MEMORIA POSTUMA (*)

DEL PROFESSORE

DON LIBERATO BACCELLI

FU SOCIO ATTUALE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DELLE SCIENZE

SOPRA UNA MACCHINA DI DIFFRAZIONE

DA LUI INVENTATA

Ricevuta a dì 16 *Novembre* 1844.

Sono ormai sedici anni da che vennero con delicate sperienze e calcoli dal Young, e soprattutto dal Fresnel, determinati esattamente i maravigliosi fenomeni della luce diffratta, e col sistema delle vibrazioni plausibilmente spiegati. Ciò nulla ostante la cognizione la quale si ha di loro, non è divenuta ancora di quella popolarità, che pur meritano la loro bellezza e la loro importanza. Ne' Corsi elementari di Fisica o nulla ne è detto, o solo se ne ricordano i primi fatti notati dal Grimaldi e dal Newton; oppure allorchè se ne parli estesamente, non altro si fa in generale, che riportare le esperienze, i calcoli e le spiegazioni del Fresnel colle stessissime sue parole. Il che se da una parte lascia in forse che quei fatti siano stati intesi, prova dall'altra che non sono stati osservati. E l' osservarli bene, affine di conoscerne la composizione e la misura, non è cosa da tutti senza un appropriato strumento.

(*) Il Professor Baccelli lasciò due scritti su questo argomento, ma il primo è quasi tutto rifuso nel secondo, e perciò si stampa soltanto questo, avendo però levata l' introduzione ed alcuni §§. dal primo che sonosi inseriti in questo secondo; ed essendosi fatte alcune lievi mutazioni di parole nel testo di questo secondo scritto, che, come io posso assicurare, egli aveva destinato di pubblicare nelle Memorie della Società Italiana.

Antonio Lombardi Socio e Segretario.

Le condizioni a ciò richieste non sono di tal natura che si possano agevolmente ottenere. La camera ove i fenomeni hanno a prodursi, deve essere all' intutto oscura. Ad un picciol foro della imposta della finestra dee formarsi un punto lucido, dal quale emani un sottil cono orizzontale di luce; e questo ha da tenersi immobile mercè dell' Eliostata. Gli oggetti verranno posti nell'asse del cono, ora più ora meno vicini al vertice del cono medesimo, e nota con tutta l'esattezza dovrà esserne la posizione. Nell'asse stesso dietro agli oggetti, in ogni posizione di questi è da trovarsi con lenti microscopiche, il vero sito nel quale s' incontrano e s' incrociano i raggi del cono lucido dopo aver oltrepassato gli orli, i fori, le fenditure degli oggetti medesimi. La qual cosa quanto sia lunga e difficile opera, quegli lo sa che siasi provato una volta ad eseguire siffatte sperienze. Rinvenuto che siasi il luogo delle apparenze ottiche, resta a conoscerne la misura e la composizione. E questa ancora è malagevole impresa con mezzi, i quali non godano stabilità. Il posseder pertanto uno strumento che sia pronto sempre all'uopo, che risparmii qualunque altro tentativo, e renda sicuro il ritrovamento delle apparenze ottiche, non può tornare fuorchè utile alla scienza, nè senza gradimento ai curiosi delle sue maraviglie.

Nella seduta della Sezione di Scienze dell' Accademia Reale di Scienze Lettere ed Arti di Modena tenutasi nel Gabinetto Fisico della Università nel giorno 19 di Luglio dell' anno 1834 mostrai fra le altre cose una Macchina, già quattro anni addietro da me immaginata, all' oggetto di osservare e studiare i suddetti mirabili fenomeni della Diffrazione della luce. L'annunzio che diedero i pubblici fogli (1) di questa Macchina di Diffrazione, e l' esserne già state a sua somiglianza costrutte alcune in Firenze dal Prof. Amici (2), hanno destato

(1) *Messaggere Modenese* N. 65, 16 Agosto 1834. *Voce della Verità* 1834.

(2) Il Baccelli qui appose la Nota seguente: « Trovandosi il Prof. Amici in Modena sul principio di questo mese di Novembre, seppi da lui stesso averne egli

in molti il desiderio di conoscerla, a segno che da più parti venni insinuato a divulgarne la descrizione. Quantunque non mi trovassi allora per anco in grado di metterla a luce in quello stato, che io bramava, corredata cioè di figure, che rappresentassero alcuni particolari fenomeni, cui non sarebbe possibile esprimere a parole, non di meno scorgendo l' importanza che alla detta descrizione si è voluto dare dalle colte e gentili persone, e l' utilità che possono aspettarne i coltivatori delle arti per osservare fenomeni difficilissimi a farsi comparire senza un acconcio strumento, io mi diedi vinto al cortese altrui eccitamento. E per procedere con ordine in questa nuova Dichiarazione della Macchina, mi farò ad esporre: 1°. qual fosse la Macchina in principio da me ideata. 2°. le aggiunte e le modificazioni ad essa da me compartite in seguito. 3°. l' uso che se n' abbia a fare a fine di osservare e misurare ad uno ad uno tutti i fenomeni della Diffrazione, e di renderli eziandio più sorprendenti che non siano in loro stessi.

I. Come la Macchina fosse da principio ideata. — La Macchina prima di Diffrazione congegnata da me, è di una facile costruzione. Consiste in un sistema di tubi di cartone annestati gli uni negli altri, come negli ordinarj cannocchiali. Quattro sono i tubi, e di tali dimensioni, che, ove siano estratti fuori, formano un tubo della lunghezza di piedi 3 $\frac{1}{2}$. Il primo tubo, l' esterno, è fermato allo snodamento di un fulcro, a fine di poter dirigere l' asse del sistema al centro del Sole, od al centro della immagine solare riflessa da uno specchio piano. Alla estremità di questo tubo, quella cioè alla quale ne' comuni cannocchiali viene adattata la lente obbiettiva, è applicata invece un' acuta lente oculare. L' estremità poi esterna del quarto ed ultimo tubo, quella cioè che ne' cannocchiali

di già fatte costruire due simili a quella, che a lui mostrai quattro anni sono. In questa occasione ben volentieri mi sono prestato a mostrargli le aggiunte, che alla medesima ho fatte, e a dichiarargli le maniere di preparare alcuni oggetti da osservarsi. Nelle sue mani può certamente questa mia Macchina ricevere la perfezione, di cui è suscettibile. »

porta l'oculare, va fornita di uno scatolino. In questo scatolino può collocarsi una lastra di metallo avente nel mezzo un picciol foro con lente convessa di cortissimo fuoco, ovvero una lastra con fori o fessure più o meno anguste senza lenti, oppure con lenti semi-cilindriche. L'officio delle accennate lastre è quello di fermare alla estremità del tubo indiritto al sole i punti o le strisce della luce, la quale si diffonde per entro al tubo con raggi divergenti. Le interne estremità del secondo e terzo tubo sono altresì provvedute per ciascuna di uno scatolino con suo coperchio a strofinamento, forato nel mezzo a guisa di anello. Gli scatolini di questi due tubi sono eguali, e servono a contenere, a conosciuta distanza dalla oculare e dal punto raggiante, de' prismi o delle lenti, o sì bene degli oggetti di piccolissime dimensioni affidati ad anelli, od a cerchj o lamine di vetro. Laonde posto che venga qualcuno di essi oggetti in uno degli scatolini, e diretto che sia il tubo al sole, qualora si metta l'occhio entro al tubo medesimo, si affacciano subito, e ingrandite, le frange, nelle quali si scompone e si risparge la luce nell'attraversare che fa l'oggetto, o nel raderne il contorno. Oltre a che spingendo in dentro od in fuori il tubo portante l'oggetto, si gode del piacevole spettacolo di vedere colla più grande comodità le variazioni, cui soggiaciono le frange al variare della distanza dell'oggetto dalla oculare, e dal punto raggiante.

Tale è in breve il primo apparecchio, che io mi procacciai da me stesso all'uopo di osservare i fenomeni della Diffrazione. Del rimanente il numero dei tubi può essere più di quattro: ma in questo caso costruendoli, come io feci, di cartone, è ben difficile che, tratti fuori l'un dall'altro, si conservino a dovere centreggiati.

II. Aggiunte e modificazioni. — Molte sono le aggiunte, e le modificazioni, che ho di poi fatte a questa Macchina. Quella che ora si è costrutta pel Gabinetto fisico della Università (di Modena), è un sistema di sette tubi di metallo, che, tratti fuori l'un dall'altro fin dove si può, compongono

un tubo ben diritto della lunghezza di sei piedi. Ogni tubo dividesi in pollici e linee, e la scala d' ognuno ha cominciamento dalla estremità esterna. Il primo tubo, che è l'esterno, lungo pollici quattordici, è stabilmente fermato ad un regolo quadrato di ottone, che di lunghezza ha piedi tre, partito già in pollici e linee. Questo regolo è impiantato con viti nel noto congegno meccanico, mediante il quale ottengono direzione e stabilità i telescopj in qual pur siasi punto di un piano verticale, e in qualunque azzimutto. Un piedistallo di marmo sorregge il tutto. Il regolo ha nel mezzo della total sua lunghezza un cavo rettangolare, entro il quale una riga dentata, minore per metà della lunghezza del regolo, cammina scorrevole pel girare di un rocchetto. Alla riga dentata è fermata con anello l'estremità del secondo tubo; per il che volgendo il rocchetto per un verso, questo secondo tubo insiem con quelli, cui rinserra, viene cavato fuori dal primo tubo, nel quale colla stessa facilità è fatto rientrare volgendo il rocchetto in un senso opposto. Non così addiviene degli altri tubi, poichè questi si estraggono fuori a mano, e a mano pure s' introducono nel secondo tubo, più o meno quanto il bisogno lo richiegga. Alla interna estremità dei tubi secondo, terzo, quarto e quinto sono applicati altrettanti scatolini di eguale diametro destinati a contenere gli oggetti, che dalla luce saranno attraversati. Il secondo tubo eccede la lunghezza del primo di un $\frac{1}{2}$ pollice in circa; cosicchè quando il secondo è nascosto entro il primo tubo, il coperchio del suo scatolino sporge fuori della estremità del tubo, dal quale è coperto. Con altro tubo corto, ch' entra nel primo a strofinamento, rimane chiusa l'estremità di esso primo tubo; notandosi inoltre che alla base del tubo corto è assicurato un congegno micrometrico atto a misurare il movimento di $\frac{1}{1760}$ di linea. Apresi in mezzo al congegno un foro, cui si adattano lenti oculari di forza diversa d' ingrandimento, ed anche un microscopio composto. Accennerò due vantaggi che apporta con sè questa costruzione. Il primo è di poter facilmente sostituire

un oggetto all'altro. E di vero basta che si levi il tubo corto, e quindi, aperto lo scatolino, si cambii con un altro l'oggetto contenuto. Il secondo vantaggio è di potere osservare il vario aspetto delle frange a varie distanze dall'oggetto, cominciando dall'istante, in cui la luce lo attraversa sino al punto che le frange col loro dilatarsi divengono sì deboli che non ben si discernono. La qual cosa accade perchè quando il secondo tubo è tutto rinserrato nel primo, l'oggetto in allora trovasi nel fuoco della lente oculare; e quando l'oggetto stesso si allontana, in allora tutti i punti, ne' quali si formano le frange, passano successivamente pel fuoco di essa lente. Il terzo tubo, oltre allo scatolino, ha lateralmente verso l'estremità interna un' apertura rettangolare, il piano della quale è perpendicolare all'asse del tubo. Sì fatta apertura serve a ricevere laminette di metallo, forate nel mezzo, portanti oggetti diversi. Le laminette sono di tali dimensioni, che, poste dentro il detto tubo, si trovano inserite alla sua superficie cilindrica; e così può il tubo medesimo scorrere liberamente entro il tubo secondo. Questa modificazione è stata ideata a fine di rendere agevole la surrogazione di un oggetto ad un altro, risparmiando altresì l'incomodo di estrarre fuori il tubo. L'ultimo tubo termina esteriormente in uno scatolino, ove si possono adattare lenti circolari o semicilindriche di cortissimo fuoco, e tenui fori o strette aperture allo scopo di avere un punto od una striscia lucida, la quale spanda entro il sistema de' tubi un cono od una piramide di luce. Per dirigere poi con facilità e sicurezza l'asse del tubo al centro del sole, o della immagine sua, sta infilzato vicino alla oculare un piano circolare di cartone annerito. Allorchè sopra di questo piano l'ombra circolare del tubo è concentrica al tubo stesso, lo strumento è diretto. Il piano di cartone è di una dimension tale, che difende coll'ombra sua la testa dell'osservatore dalla sferza solare.

III. Uso della Macchina. — Dopo ciò si comprende altro non essere lo strumento descritto che una lunga, stretta e

diritta Camera perfettamente oscura e portatile. Il foro situato all' estremità dell' ultimo tubo corrisponde a quello, che suol praticarsi nell' imposta della finestra di una stanza oscurata. Le estremità poi de' tubi forniti di scatolini sono variabili di sito, perchè diano agio a collocarvi, come torni meglio, gli oggetti. L'estremità del primo tubo appresta il luogo, a cui deve appressarsi l' occhio dell' osservatore per vedere le apparenze della luce, dopo che questa abbia attraversati gli oggetti.

Chi ha pratica di ottiche esperienze, e segnatamente chi vuole con diligenza considerare i bei fenomeni della Diffrazione, sa quanta cura si richiegga per oscurar bene la camera; quanto incomodo si provi, e quanto tempo si perda in disporre convenevolmente gli oggetti, in variarne le distanze, in rinvenire dietro ad essi il sito, in cui succede l'unione de' raggi, e in misurare le distanze tra gli anelli e le frange. Queste difficoltà rimangono superate coll' uso dello strumento, che ho descritto. Esso è così fatto che può adoperarsi tanto in camera illuminata, quanto in aperta campagna. Basta che si ponga l' oggetto in uno degli scatolini, estrarre più o meno fuori del primo il tubo secondo a mano, oppure mercè il lento moto della riga dentata, perchè l' oggetto resti opportunamente collocato, e subito si conosca quanto sia distante dalla oculare, e quanto dal centro di luce; e perchè si possa cambiare a piacimento l'una e l'altra distanza, non meno che osservare e misurare le variazioni, alle quali soggiaciono le apparenze luminose al mutare delle dette distanze. L'oggetto e le frange non sortono mai dalla linea retta, la quale congiunge il centro della oculare col centro raggiante.

Benchè questa Macchina di Diffrazione vada fornita delle esposte qualità, io non ho la presunzione, non dico di preferirla, ma neanche di eguagliarla a quella ideata e costrutta dal celebre Fraunhofer. Pure se colla mia Macchina non aspiro a raggiugnere tanta precisione nelle misure, vorrei nudrire lusinga ch' essa non lasciasse cosa alcuna da desiderare per parte della facilità, di procurare cioè la pronta successiva

manifestazione di tutti i fenomeni della luce diffratta, e per parte della comodità, di osservarli cioè, di variarli e determinarli in ogni loro aspetto diverso. A prova di che toccherò brevemente della Interferenza. Di questo fenomeno, che in oggi è fondamentale dell'Ottica, e che si manifesta ogni qual volta sotto certe condizioni luce s' immischia a luce, si ha speditamente una prova diretta con tutte le sue particolarità, ove si ponga in uno degli scatolini de' prismi triangolari, piramidali, conici di cristallo ad angoli ottusissimi in modo che la faccia opposta all'angolo ottuso sia perpendicolare all' asse del cono lucido formato dal punto raggiante entro lo strumento. In grazia della forma di tali corpi i raggi della luce nell'escire da loro piegano gli uni verso gli altri, s' incontrano e s' incrocicchiano. Il prisma triangolare offre una serie di frange rettilinee perpendicolari alla retta, che unisce le due immagini del punto o linea luminosa. Il prisma piramidale porge tante serie incrociate di frange rettilinee, quanti sono i suoi spigoli. Le frange del prisma conico appajono circolari. Il prisma triangolare, di cui fo uso, ha l' angolo sì ottuso che appena si discerne.

Sia S Fig. I. un punto lucido, formato p. e. da una lente di cortissimo fuoco applicata ad un tenue foro dell' imposta della finestra di una camera oscura.

Ad una certa distanza da questo punto sia un prisma triangolare di vetro ABC con angolo B ottusissimo: la faccia piana AC del prisma opposta all'angolo B sia volta al punto S in modo che l'asse SO del cono lucido ISL sia perpendicolare ad essa faccia AC, e passi per l' angolo B.

È chiaro che di tutti i raggi divergenti, che partono dal punto S, ed attraversano il prisma triangolare, e sono egualmente lontani dall'asse SO, ve ne saranno due, p. e. SF ed SG, i quali rifratti si uniranno nel punto P dell'asse SO, punto che suppongo sul piano MN perpendicolare al detto asse.

Tutti i raggi ugualmente lontani dall'asse, ma compresi tra li due SF ed SG si uniranno al di là del piano MN in

punti dell'asse tanto più vicini al punto P, quanto più lontani saranno dall'asse. Consideriamo fra questi i soli due SD ed SE, i quali rifratti si uniscono nel punto O.

Tutti i raggi ugualmente lontani dall'asse, e che sono al di là dei due SF ed SG p. e. i raggi SI ed SL si uniranno nel punto X dell'asse compreso tra il piano MN ed il prisma: ma prolungati incontreranno il raggio rifratto IT, il raggio ET, ed il raggio rifratto LQ, il raggio DQ nei punti T, Q del piano MN.

Estendendo questa costruzione si determinano altri punti d'incontro sul piano MN dei raggi, che rifratti piegano da una parte e dall'altra.

Ora se la luce, che viene dal punto S, è omogenea, rossa p. e. nei siti P, Q, T del piano MN, si osservano delle strisce, o frange rosse, ed in mezzo ad esse delle strisce nere; e così alternativamente di qua e di là dai siti T e Q altre simili frange, sino a sette od otto per parte del punto P.

Se la luce è bianca, le strisce sono tinte dei colori prismatici, sempre per altro più languide a misura che si allontanano dal sito di mezzo P, nel quale la striscia è la più brillante di tutte.

Queste strisce sono evidentemente prodotte dall'incontro de' raggi rifratti sul piano MN. In fatti intercettando con un riparo opaco i raggi dal mezzo del cono BSC, le strisce spariscono interamente, e lo spazio che esse occupavano, risplende di luce continua alquanto debole. Questo fatto prova dunque che a produrre le strisce colorate, ed oscure è necessario che luce si aggiunga a luce.

Allorchè il prisma sta discosto dal punto luminoso pollici (1) e dall'occhio pollici (2) con una oculare del fuoco di tre linee, si vedono tre belle frange colorate di qua e di là dalla frangia di mezzo, che è biancastra, aventi la larghezza di quasi una

(1) Il numero dei pollici manca nell' autografo.

(2) Idem.

linea. A minore distanza dalla oculare le frange sono di maggior numero, ma di minore larghezza. Ponendo in un altro scatolino, o prima o dopo il prisma, un vetro colorato, p. e. rosso, le frange sono alternativamente rosse e nere, e di maggior numero che con luce bianca. Con vetro rosso le frange sono più larghe che con vetro bleu. Per assicurarsi che le frange siano prodotte da luce aggiunta a luce, basta mettere in uno scatolino un diaframma opaco della forma di un semicerchio, e girare il tubo, nel quale è posto, in modo che il diametro del diaframma sia parallelo allo spigolo del prisma triangolare. In questa posizione il diaframma intercettando i raggi lucidi da un lato, le frange spariscono, quantunque per l'altro lato i raggi continuino a passare. Al diaframma opaco sostituendone uno trasparente, come sarebbe una lamina di mica, si produce il fenomeno dello spartimento delle frange osservato dall'Arago. Dall'altro lato della lamina le frange si vedono spostate; e se il diaframma è grosso, come una lastra ordinaria di vetro, le frange si spostano tanto che si dileguano. Se poi il diaframma, in vece di essere mezzo, sia intero, le frange si spostano, ma non si dileguano. Collocando in uno scatolino due prismi triangolari co' loro spigoli incrociati, anche le frange s'incrociano senza confondersi. Il comparire per la stessa luce omogenea la larghezza delle frange in ragione inversa dell'angolo, sotto il quale i raggi s'incontrano: il produrre questi raggi il *maximum*, od il *minimum* di splendore, quando s'incontrano dopo avere percorsi degli spazj, la cui differenza è un moltiplice numero di volte pari o dispari di metà della quantità di differenza degli spazj percorsi da' raggi, che si uniscono nel mezzo della frangia contigua a destra od a sinistra della centrale: l'essere il cammino delle frange iperbolico: queste ed altre particolarità della Interferenza si sperimentano, come agevolmente si comprende, col variare e misurare le distanze del prisma dalla oculare o dal punto raggiante, o da quella o da questo al tempo stesso, e col prendere, mediante il Micrometro, la misura della larghezza delle frange.

Il complesso degli accennati fenomeni tenterò di spiegarlo colla seguente figura.

S è il punto raggiante Fig. II., *AB* le estremità del corpo opaco. Dai punti *S*, *A*, *B*, come centri, si descrivano circoli aumentando sempre il raggio della stessa quantità, che suppongo eguale alla lunghezza di $\frac{1}{2}$ ondulazione. I circoli in linee piene rappresentano i nodi in ciascun sistema della ondulazione, e i circoli punteggiati i ventri. Le intersezioni dei circoli di diversa specie danno i punti di discordanza completa, e perciò i luoghi più oscuri delle frange. Le curve sono le iperbole che formano questi punti d'intersezione. L'incontro di queste iperbole sul cartone, sopra il quale cade l'ombra, determina il mezzo delle frange oscure. Le iperbole *F*, *F*, *F* etc. danno le frange esterne; le iperbole *f*, *f*, *f* etc. le interne del primo, secondo, terzo etc. ordine.

Apparisce dalla figura perchè l'ombra contenga tante più frange esterne, quanto più si riceve prossima al corpo opaco, od al filo.

È facile spiegare in questa teoria la colorizzazione delle frange. I raggi dei differenti colori essendo prodotti da ondulazioni luminose di lunghezze diverse, come è naturale di concludere dal fenomeno degli anelli colorati, i punti di pieno accordo e di completa discordanza sono in conseguenza più o meno ravvicinati, secondo la lunghezza di queste ondulazioni.

I raggi violetti, di cui le ondulazioni sono le più piccole, producono perciò frange le più strette, ed i raggi rossi le più larghe, siccome torna facile l' assicurarsene direttamente col far cadere alternatamente sulla lente o sul picciol foro, che forma il punto luminoso, raggi rossi e raggi violetti. Le frange oscure e luminose prodotte dai raggi di specie differenti, avendo tutte larghezze diverse, si concepisce che la loro sovrapposizione non può essere completa, e deve lasciare delle tracce sensibili di colorizzazione.

I raggi, il di cui incontro produce nell'interno dell'ombra le frange oscure del primo ordine non differendo fuorchè di

$\frac{1}{2}$ ondulazione, le intersezioni delle ondulazioni rosse e delle ondulazioni violette si trovano quasi alla medesima distanza da CD, ed i colori si confondono sensibilmente. Nell' orlo esterno delle frange del secondo ordine, ove i circoli, che s' incrociano, differiscono di un' ondulazione e $\frac{1}{2}$, i colori cominciano a separarsi. Così divengono più apparenti nelle frange del terzo ordine, e si separano anche di più in quelle del quarto ordine. In fine le frange dei diversi ordini si sovrappongono le une alle altre, e terminano col confondersi: il che si osserva allorquando il filo, od il corpo opaco è assai largo, ovvero allorquando si riceve l' ombra così vicino, che contiene molte frange.

Nella stessa maniera si può render ragione della colorizzazione delle frange esterne, e spiegare perchè non se ne ottiene fuorchè un piccolissimo numero, e perchè quanto più sono esse di un ordine elevato, tanto più si allontanano dal corpo, e più per conseguenza i raggi piegati s' indeboliscono.

L' ombra di un corpo rischiarato da un punto luminoso si estende al di là delle tangenti condotte dal detto punto alla superficie del corpo: se ne conchiude che la riflessione apporta un ritardo di $\frac{1}{2}$ vibrazione nel progresso delle onde luminose. In fatti se il movimento non fosse ritardato sull' orlo del corpo, vi sarebbe accordo perfetto fra le ondulazioni dei raggi diretti, e quelle dei raggi riflessi nel piano tangente, vale a dire nel luogo più oscuro delle frange.

Fig.ra I.

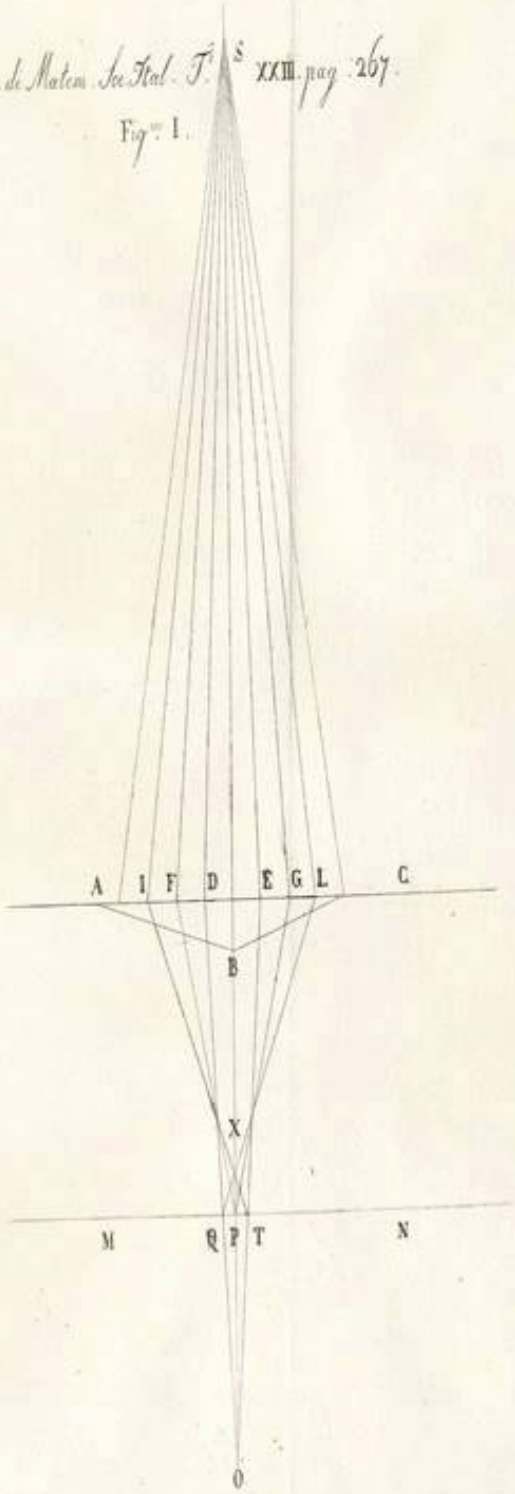
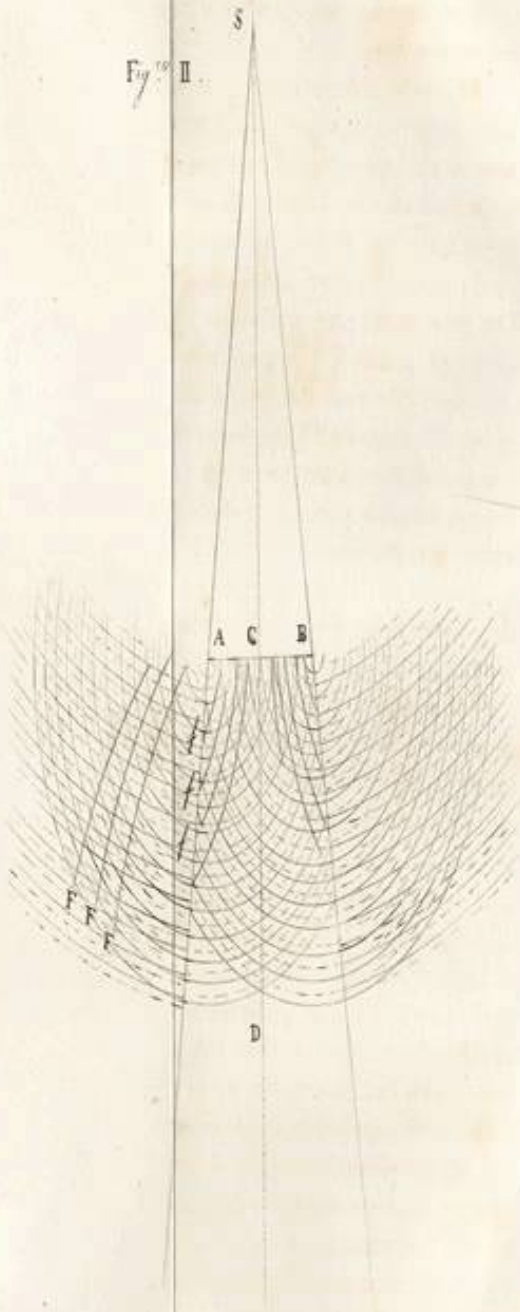
Fig.ra II.