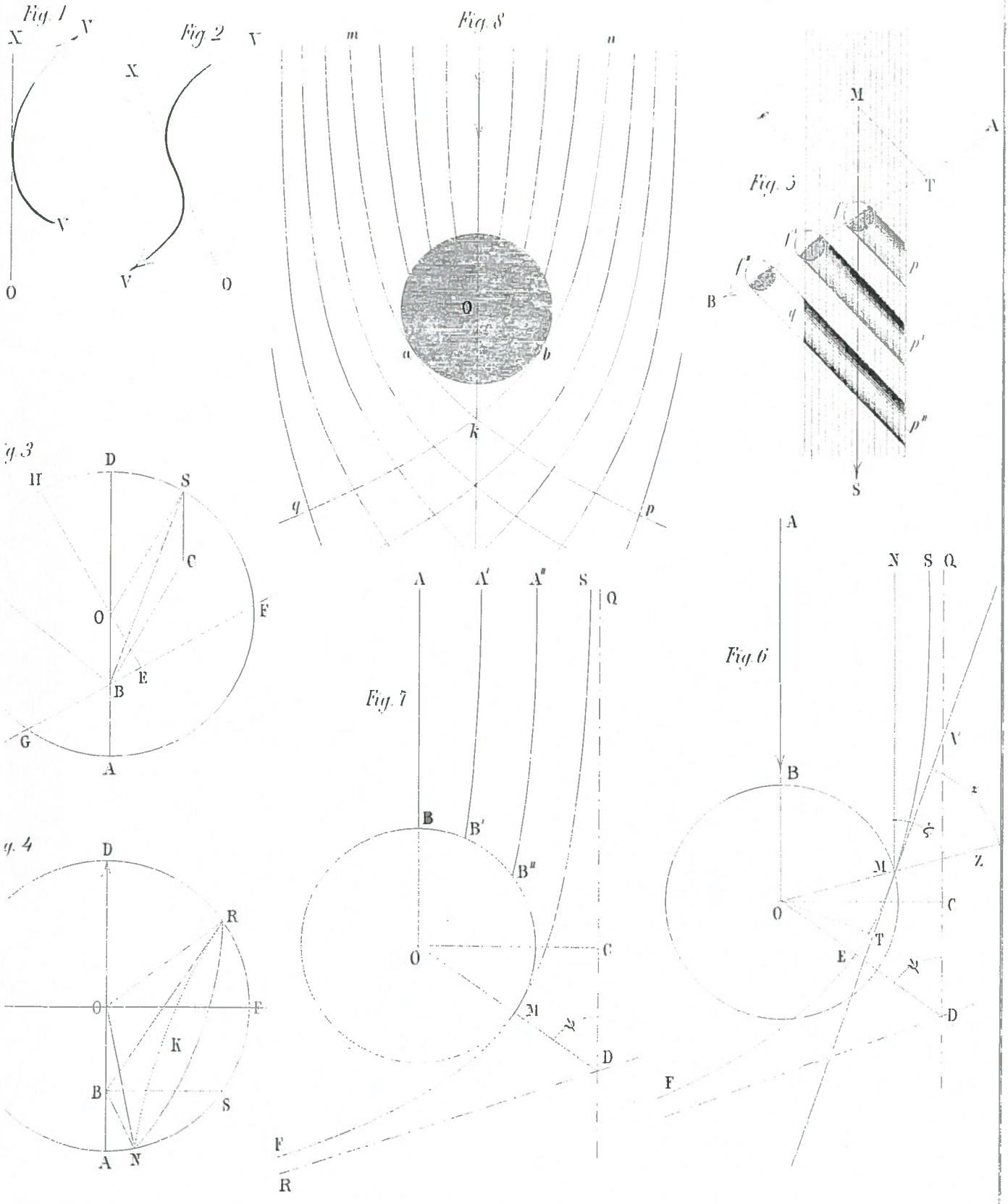


Fig. 1
Fig. 2
Fig. 8
Fig. 5
Fig. 3
Fig. 4
Fig. 7
Fig. 6

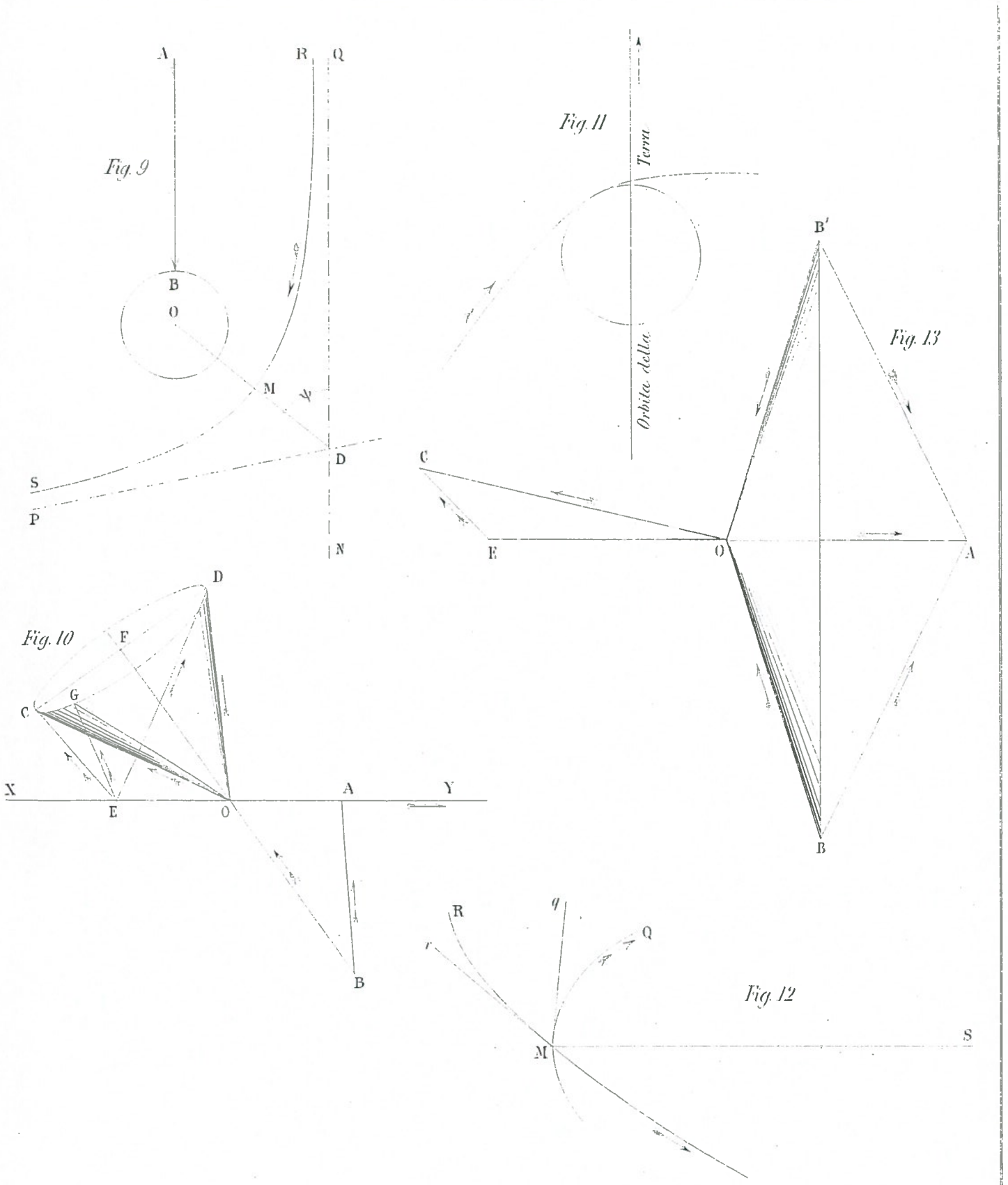


Fig. 9
A
R
Q
B
O
M
D
S
P
N
Fig. 11
Terra
Orbita della
Fig. 13
B'
C
E
O
A
B
Fig. 10
D
F
G
C
X
E
O
A
Y
B
Fig. 12
R
q
Q
r
M
S

Fig. 14.

Nucleus Cometæ maximi anni 1618. Tubo optico a CYSATO observatus.

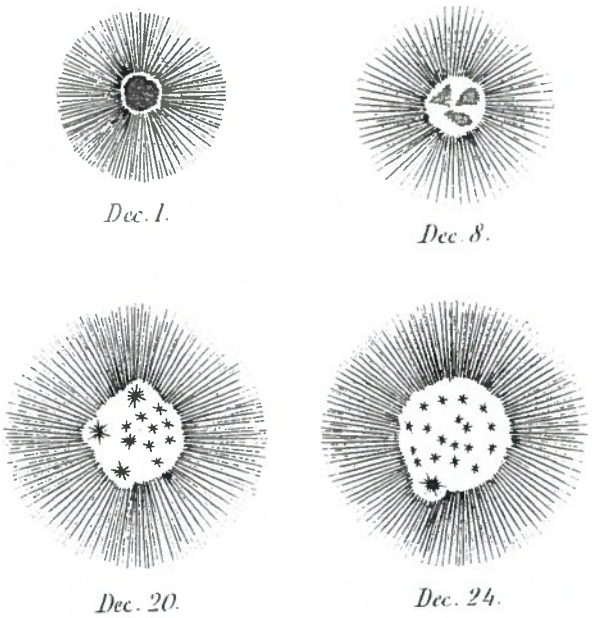


Fig. 15.

Cometa Anni 1652. a Joh. Hevelio die 21. Dec. observatus.

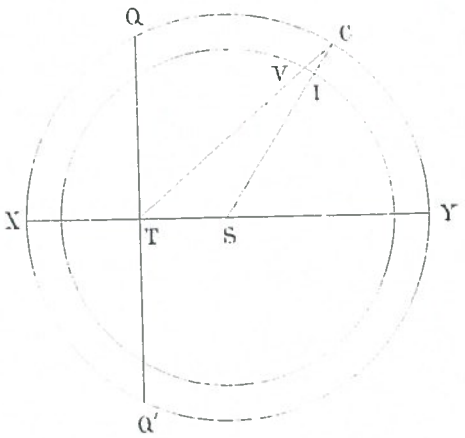



Fig. 16.