



PAGINE ITALIANE DI OTTICA

In occasione dell'Anno Internazionale della Luce, IYL 2015, Il Nuovo Saggiatore pubblicherà in ogni numero del 2015 pagine di scienziati italiani che contribuirono allo sviluppo delle scienze della luce.

FRANCESCO MARIA GRIMALDI: LA DIFFRAZIONE DELLA LUCE

Francesco Maria Grimaldi (fig. 1) nacque a Bologna il 2 aprile 1618 ed ivi fu gesuita, operò e si spense il 28 dicembre 1663. Oltre che filosofo, fu, ed è quello che qui ci interessa, un accorto sperimentatore, come altri gesuiti bolognesi dell'epoca, Riccioli in particolare. Il suo maggior contributo alla fisica fu la scoperta della diffrazione della luce, fenomeno al quale dette anche il nome.

Gli esperimenti sono riportati nella prima proposizione dell'unica sua opera uscita a stampa, postuma nel 1665, ed a cui aveva lavorato dal 1655. È usualmente citata per brevità come "De lumine", ma il suo titolo completo è "Physico-mathesis de lumine, coloribus, et iride". L'opera, di notevole mole, consiste di due libri con 60 proposizioni il primo, 6 il secondo.

Fin dal frontespizio e dal proemio, l'autore dichiara trattarsi di una tesi fisico-matematica sulla luce, i colori, l'arcobaleno ed altre questioni connesse, in due libri, il primo dei quali descrive nuovi esperimenti deducendone argomenti in favore della sostanzialità della luce, mentre nel secondo vengono respinti gli argomenti del primo e l'accidentalità della luce viene dichiarata probabile. La teoria aristotelica voleva infatti che la luce non fosse sostanza, ma accidente, cioè proprietà di un'altra sostanza. Si comprende subito quindi come l'atteggiamento sia ancora dogmatico, la volontà di dimostrare una tesi a priori, piuttosto che scientifico nel senso galileiano. L'opera tuttavia contiene le descrizioni accurate degli esperimenti, questi sì di fisica, che lo condussero alla scoperta e che qui riportiamo. Quanto all'interpretazione, Grimaldi, come ben noto, non pervenne all'ipotesi ondulatoria. Si comprende però come egli rifiutasse quella corpuscolare e pensasse alla luce come ad un fluido in movimento velocissimo. Le sue linee di flusso, incontrando un ostacolo, si allargano e si separano, diffrangono (diffrangitur) attorno ad esso.

La teoria ondulatoria doveva attendere Christiaan Huygens (1678) e, soprattutto, Thomas Young (1801) e Augustin-Jean Fresnel (1815). Infatti, né Hooke né Newton, pur a conoscenza dei risultati di Grimaldi, il primo direttamente, il secondo tramite H. Fabri, ne diedero la corretta interpretazione. Particolarmente importanti sono le osservazioni di Grimaldi delle frange nell'ombra. Centocinquanta anni dopo, Fresnel scriverà: "Per molto tempo mi sono fermato sulle frange esterne che sono più facili da osservare, senza occuparmi delle frange interne. Quest'ultime sono quelle che mi hanno infine condotto alla spiegazione del fenomeno" (A.-J. Fresnel. "Premier Mémoire sur la Diffraction" (1815) §15). Comprese che le frange nell'ombra di una sbarretta sottile sono dovute all'interferenza delle onde provenienti dai suoi due bordi e sono quindi simili a quelle prodotte dalla doppia fenditura di Young. Lo si vedrà in fig. 5b.

Diciamo oggi ai nostri studenti che, se vogliono avere successo in un esperimento di interferenza, o diffrazione che è la stessa cosa, debbono prima stabilire che le necessarie condizioni di coerenza sia spaziale sia temporale siano soddisfatte. Grimaldi ovviamente non poté farlo. Si può presumere che abbia supplito, oltre che con l'ingegno, con la pazienza del frate.

La luce del Sole ha uno spettro troppo ampio, ma lo si restringe a sufficienza se si percepiscono i colori. Ad esempio osservando il rosso, o il blu, la larghezza efficace di banda specifica è dell'ordine del 10%, che è sufficiente. Si noterà come Grimaldi continuamente insistesse sull'importanza che hanno i colori per la visibilità delle frange.



Fig. 1 Ritratto postumo. Olio su tela. XVIII secolo. Università di Bologna. Rettorato, rif. inventario QUA 282.

La visibilità delle frange, di un dato colore, è determinata dal grado di coerenza spaziale, che dipende, a sua volta, data la lunghezza d'onda e distanza di osservazione, dal diametro della sorgente. Per distanze dell'ordine del metro la sorgente non può essere più larga di pochi millimetri. Grimaldi, genialmente, usa un forellino nella finestra chiusa di una stanza oscura, illuminato da una luce solare intensa. Le dimensioni sono riportate nel secondo esperimento, 4 o 5 mm. Dovevano essere uguali, o minori, nel primo.

Con forellini così piccoli, l'intensità del fascio di luce è molto piccola. Conviene valutarne l'ordine di grandezza. Con il Sole allo zenith, in una giornata molto limpida, l'intensità luminosa al suolo nel visibile non supera 470 W/m^2 . L'area del foro di $10\text{--}20 \text{ mm}^2$ ne trasmetterà, in cifra tonda, al massimo $5\text{--}10 \text{ mW}$, in tutto lo spettro e quindi solo $2\text{--}4 \text{ mW}$ nel rosso, $1\text{--}2 \text{ mW}$ nel blu. Tanto è disponibile per vedere le frange. Si intende benissimo perché Grimaldi insista sulla necessità di osservare d'estate col cielo completamente sereno.

In collaborazione con Sara Magrin e Roberto Temporin del Dipartimento di Fisica e Astronomia Galileo Galilei dell'Università di Padova, abbiamo cercato di riprodurre, seguendo il suggerimento di Padre Grimaldi alla fine del paragrafo 16, ma con semplici metodi moderni, alcuni aspetti delle osservazioni di Grimaldi. Abbiamo usato un LASER a HeNe allargandone il fascio al diametro di circa 5 cm , con un collimatore con filtro spaziale (pinhole) per pulire il fronte d'onda, ed una lente, di non alta qualità, divergente di $\sim 40 \text{ D}$. Abbiamo inserito nel cono di luce risultante diversi ostacoli e fotografato le immagini raccolte su di un foglio di carta bianca posto a circa un metro dall'ostacolo. La prossima estate, in qualche giornata molto luminosa, qualche lettore potrebbe divertirsi a vedere le immagini con un foro nella finestra come sorgente.

Dopo aver ricordato i fenomeni della riflessione e della rifrazione nei paragrafi 1–6, Grimaldi discute i suoi esperimenti sulla diffrazione.

Da "Physico-Mathesis De Lumine Coloribus et Iride", Ex Typographia Haeredis Victorij Benatij, Bononiae 1665.

PROPOSITIO I.

Lumen propagatur seu diffunditur non solum Directè, Refractè, ac Reflexè, sed etiam alio quodam Quarto modo, DIFFRACTE'.



Experimentum primum

7. Aperto in finestra foraminulo perquam parvo AB , introducatur per illud in cubiculum, alioqui valde obscurum, lumen Solis Caelo serenissimo, cuius diffusio erit per conum, vel quasi conum $ACDB$ visibilem si aër fuerit refertus atomis pulvereis, vel si in eo excitetur aliquis fumus. Huic cono inseratur aliquod corpus opacum EF , in magna distantia a foraminie AB , et ita ut saltem unum extremum corporis opaci illuminetur. Excipiatur deinde in tabella candida, vel in folio chartae albae super pavimento extensae, conus praedictus, seu basis eius lucida CD , cum umbra GH , quam projicit opacum EF insertum cono, et illuminatum in utroque sui extremo E et F : quae tamen umbra secundum leges Opticas non erit exactissime praecisa, et terminata in uno alio puncto G versus unam partem et in uno puncto H versus aliam: sed ratione foramine AB , aliquam tandem latitudinem habentis, simulque ratione Solis in latum extensi, aliave de causa erit confinium umbrae aliquo modo incertum propter penumbram quadam, et cum sensibili decremento, seu ut vocant exfumatione luminis IG inter certam umbram, et nitidum lumen ad unam partem praedictae basis, et per spatium HL ad aliam partem.
8. Sed quod valde notandum est, apparebit tota umbra IL insingniter maior de facto, quam debuerit esse, si supponatur rem totam agi per lineas rectas ab extremis A, B , per utrunque extremum E, F productas, ut in figura hic posita, et maior quam ipsa deducatur per calculum ex datis distantijs BF et FI , nec non mensuris AB et EF , ac denique angulis omnibus necessarijs pro solutione triangulorum in figura exhibitorum, ut nos re ipsa non semel experti sumus.

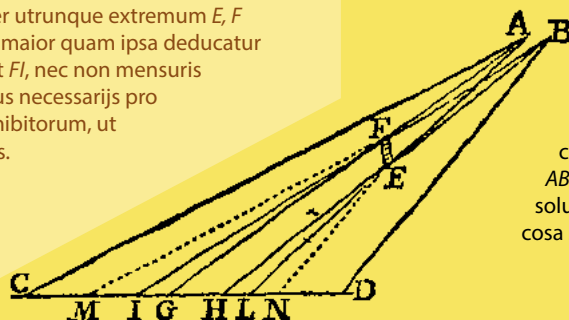
Proposizione 1

La luce si propaga o diffonde non solamente Direttamente, per Riflessione, e Rifrazione, ma anche in un altro quarto modo, per DIFFRAZIONE

Primo esperimento

7. Aperto in una finestra un forellino piuttosto piccolo AB , si faccia entrare per esso in una stanza, peraltro ben oscurata, la luce del Sole in un cielo serenissimo, la diffusione della quale avverrà in forma di cono o di quasi cono $ACDB$, reso visibile dalle polveri presenti nell'aria oppure alzandovi del fumo. Si intercetti questo cono con un qualche corpo opaco EF , ad una grande distanza dal foro AB , in modo che almeno un estremo del corpo opaco sia illuminato. Si intercetti quindi con una tavoletta candida, oppure con un foglio di carta bianca steso sul pavimento, il detto cono, cioè la sua base luminosa CD , con l'ombra GH che proietta l'ostacolo EF inserito nel cono, illuminato sino a ciascun suo estremo E ed F . Tuttavia l'ombra non sarà esattamente precisa secondo le leggi dell'ottica, e terminata in un punto G verso una parte, e in un altro punto H verso l'altra: ma in ragione del foro AB , che ha una certa larghezza, e similmente in ragione dell'estensione laterale del Sole, o per altra causa, il confine dell'ombra sarà in qualche incerto presso una certa penombra, e con un sensibile decremento, o, come dicono, sfumatura, della luce tra l'ombra certa e l'illuminamento nitido nello spazio IG da un lato della base predetta, e per lo spazio HL dall'altro lato.

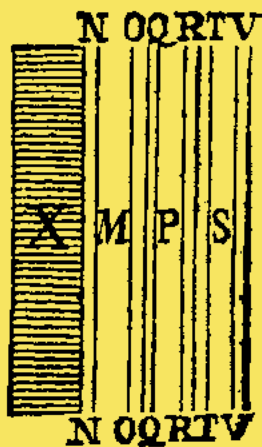
8. Ma, cosa importante da notare, l'ombra totale IL apparirà nei fatti notevolmente maggiore di quanto dovrebbe se si suppone che tutto avvenga per linee rette tirate dagli estremi A, B per ciascun estremo E, F , come nella figura qui mostrata, e maggiore di quanto si deduca col calcolo dalle date distanze BF e FI , e dalle misure AB e EF e infine dati tutti gli angoli necessari per la soluzione dei triangoli mostrati in figura, della qual cosa siamo esperti.



Continuando con la sola traduzione

Quindi (per darne un breve cenno), dati del triangolo AFE i tre lati, vi si collega l'angolo A con la trigonometria, col quale nel triangolo AGL oltre al lato AG , e anche AL con l'angolo G osservato, si ottiene GL . Quindi nel triangolo AFB , che si può assumere isoscele, dati tre lati si conosce l'angolo F , e l'angolo di ugual vertice e ad esso uguale IFG : con questo nel triangolo IGF assieme alla distanza FI e avendo osservato l'angolo I , si ottiene la retta IG da aggiungere alla già trovata GL , per ottenere infine la base cercata IL , quanta dovrebbe essere, se tutta la luce diffusa nel cono luminoso interrotto dall'interposto ostacolo EF si propagasse per linee rette. Poiché questi triangoli sono molto acuti, saranno necessarie le tavole estese a grande raggio, ma la loro soluzione non è impossibile. Quindi poniamo che l'ombra calcolata come sopra supponendo per linee rette, sia nella figura IL e l'ombra che appare all'osservazione sia MN .

9. Si osservi inoltre che nella parte luminosa della base CM e ND , illuminata nitidamente e fortemente, si spargono e si separano alcuni tratti ovvero frange (*series*) di luce colorata, in modo che in ogni frangia la luce è nel mezzo molto pura, e sincera, agli estremi ha colori, cioè blu nell'estremo più vicino alla stessa ombra MN , e rosso all'estremo più lontano: ma queste frange luminose possono dipendere dalle dimensioni del foro AB , dato che non apparirebbero se quello fosse maggiore, ma non ne sono determinate come non lo sono dal diametro del Sole, come risulterà dal seguito.
10. Si osserva ulteriormente che i detti tratti, o frange di luce colorata, si estendono da M verso C [e, ugualmente detto, da N verso D] così che la prima è più larga della seconda, e questa più larga della terza (né accade mai che se ne vedano più di tre), e che in esse decresce l'intensità luminosa e dei colori, nel medesimo ordine nel quale esse recedono dall'ombra. Sono esse sempre più larghe, quanto più distanti dall'ostacolo che proietta l'ombra vengono raccolte dalla tavoletta candida, e quanto più questa viene inclinata rispetto alla radiazione solare. Cosa che la ragione stessa richiede, perché sono disegnate dai raggi che sono parte del cono luminoso, e che più e più si disgiungono tra loro quanto più a lungo procedono.
11. Forse ci sarà qualcuno che non vorrebbe riconoscere, per qualche difetto di attenzione in questa osservazione, le dette frange essere frange luminose, come abbiamo affermato, ma sostenere fermamente che si debbano dire piuttosto frange di ombra, perché non percepisce sufficientemente



quei colori quasi oscuri, che dicemmo apparire ai lati illuminati delle frange luminose. Per spiegare ciò più chiaramente, nella seguente **figura** vicino all'ombra X proiettata dall'ostacolo opaco, come sopra, e terminante sulla tavoletta, o foglio di carta pulita, sono rappresentate tre di quelle frange luminose ciascuna composta di un fascetto di tre. Sia NMO la prima e più larga frangia, nel cui mezzo sia M , di tutte la fascia più larga e luminosa, che non mostra alcun colore, ma è contenuta da due minori, e colorate, delle quali una N , che è più prossima all'ombra, è blu, l'altra, cioè O , rossa. La seconda frangia più stretta della prima sia QPR il cui elemento di mezzo sia P , fascia luminosa non colorata, e che ne contiene inoltre due colorate, e quasi scure, l'una Q blu verso l'ombra suddetta e l'altra R rossa. La terza delle frange di tutte la più stretta sia TSV , che ha nel suo mezzo la fascia luminosa pura S , e nei lati due colorate che si notano meno, cioè T blu, e V rossa.

E così può accadere che qualche osservatore, sebbene intraprenda l'esperimento con cielo serenissimo, e che le suddette frange siano prodotte da luce adeguata, nondimeno, per difetto di attenzione e perspicacia, stimi che appaiano sulla base luminosa del cono suddetto, anche frange d'ombra, invece che luminose, ciò perché stima che le due fasce O e Q siano una sola, e quindi siano scure, dato che non percepisce in esse due diversi colori, che provano essere esse due e luminose. Di conseguenza dunque,

molto meno discernerà le due minori R e T come distinte e colorate, e penserà che esse siano una sola e scura, e quindi conterà di osservare sulla base di luce del suddetto cono solamente tre fasce scure, benché separate sia dall'ombra principale, sia tra di loro, così (*stimerà*) che le tre parti luminose M , P e S siano porzioni della base luminosa, che si frappongono tra le tre ombre OQ , RT e V disposte secondo la lunghezza dell'ombra principale X , proiettata dall'ostacolo inserito, come detto sopra, nel cono di luce.

La **fig. 2** mostra le frange, ottenute come sopra riportato, nella parte illuminata vicino all'ombra, al bordo di un ostacolo opaco, una lamina metallica. La figura suggerisce cosa potesse osservare Grimaldi con luce bianca con coerenza spaziale limitata.

12. E infatti se si osserva attentamente e l'esperimento è fatto come si deve, sarà chiaro che quelle frange quasi scure non sono ombre, o mero difetto di luce, ma tratti gemelli di colori diversi, tra i quali inoltre appare qualcosa di oscuro dal loro confine comune, che non si vede colorato: Ma essi (*tratti*) si discerneranno distintamente se risplende un'intensa luce del Sole, e per il fatto stesso che si vedano colorati non possono non essere luminosi (Sed illi tamen distincte discernuntur si adfulgeat validum lumen Solis, et eo ipso quod cognoscuotur colorati non possunt non esse lucidi). Cosa anche degna di nota è anche che i tratti luminosi M , P , S anzidetti sono più luminosi della restante base del cono di raggi sulla sopra menzionata tavoletta [...]

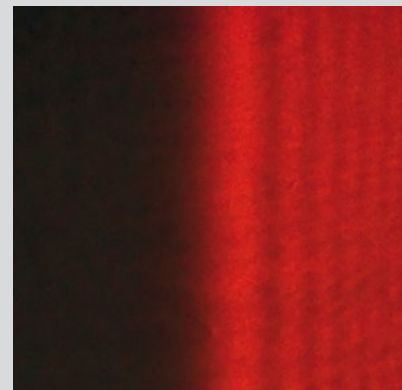


Fig. 2 Frange di diffrazione vicino al bordo rettilineo di un ostacolo opaco in luce monocromatica.

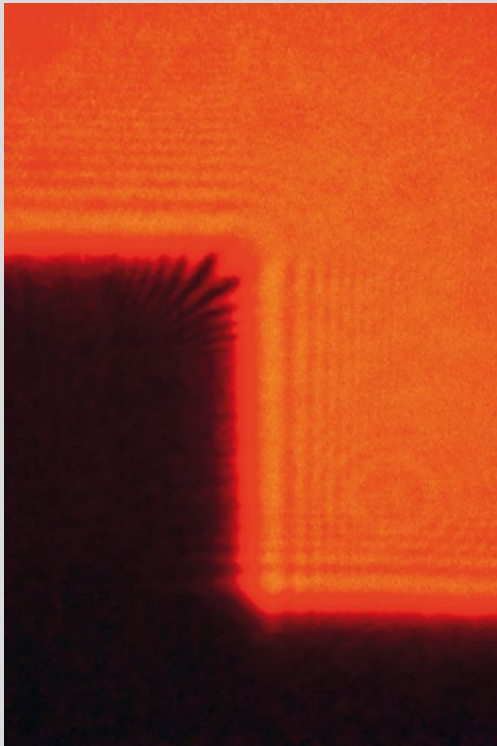


Fig. 3 Frange di diffrazione fuori dell'ombra vicino ai bordi a 90°, concavo e convesso, di ostacolo opaco.

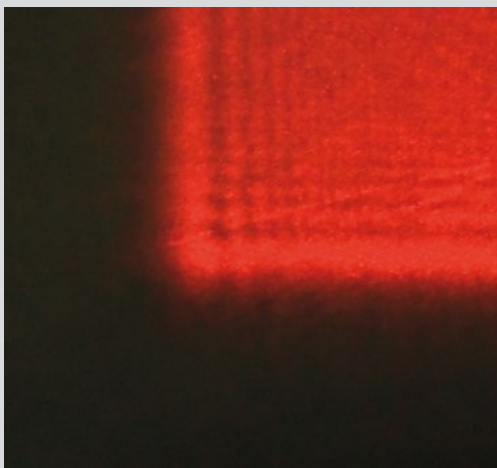
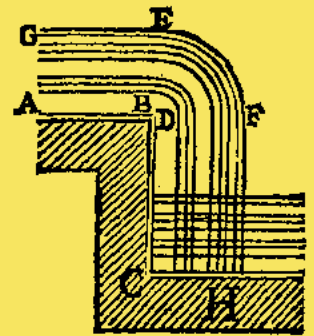


Fig. 4 Frange di diffrazione fuori dell'ombra vicino al bordo a 90° di un ostacolo opaco.

13. In aggiunta si osservano le frange suddette essere tutte parallele all'ombra proiettata dall'ostacolo, e inoltre (essere) rette se è retto l'esterno dell'ostacolo inserito nel cono di luce, e curve, se curvo. Ma quando il suddetto ostacolo fosse angolare, e di conseguenza l'ombra stessa raccolta nel piano, fosse al pari angolare, allora le frange stesse sono rette sino a che procedono parallele ai lati delle ombre che sono esse stesse rette; ma poi tutte curvano per archi simili attorno a quell'angolo dell'ombra, che la luce contorna esternamente da entrambi i lati, come si può vedere nello **schema allegato**, nel quale sia l'ombra ABC angolare in B e C , quale è il corpo che la proietta, parallele al cui lato AB ci siano le frange colorate, e luminose, che dai termini A, G si estendono sino a B, E ; inoltre siano parallele al lato CD , quelle che dai termini C, H procedono sino a D, F ; ma dopo questo completo parallelismo con i lati dell'ombra, tutte quelle frange non più procedono rettilinee alla meta comune, ma si percepiscono curvare simili tra loro intorno all'angolo dell'ombra ABC , come si vede in BD e EF . Ma verso l'angolo, che contiene in sé la luce, quale è l'angolo DCH , le frange si incrociano a vicenda come mostrato in figura, né una impedisce la forma dell'altra, essendo i colori nel punto di incrocio o aumentati in intensità, o mescolati.



La **fig. 3** mostra le frange all'esterno di un ostacolo opaco simile a quello della figura di Grimaldi al paragrafo 13. L'esposizione è stata regolata in modo da vedere anche alcune frange luminose nell'ombra (vedi più avanti) e quindi sovraesponendo la parte illuminata. Comunque, si vede bene come le frange curvano attorno all'angolo, quello superiore, che contiene in sé l'ombra, e si intersechino in quello inferiore che contiene la luce.

La **fig. 4** mostra, non sovraesposte come in **fig. 3**, le frange presso l'angolo che contiene in sé la luce, da confrontare con la parte superiore della seconda figura di Grimaldi.

Grimaldi passa ad un'altra osservazione, notevolmente più difficile delle precedenti, le frange di diffrazione nell'ombra.

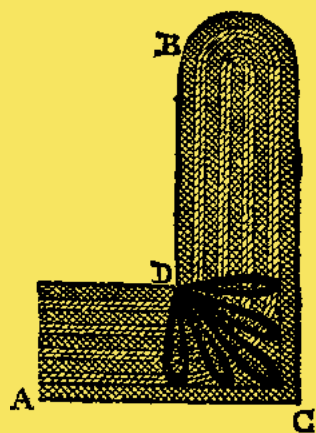
14. Si deve parimenti osservare che nella stessa ombra compaiono a volte le dette frange di luce colorata, un numero a volte maggiore a volte minore. A ciò è necessario in primo luogo una luce del Sole fortissima; inoltre, l'ostacolo opaco inserito nel cono di luce e illuminato da entrambi i lati, deve essere piuttosto lungo, ma moderatamente largo, tuttavia di larghezza non troppo piccola, quanto le prove stesse insegnino. E infatti se, ad esempio, si usa un capello o un filo da ago da calzolaio di un qualche spessore, all'ombra da esso proiettata si mescolerà un po' di luce e di colore confuso, fino al punto in cui la luce del detto cono, scorsa agli estremi del filo così sottile, si dissipa poi ed estingue l'ombra del filo a quella distanza dal filo che è richiesta perché le frange colorate e luminose appaiano nell'ombra, intercettate da un piano. Si deve pertanto inserire nel cono di luce una lamina, o qualche sbarra poco più larga, e poi altre più larghe, finché si giunga a quella, la cui ombra intercettata a debita distanza, si riconosce contenere in sé le frange suddette: la quale distanza quanto maggiore sarà, quanto più distinte appariranno le frange, purché il lume dal quale vanno formate, per troppa distanza non si indebolisca.

15. Inoltre il numero delle frange che compaiono nell'ombra, sarà tanto maggiore, *ceteris paribus*, quanto più larga sarà la lamina, o verga, inserita nel cono: saranno queste al minimo due e, se si usa una verga più larga, quattro. E così procedendo per maggiore grossezza, o larghezza dell'ostacolo, che comunque sia illuminato da entrambi i lati, o meglio sia totalmente inserito nel predetto cono, le frange saranno di più, per esempio sei, in numero comunque sempre pari, poiché quante sono visibili nell'ombra da un suo lato estremo, altrettante ne sono contemporaneamente visibili dall'altro. Ho detto "*ceteris paribus*", perché mantenendo la stessa lamina, o verga opaca, possono apparire frange in maggior o minor numero a seconda che siano raccolte nel piano candido posto più lontano o più vicino. Inoltre saranno maggiori, o più larghe, quelle frange che sono in numero minore; e al contrario più strette quando esistono in maggior numero. Tutte le frange luminose e colorate predette appaiono in ogni caso più chiare e distinte se sono raccolte in un piano pulito e candido, ma posto un po' obliquo rispetto al cono di raggi di luce solare. Non aggiungo qui una figura specifica, perché sembrano sufficienti le cose dette, anzi tutte le predizioni sono rappresentate anche nello schema seguente.

Le frange nell'ombra parallele all'asse dell'ombra di un ostacolo, lamina o barretta, si osservano solo se esso è abbastanza (ma non troppo) sottile, diversi decimi di millimetro. Le fig. 5a, b mostrano le frange nell'ombra per fili rispettivamente di 0,47 mm, piegato, e 0,9 mm. Nella fig. 5a le frange nell'ombra seguono la curvatura, quando l'ombra curva. Nella fig. 5b le frange nell'ombra sono in numero maggiore, essendo l'ostacolo due volte più largo. Si nota come si mantengano parallele e separate sino al termine, che è tronco.

16. Infine si osservano le suddette frange luminose visibili nell'ombra mantenere il parallelismo con i lati estremi dell'ombra, ed essere rette fin tanto che questi saranno retti; ma, quando l'ombra sia angolata, si osservano curvare attorno all'angolo dell'ombra.

In verità, inoltre, nel detto angolo appaiono sull'ombra frange luminose più brevi, anch'esse curve, ma simili alle nappe, che pendono in un galero (copricapo prelatizio, fig. 6), dopo una qualche elevazione delle medesime, da entrambe le parti, come mostra la figura allegata, nella quale, oltre alle quattro frange sopra discusse ed estese nell'ombra ABC da A verso C e da B verso D, che curvano vicino all'angolo dell'ombra, si notano anche tra D e C poche frange luminose alquanto più brevi, incurvate da una parte e dall'altra rispetto alla linea di mezzo DC, convergenti in D, ma



in nessun modo seguaci del percorso di quelle che si estendono in lunghezza lungo i lati dell'ombra. Queste frange più brevi e più luminose presso l'angolo dell'ombra appaiono anche se la lamina, o verga, non è completamente inserita nel cono di luce, ma solo sino ad un estremo, peraltro terminato da qualche angolo, e sono a volte di più, a volte di meno a seconda della larghezza della lamina, o verga, inserita nel cono. Perché se quella lamina, o verga, è molto sottile, ma comunque adatta a proiettare un'ombra contenente frange luminose, che si estendano lungo la sua lunghezza, appariranno esse stesse curvate vicino all'estremo di tale ombra, come si vede nella figura vicino all'estremo B, né nell'estremo dell'ombra manterranno perfetta separazione, e parallelismo, sebbene esse siano rappresentate così in figura all'estremo A, dove è rappresentata un'ombra tronca. Parimenti seguono la rotondità della curvatura attorno al detto estremo dell'ombra le frange colorate, o luminose, che, estese al di fuori dell'ombra, procedono parallele ad entrambi i lati, in modo che sarà facile comprendere da queste quelle che sono ombreggiate nel precedente schema dell'ombra, per cui ci asteniamo dall'esprimere un nuovo schema di quelle curvature.

Omettiamo anche osservazioni meno importanti che non sono funzionali al nostro oggetto, né necessarie, e che in maniera facile e insieme divertente potrà fare da sé chi vorrà intraprendere questi esperimenti. Ma li fa anche chiunque vorrà comprendere più chiaramente ciò che abbiamo esposto, perché da nessuna esposizione fatta a parole possiamo comprendere compiutamente, quanto occorre, la cosa stessa.

La fig. 7 mostra ingrandita la parte della fig. 3 corrispondente al punto D della figura di Grimaldi. La situazione è un po' diversa perché l'ostacolo da noi usato è più largo di quello di Grimaldi, e quindi non c'è il corrispondente del punto C in cui finisce l'ombra, né ci sono le frange di luce nell'ombra parallele ai lati (fig. 5), ma le "nappe del galero" sono ben visibili.

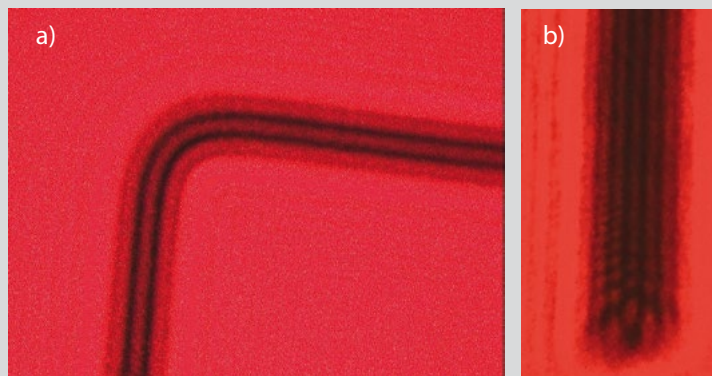


Fig. 5 Frange di diffrazione nell'ombra di fili di diametro a) 0.47 mm, b) 0.9 mm.



Fig. 6 Il galero, cappello di vescovi, arcivescovi e cardinali, utilizzato anche nello scudo araldico. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cardinal_galero_with_fiocchi.svg

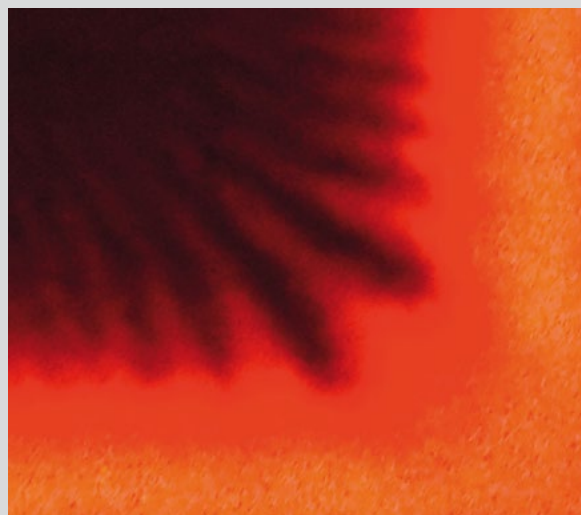
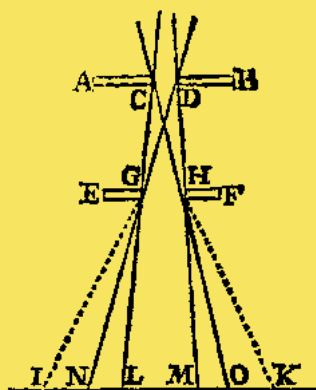


Fig. 7 Frange di diffrazione nell'ombra all'angolo retto contenente ombra; punto C della figura al capitolo 16.

Secondo esperimento

25. Aperto in una finestra di legno di una stanzetta bene oscurata un foro dello spessore di un dito circa, gli si applichi una lamina opaca sottile AB , per il cui forellino strettissimo CD la luce del Sole entrando prende la forma di un cono: su questo si ponga a grande distanza dietro la lamina AB ad angolo retto la lamella EF , che parimenti abbia un piccolo foro GH , dal quale sia ricevuta una parte del detto cono di luce tagliato perpendicolarmente dalla lamina EF in un punto nel quale la sua base superi notevolmente la larghezza del foro GH , in modo che il foro sia completamente illuminato, o riempito di luce. Di nuovo questa stessa luce, che entra nel secondo foro GH , si forma, o procede in forma di cono, o quasi cono, che tagliato ortogonalmente, e terminato da una superficie piana pulita e candida, esibirà su di essa la sua base luminosa IK notevolmente maggiore, di quanto sarebbe per raggi trasmessi in linea retta da entrambi i fori, e non solo se passanti per gli estremi dei fori appartenenti alla medesima parte, come sono i raggi CGL e DHM , ma anche alle parti opposte, come sono DGN e CHO .



Ciò risultò manifesto dopo aver ripetuto più volte l'esperimento, osservando quanto apparisse di fatto esser larga la base IK e calcolando quanto dovesse essere la base NO per raggi rettilinei e incrociati tra i lati dei due fori. Il calcolo poi fu tanto evidente quanto facile. Si divida un'oncia (cioè $1/12$) di piede antico romano (di uso più frequente) [in Riccioli, suo allievo, il piede romano antico è pari a 308 mm] in 300 parti uguali e si usi come misura dei diametri GH e CD e anche della distanza DG (che è sensibilmente uguale alla distanza CG) e GN , che sensibilmente è uguale alla distanza GL ; fu facile conoscere nel triangolo CDG l'angolo CGD e così NGL avente lo stesso vertice, e di conseguenza anche NL nel triangolo GLN , del quale sono dati i lati, e l'angolo G tra di essi compreso. Infine la retta LO fu immediatamente acquisita, facendo come CG sta a GH , così CL , composta di due date, sta a LO per Euclide 4.6 [si intende la proposizione 4 del libro VI di Euclide: Nei triangoli equiangoli i lati attorno agli angoli uguali sono tra loro proporzionali ed i lati omologhi sono quelli che sono opposti ad angoli uguali]. Poi aggiungendo NL a LO si ottiene NO , che cercavamo, e che sempre è molto minore dell'osservata IK .

26. Perché l'esperimento avvenga correttamente, si richiede una luce solare intensa, perché, come si disse, i fori devono essere sottili, in particolare il primo CD , e inoltre il piano candido, nel quale si raccoglie la base IK , deve distare molto dal foro GH , dato che essa eccede poco o nulla la base NO dedotta dal calcolo. Noi abbiamo usato per lo più per CD quattro o cinque parti delle quali un piede romano antico ne comprende 300 (cioè 4 o 5 mm), e per GH 25 o 30 di tali parti. Ma le distanze DG e GN (siano) almeno 12 di tali piedi. All'osservazione fatta in estate, circa a mezzogiorno e con cielo serenissimo, sempre fu evidente l'eccesso della base osservata IK sopra la dedotta NO , tanto che è vano temere pericolo di errore o di sottilizzare con inutili critiche l'aver assunto isosceli i triangoli CGD e NGL . Infine, non si deve omettere che la base illuminata IK appare nel mezzo soffusa di luce pura e agli estremi di tale luce colorata da un lato di colore rosso, e dall'altro fortemente blu.

Denique omittendum non est lucidam basem IK in sui medio apparere perfusam mero lumine, et in extremo ambitu eius lumen colorati colore partim rubeo, partim potissimum caeruleo.

