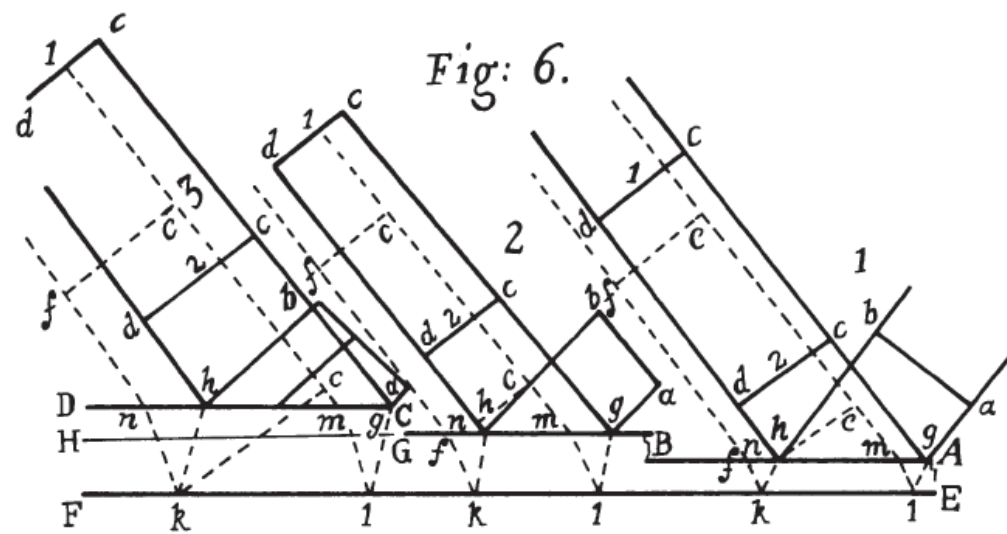


*Giuseppe Mezzorani
INFN Sezione di Cagliari*

Newton e i suoi anelli

*Scuola di Storia della Fisica
Ferrara
Febbraio 2019*





Nahum Kipnis

Springer Basel AG

History of the Principle of Interference of Light

By the Council of the ROYAL SOCIETY
of London for Improving of Natural
Knowledge.

Ordered, That the Book written by Robert Hooke, M.A. Fellow of this Society,
Entituled, Micrographia, or some Physiological Descriptions of
Minute Bodies, made by Magnifying Glasses, with Observations and
Inquiries thereupon, Be printed by John Marryn, and James Allestry,
Printers to the said Society.

Novemb. 23.
1664.

BROUNCKER. P. R. S.

MICROGRAPHIA:

OR SOME

Physiological Descriptions

OF

MINUTE BODIES

MADE BY

MAGNIFYING GLASSES.

WITH

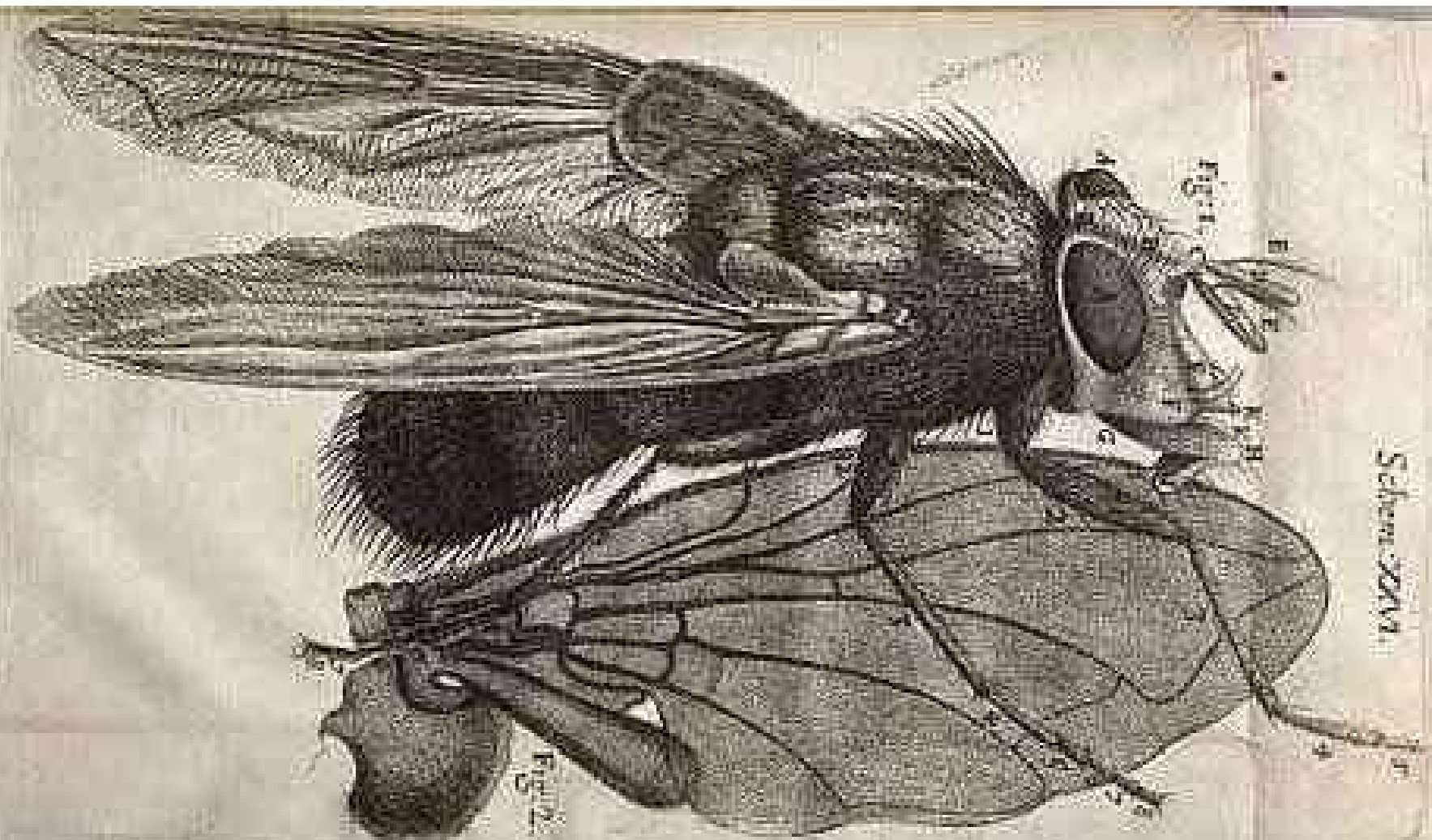
OBSERVATIONS and INQUIRIES thereupon.

By A. HOOKE, Fellow of the ROYAL SOCIETY.

*Non passis oculis quantum considerare licebat,
Nunc talibus soluta contemplanda Ligati sumus. Horat. Ep. lib. 1.*



LONDON, Printed by J. Marryn, and J. Allestry, Printers to the
ROYAL SOCIETY, and are to be sold at their Shop at the end in
St. Paul's Church-yard. M. DC. LXV.



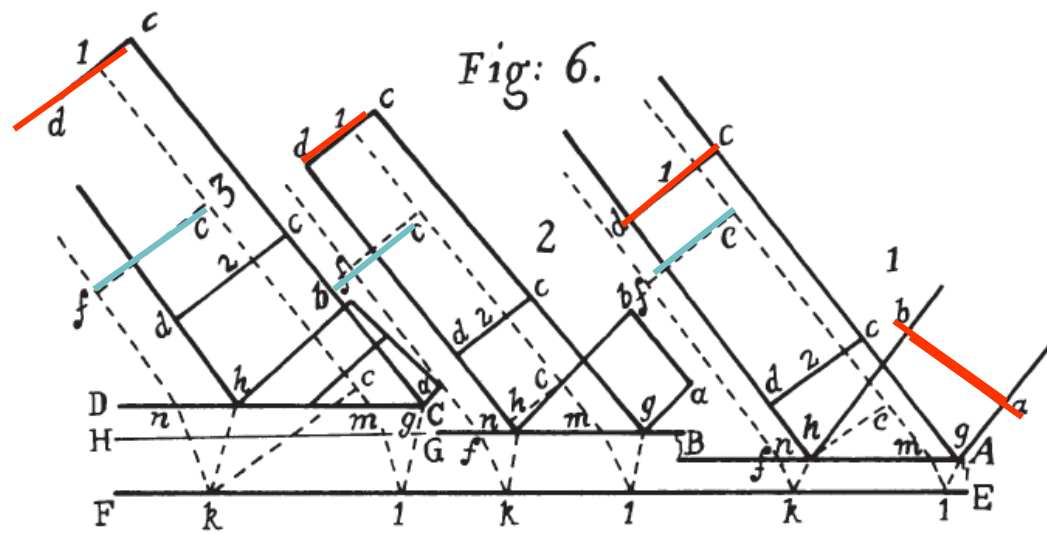


Fig. 15

Hooke's explanation of the colors of thin films, which involves two waves reflected from two surfaces of the film (from Hooke, *Micrographia*)

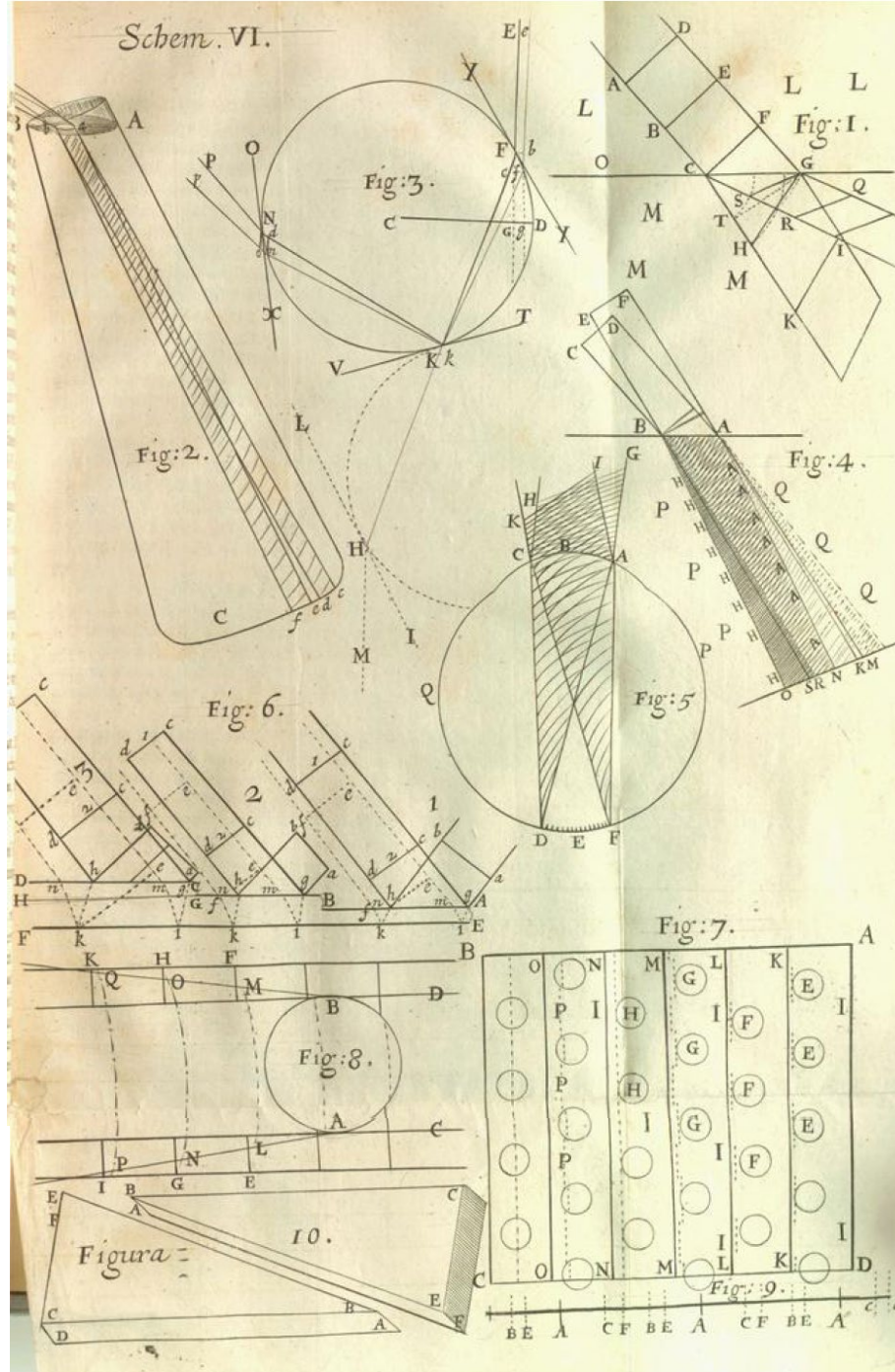
Hooke considered light to be a periodical sequence of pulses. When pulses such as *ab* (Fig. 15) fall on a plane-parallel plate, some of them (*cd*) are reflected from the first surface *AB*, while the other pulses *ef*, after two refractions and one reflection at *EF* emerge parallel to *cd*. Evidently, the pulses *cd* are stronger than *ef*. According to Hooke, when the stronger pulse precedes the weaker one, the two having a distance between them less than that between two subsequent incident pulses, such a compound pulse produces a sensation of yellow. When the weaker pulse precedes the stronger one, a blue color is observed, and so on.⁶

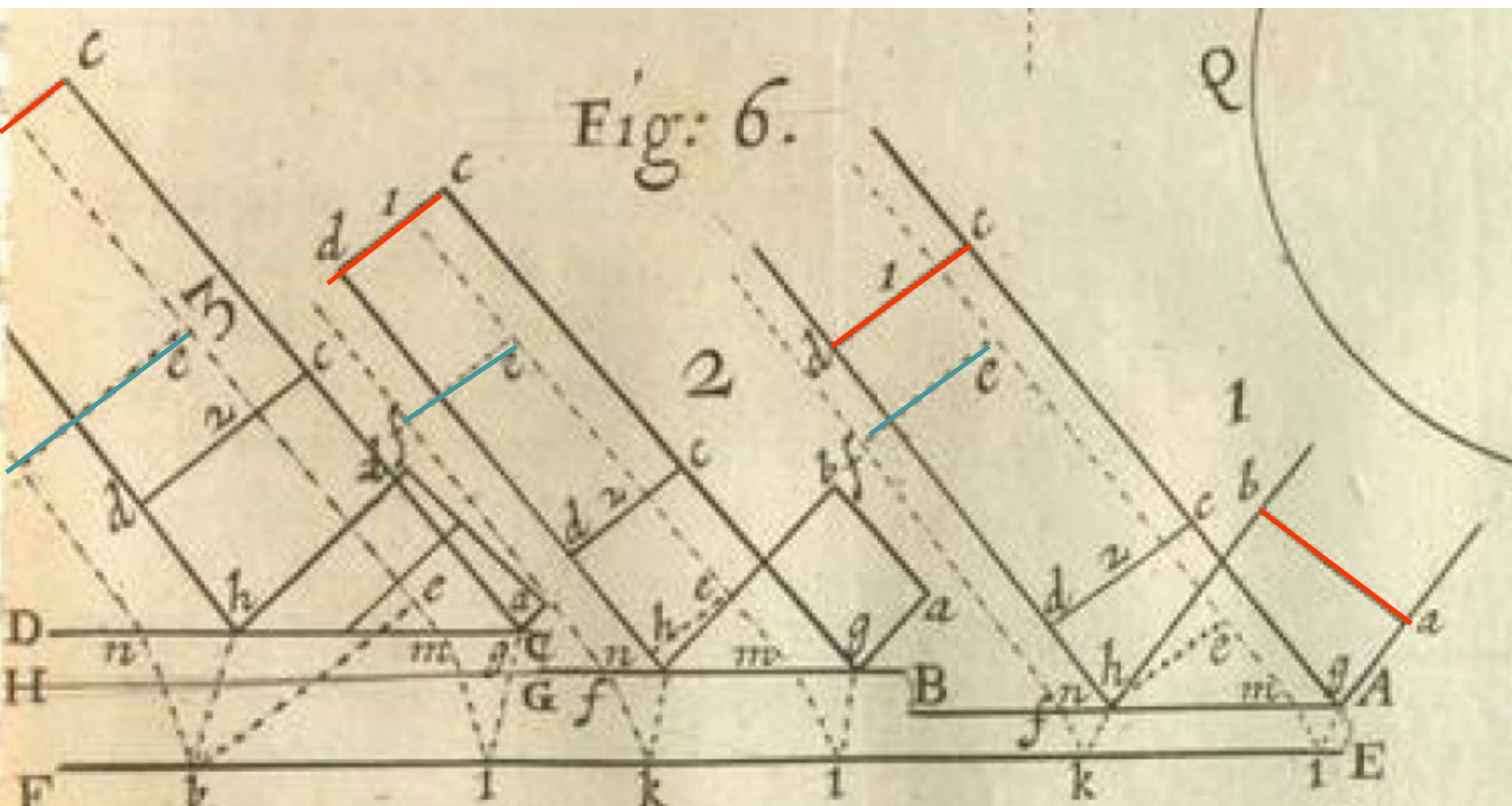
Though Hooke demonstrated that the color depends on the thickness of a thin plate, he was unable to find a quantitative relation between them.

Though Hooke demonstrated that the color depends on the thickness of a thin plate, he was unable to find a quantitative relation between them. This problem was solved by Newton, who found experimentally that the thicknesses of a thin plate in the places where colored rings of successive orders are seen form an arithmetic progression. To interpret this empirical law, Newton assumed that a light ray when entering a refracting medium, undergoes periodic alternations of its state which predispose the ray to be reflected or transmitted at the second surface.⁸ He called these alternations “fits of easy transmission and easy reflection.” On the basis of his measurements in thin films, Newton ascribed to light a specific constant of space periodicity (the “intervals of fits”).⁹ This interval, he found, depended on color, on the index of refraction of the medium in which the light propagated, and also on the angle of incidence of the light entering this medium. Using the concept of the interval of fits Newton developed a mathematical theory, which when applied to the phenomenon of the colors of thick plates showed a good agreement with observations.

Newton's great achievement was to prove that in several optical phenomena light revealed the same constant of periodicity. This fact was the core of his theory of fits, and later it became the basis for Young's principle of interference.

It seems that Newton also tried to find an equivalent for this length for diffraction, but he failed and left this phenomenon without a quantitative explanation.

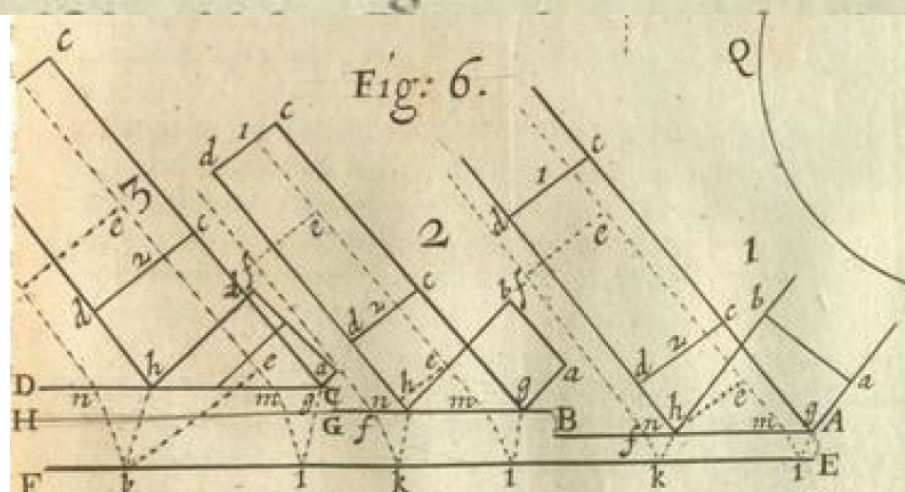




Let $ABCDHFE$ in the sixth Figure be a *frustum* of *Muscovy-glass*,
 thinner toward the end AE , and thicker towards DF . Let us first sup-
 pose the Ray $agbb$ coming from the Sun, or some remote luminous
 object to fall *obliquely* on the thinner plate BAE , part therefore is re-
 flected back, by $cghd$, the first *superficies*; whereby the perpendicular
 pulse ab is after reflection propagated by cd , cd , equally remote from
 each other with ab , ab , so that $ag + gc$, or $bb + bd$ are either of
 them equal to aa , as is also cc , but the body BAE being transparent, a
 part of the light of this Ray is refracted in the surface AB , and propa-
 gated by $gikh$ to the surface EF , whence it is reflected and refracted
 again by the surface AB . So that after two refractions and one reflection,
 there is propagated a kind of fainter Ray $emnf$, whose pulse is not on-
 ly weaker by reason of the two refractions in the surface AB , but by rea-
 son of the time spent in passing and repassing between the two surfaces
 AB and EF , ef which is this fainter or weaker pulse comes behind the
 pulse cd ; so that hereby (the surfaces AB , and EF being so neer toge-
 ther, that the eye cannot *discriminate* them from one) this confus'd or
duplicated pulse, whose strongest part precedes, and whose weakest fol-
 lows, does produce on the *Retina* (or the *optick nerve* that covers the
 bottom of the eye) the sensation of a *Yellow*.

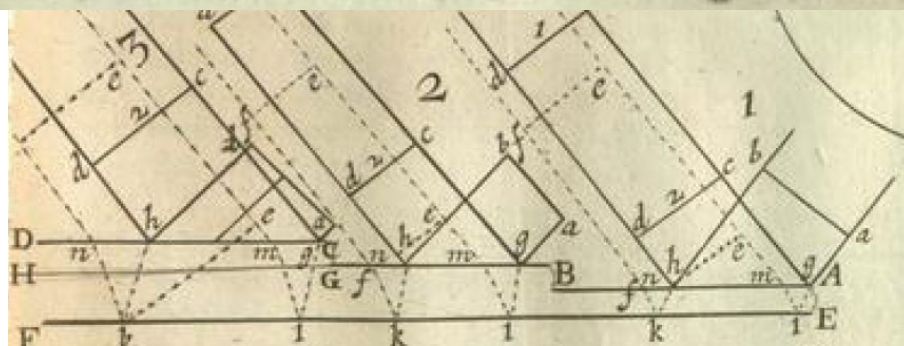
And secondly, this *Yellow* will appear so much the deeper, by how much the further back towards the middle between cd and cd the spurious pulse ef is remov'd, as in 2 where the surface BC being further remov'd from EF , the weaker pulse ef will be nearer to the middle, and will make an impression on the eye of a *Red*.

But thirdly, if the two reflecting surfaces be yet further remov'd asunder (as in 3 CD and EF are) then will the weaker pulse be so farr behind, that it will be more then half the distance between cd and cd . And in this case it will rather seem to precede the following stronger pulse, then to follow the preceding one, and consequently a *Blue* will be generated. And when the weaker pulse is just in the middle between two strong ones, then is a deep and lovely *Purple* generated; but when the weaker pulse ef is very neer to cd , then is there generated a *Green*, which will be *bluer*, or *yellower*, according as the *approximate* weak pulse does precede or follow the stronger.

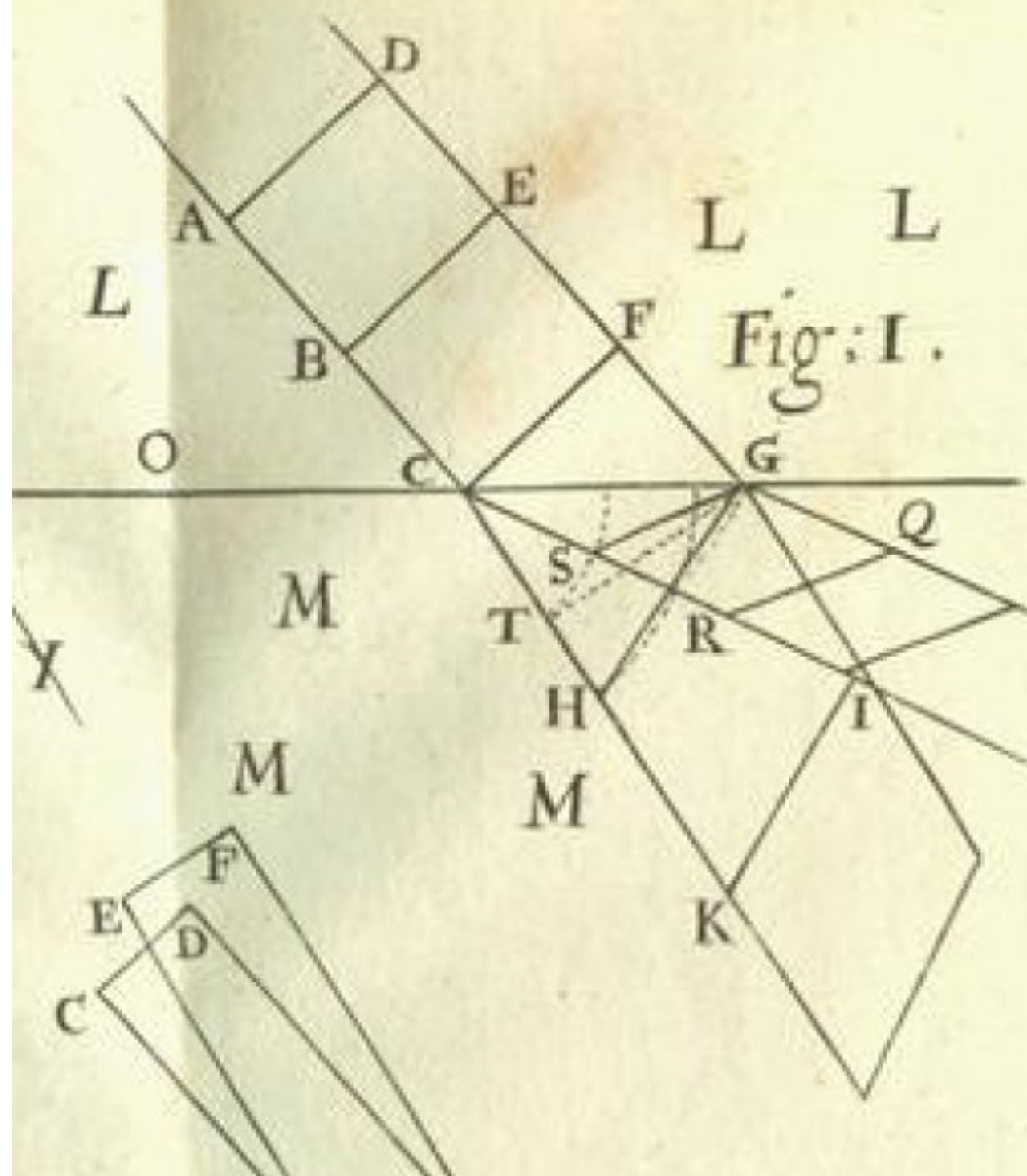


Now fourthly, if the thicker Plate chance to be cleft into two thinner Plates, as $CDFE$ is divided into two Plates by the surface GH then from the composition arising from the three reflections in the surface CD , GH , and EF , there will be generated several compounded or mixed colours, which will be very differing, according as the proportion between the thicknesses of those two divided Plates $CDHG$, and $GHFE$ are varied.

And fifthly, if these surfaces CD and FE are further remov'd asunder, the weaker pulse will yet lagg behind much further, and not onely be *coincident* with the second, cd , but lagg behind that also, and that so much the more, by how much the thicker the Plate be; so that by degrees it will be *coincident* with the third cd backward also, and by degrees, as the Plate grows thicker with a fourth, and so onward to a fifth, sixth, seventh, or eighth; so that if there be a thin transparent body, that from the greatest thinness requisite to produce colours, does, in the manner of a Wedge, by degrees grow to the greatest thickness that a Plate can be of, to exhibit a colour by the reflection of Light from such a body, there



shall be generated several consecutions of colours, whose order from the thin end towards the thick, shall be *Yellow, Red, Purple, Blue, Green*; *Yellow, Red, Purple, Blue, Green*; *Yellow, Red, Purple, Blue, Green*; *Yellow, &c.* and these so often repeated, as the weaker pulse does lose paces with its *Primary*, or first pulse, and is *coincident* with a second, third, fourth, fifth, sixth, &c. pulse behind the first. And this, as it is *coincident*, or follows from the first *Hypothesis* I took of colours, so upon experiment have I found it in multitudes of instances that seem to prove it. One thing which seems of the greatest concern in this *Hypothesis*, is to determine the greatest or least thickness requisite for these effects, which, though I have not been wanting in attempting, yet so exceeding thin are these coloured Plates, and so imperfect our *Microscope*, that I have not been hitherto successfull, though if my endeavours shall answer my expectations, I shall hope to gratifie the curious Reader with some things more remov'd beyond our reach hitherto.



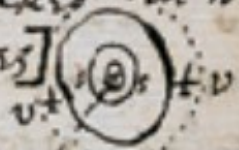
We will suppose therefore in the first Figure $\overset{A}{\curvearrowright} C F D$ to be a physical Ray, or $A B C$ and $D E F$ to be two Mathematical Rays, *trajected* from a very remote point of a luminous body through an *Homogeneous* transparent *medium* $L L L$, and $D A$, $E B$, $F C$, to be small portions of the orbicular impulses which must therefore cut the Rays at right angles; these Rays meeting with the plain surface $N O$ of a *medium* that yields an *easier transitus* to the propagation of light, and falling *obliquely* on it, they will in the *medium* $M M M$ be refracted towards the perpendicular of the surface. And because this *medium* is more easily *trajected* then the former by a third, therefore the point C of the orbicular pulse $F C$ will be mov'd to H four spaces in the same time that F the other end of it is mov'd to G three spaces, therefore the whole refracted pulse $G H$ shall be *oblique* to the refracted Rays $C H K$ and $G I$; and the angle $G H C$ shall be an acute, and so much the more acute by how much the greater the refraction be, then which nothing is more evident, for the sign of the inclination is to be the sign of refraction as $G F$ to $T C$ the distance between the point C and the perpendicular from G on $C K$, which being as four to three, $H C$ being longer then $G F$ is longer also then $T C$, therefore the angle $G H C$ is less than $G T C$. So that henceforth the parts of the pulses $G H$ and $I K$ are mov'd ascew, or cut the Rays at *oblique* angles.

It is not my business in this place to set down the reasons why this or that body should impede the Rays more, others less: as why Water should transmit the Rays more easily, though more weakly than air. Onely thus

much in general I shall hint, that I suppose the *medium* M M M to have less of the transparent undulating subtile matter, and that matter to be less implicated by it, whereas L L L I suppose to contain a greater quantity of the fluid undulating substance, and this to be more implicated with the particles of that *medium*.

But to proceed, the same kind of *obliquity* of the Pulses and Rays will happen also when the refraction is made out of a more easie into a more difficult *mediū*; as by the calculations of G Q & C S R which are refracted from the perpendicular. In both which calculations 'tis *obvious* to observe, that always that part of the Ray towards which the refraction is made has the end of the *orbicular pulse* precedent to that of the other side. And always, the oftner the refraction is made the same way, Or the greater the single refraction is, the more is this unequal progress. So that having found this odd propriety to be an inseparable concomitant of a refracted Ray, not streightned by a contrary refraction, we will next examine the refractions of the Sun-beams, as they are suffer'd onely to pass through a small passage, *obliquely* out of a more difficult, into a more easie *medium*.

paper, wood, marble, y^e Oculus Mundi Stone, &c) become
 more darke & transparent by being soaked in water
 [for y^e water fills up y^e reflecting pores]



~~58 I took a bodkin~~

58 I took a bodkin & put it betwixt my
 eye & y^e bone as
 neare to y^e ~~end~~ of
 backside of my eye
 as I could: & pressing
 my eye wth y^e end of
 it (soe as to make y^e
 curvature a, b, c, d, e, f in my
 eye) there appeared severall
 white darke & coloured circles
 r, s, t, &c. Which circles were
 plainest when I continued to rub my eye wth y^e
 point of y^e bodkin, but if I held my eye & y^e
 bodkin still, though I continued to presse my eye
 wth it yet y^e ~~white~~ circles would grow faint
 & often disappear untill I renewed y^m by moving
 my eye or y^e bodkin.



Of Colours (1665)



Engraved by W. L. Fry.

SIR ISAAC NEWTON.

OB. 1727.

FROM THE ORIGINAL OF KNELLER, IN THE COLLECTION OF

THE RIGHT HON^{BLE} THE EARL OF EGREMONT.

London, Published May 1, 1829, by Harding & Lepard, Pall Mall East.

Of Colours

56 The powders of Pellucid bodys is white soe is a cluster of small bubbles of air, y^e scrapings of black or charr^d horne, &c. [because of y^e multitude of reflecting surfaces] soe are Bodys wch are full of flaws, or those whose parts lye not very close together (as Metals, Marble, y^e Oculus Mundi Stone &c) [whose pores betwixt their parts admit a grosser Aether into y^m y^e pores in their parts], hence

57 Most Bodys (viz: those into which water will soake as paper, wood, marble, y^e Oculus Mundi Stone, &c) become more darke & transparent by being soaked in water [for y^e water fills up y^e reflecting pores] (1665) 15

58 I took a bodkin

& put it betwixt my eye & y^e bone as neare to y^e ~~end of~~ backside of my eye as I could: & pressing my eye wth y^e end of it (soe as to make y^e curvature a, b, c, d, e, f in my eye) there appeared several white darke & coloured circles

r, s, t, &c. Which circles were plainest when I continued to rub my eye wth y^e point of y^e bodkin, but if I held my eye & y^e bodkin still, though I continued to presse my eye wth it yet y^e ~~circles~~ circles would grow faint & often disappear untill I renewed y^m by moving my eye or y^e bodkin.

59 If y^e experiment were done in a light room so y^t though my eyes were shut some light would get through their lids There appeared a ~~small~~ reddish spot in y^e midst at s, & y^e greater broad bluish darke circle outmost (as t, s) & wthin that another light spot s, r, whose colour was much like y^t in y^e rest of y^e eye as at R. Within w^{ch} spot appeared still another blew spot r



56 The pouders of Pelluced bodys is white soe is a cluster of small bubbles of aire, the scrapings of black or cleare horne, &c: [because of the multitude of reflecting surface soe are bodys which are full of flaws, or those whose parts lye not very close together (as Metalls, Marble, the Oculus Mundi Stone &c) whose pores betwixt their parts admit a grosser Æther into y^m y^e pores in their parts]. Hence

57 Most Bodys (viz: those into which water will soake as paper, wood, Marble, the Oculus Mundi Stone, &c) become more darke & transparent by being soaked in water [for the water fills up the reflecting pores]

58 I tooke a bodkin gh & put it betwixt my eye & the bone as neare to the Backside of my eye as I could: & pressing my eye with the end of it (soe as to make the curvature a, b, c, d, e, f in my eye) there appeared severall white darke & coloured circles r, s, t, &c. Which circles were plainest when I continued to rub my eye with the point of the bodkin, but if I held my eye & the bodkin still, though I continued to presse my eye with it yet the circles would grow faint & often disappare untill I renewed them by moving my eye or the bodkin.

59 If the experiment were done in a light roome so that though my eyes were shut some light would get through their lidds There appeared a greate broade blewish darke circle outmost (as ts), & within that another light spot srs whose colour was much like that in the rest of the eye as at k. Within which spot appeared still another blew spot r,

<16> especially if I pressed my eye hard & with a small pointed bodkin. & outmost at vt appeared a verge of light

Of Colours
56 The pouders of Pelluced bodys is white soe is a cluster of small bubbles of aire, y^e scrapings of black or cleare horne, &c: [because of y^e multitude of reflecting surface soe are Bodys wch are full of flaws, or those whose parts lye not very close together (as Metalls, Marble, y^e Oculus Mundi Stone &c) whose pores betwixt their parts admit a grosser Æther into y^m y^e pores in their parts]. Hence
57 Most Bodys (viz: those into which water will soake as paper, wood, Marble, y^e Oculus Mundi Stone, &c) become more darke & transparent by being soaked in water [for y^e water fills up y^e reflecting pores] (16) + v

58 I took a bodkin gh

& put it betwixt my eye & y^e bone as neare to y^e backside of my eye as I could: & pressing my eye wth y^e end of it (soe as to make y^e curvature a, b, c, d, e, f in my eye) there appeared severall white darke & coloured circles r, s, t, &c. Which circles were plainest when I continued to rub my eye wth y^e point of y^e bodkin, but if I held my eye & y^e bodkin still, though I continued to presse my eye wth it yet y^e circles would grow faint & often disappare untill I renewed y^m by moving my eye or y^e bodkin.

59 If y^e experiment were done in a light roome so that though my eyes were shut some light would get through their lidds There appeared a blewish spot in y^e midst at srs, & greate broade blewish darke circle outmost (as ts), & wthin that another light spot srs whose colour was much like y^e rest of y^e eye as at k. Within wch spot appeared still another blew spot r



58 I tooke a bodkin gh & put it betwixt my eye & the bone as neare to the Backside of my eye as I could: & pressing my eye with the end of it (soe as to make the curvature a, bcdef in my eye) there appeared severall white darke & coloured circles r, s, t, &c. Which circles were plainest when I continued to rub my eye with the point of the bodkin, but if I held my eye & the bodkin still, though I continued to presse my eye with it yet the circles would grow faint & often disappiare untill I renewed them by moving my eye or the bodkin.

59 If the experiment were done in a light roome so that though my eyes were shut some light would get through their lidds There appeared a greate broade blewish darke circle outmost (as ts), & within that another light spot srs whose colour was much like that in the rest of the eye as at k. Within which spot appeared still another blew spot r,

<16> especially if I pressed my eye hard & with a small pointed bodkin. & outmost at vt appeared a verge of light



Newton
 Lettera ad Oldenburg
 1672

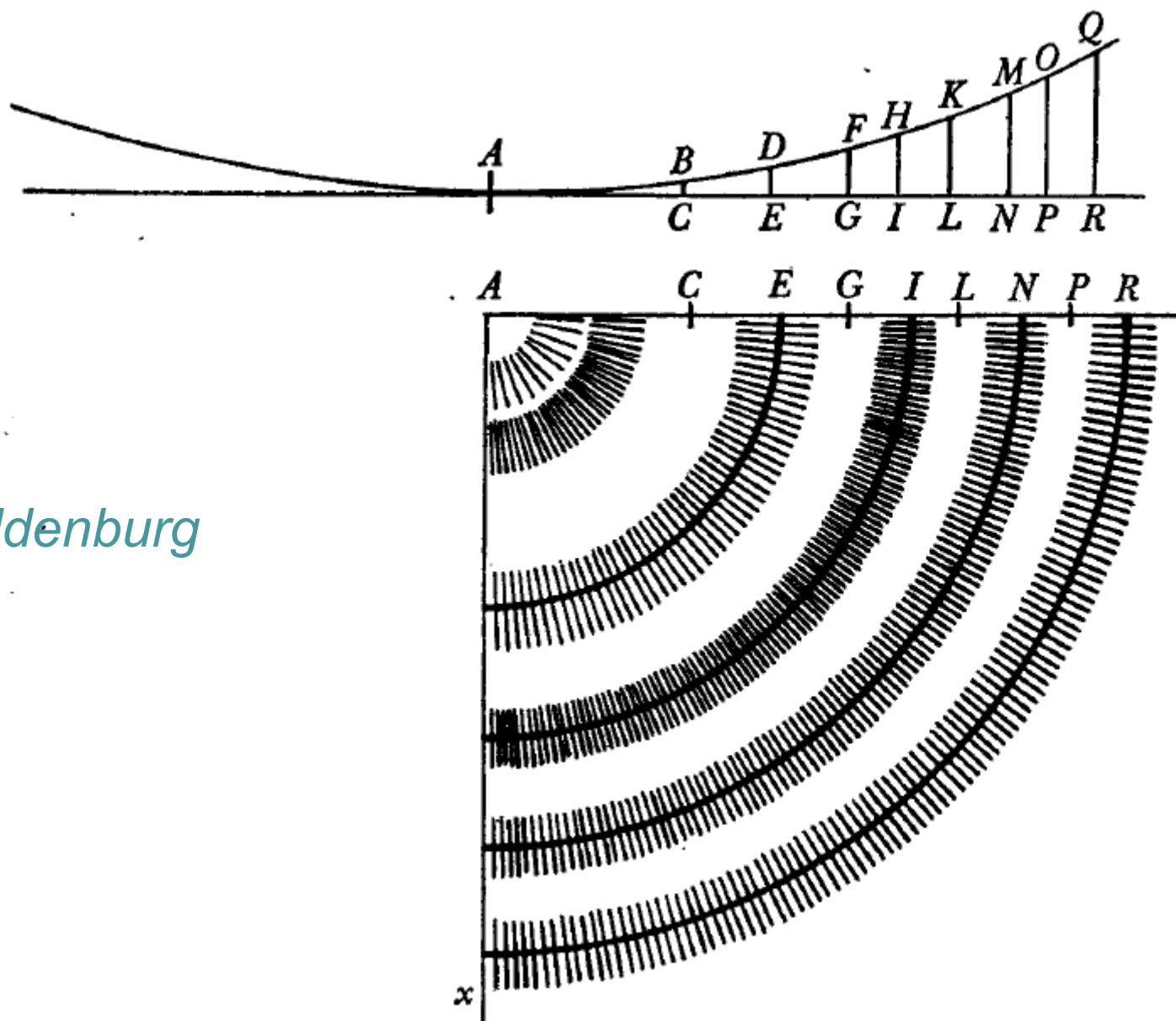


Figura 4.



Figura 4.

De Broglie ?!

Su queste basi possono essere capiti tutti i fenomeni della *rifrazione*. Ma per spiegare i colori ottenuti dalle *riflessioni*, io devo ancora supporre che, sebbene la luce sia inimmaginabilmente veloce, le vibrazioni dell'etere, eccitate da un raggio abbiano un movimento più veloce di quello del raggio stesso, così da raggiungerlo e da sorpassarlo una dopo l'altra. E questa, credo, riterranno una supposizione accettabile coloro che sono stati inclini a sospettare che le stesse vibrazioni potessero essere la luce. Ma per rendere la supposizione più accettabile, è possibile che la stessa luce non sia così veloce come alcuni sono indotti a pensare; infatti, nonostante certi argomenti che conosco, il tempo necessario per giungere dal sole fino a noi può essere, al contrario, di una o due ore, se non di più. Supposta dunque questa velocità delle vibrazioni, se la luce è incidente su una pellicola sottile o su una lamina di un qualunque corpo trasparente, le onde eccitate dal passaggio di essa attraverso la prima superficie, raggiungendola una dopo l'altra, finché arriva sulla seconda superficie, la obbligheranno ad essere in quel luogo riflessa o rifratta a seconda che abbia raggiunto la parte condensata o espansa

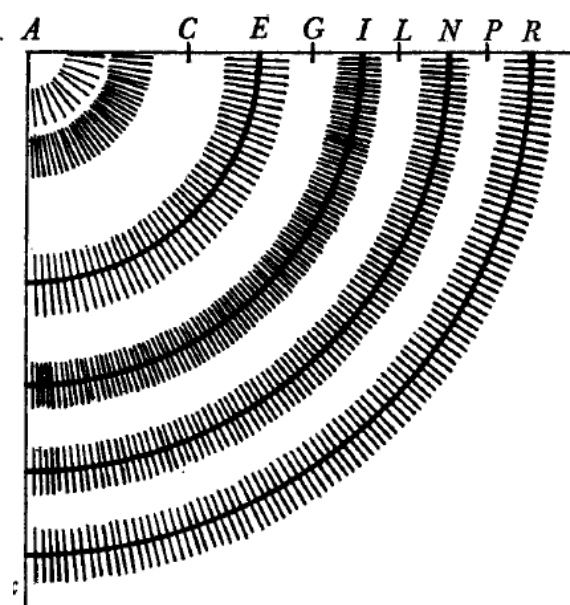
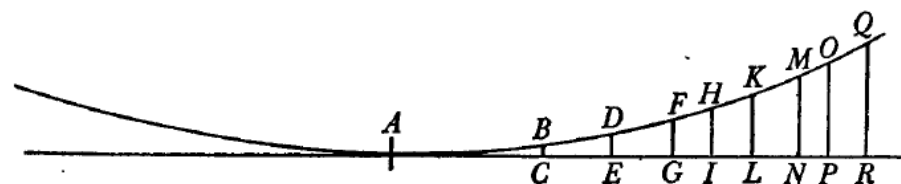


Figura 4.

dell'onda {per comprimere o espandere quella superficie fisica e, perciò, per aumentare o diminuire il suo potere di riflessione}. Se la lamina è di tale spessore che la parte condensata della prima onda raggiunge il raggio sulla seconda superficie, esso in quel luogo deve essere riflesso; se lo spessore fosse il doppio della successiva parte rarefatta dell'onda che lo raggiunge, cioè lo spazio tra quella e la prossima onda, *in quel luogo* deve essere trasmesso; se lo spessore fosse il triplo della parte condensata della seconda onda che lo raggiunge, *in quel luogo* deve essere riflesso; e così allorché la lamina è 5, 7 o 9 volte quello spessore, il raggio deve essere riflesso a causa del fatto che la terza, quarta o quinta onda lo raggiunge sulla seconda superficie; ma quando è 4, 6 o 8 volte quello spessore, per cui il raggio può essere raggiunto per effetto dell'intervallo dilatato di quelle onde, esso sarà *trasmesso*, e così via: la seconda superficie essendo resa idonea o non idonea a riflettere secondo che sia condensata o espansa dalle onde¹⁰. *AH*, per esempio, rappresenti la superficie di

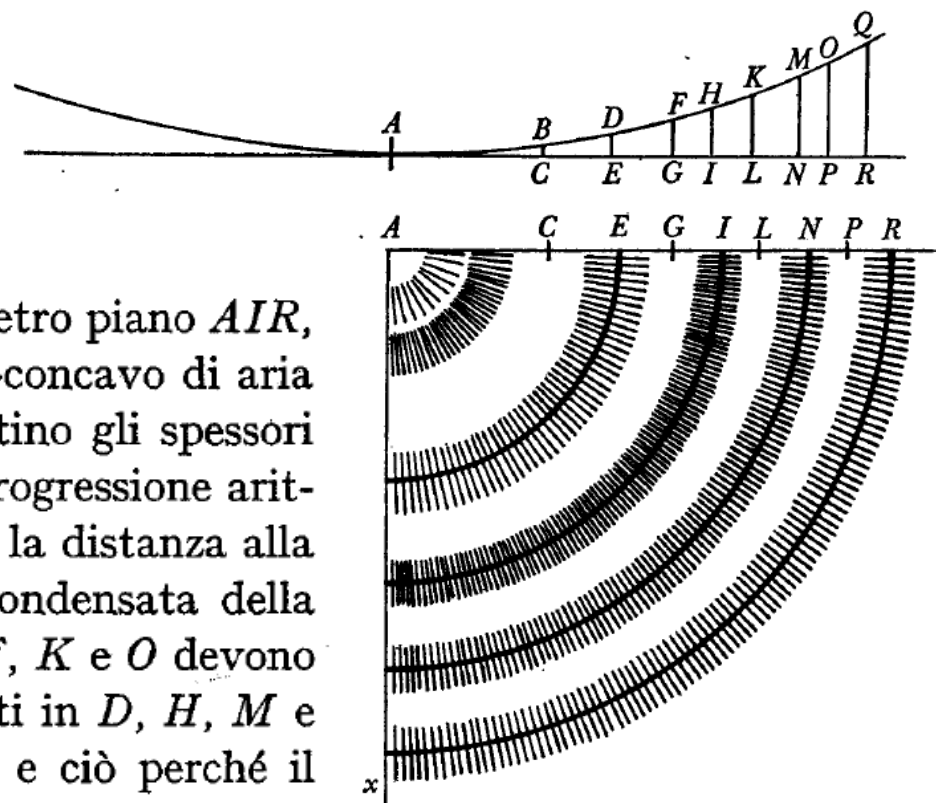


Figura 4.

un vetro sferico convesso che giace sopra un vetro piano AIR , e $AIRQH$ rappresenti un sottile strato piano-concavo di aria fra loro, e BC , DE , FG , HI , ecc., rappresentino gli spessori di quello strato o le distanze dei vetri nella progressione aritmetica dei numeri 1, 2, 3, 4, ecc., in cui BC è la distanza alla quale il raggio è raggiunto dalla parte più condensata della prima onda; dico che i raggi incidenti in B , F , K e O devono essere riflessi in C , G , L e P , e quelli incidenti in D , H , M e Q devono essere trasmessi in E , I , N e R ; e ciò perché il raggio BC arriva sulla superficie AC quando è condensato dalla prima onda che lo raggiunge; su DE , quando è rarefatto dall'intervallo della prima e della seconda onda; su FG , quando è condensato dalla seconda onda; su HI , quando viene rarefatto dall'intervallo della seconda e della terza; e così via per un numero indeterminato di successioni; e in A , centro o punto di contatto dei vetri la luce deve essere trasmessa, perché in quel luogo i mezzi eterei in entrambi i vetri sono continui come se non fossero altro che un mezzo

uniforme. Quindi, se i vetri che hanno questa posizione vengono guardati dall'alto, deve apparire in *A*, punto di contatto dei vetri, una macchia nera, e intorno a quella molti cerchi concentrici luminosi e oscuri, i quadrati dei semidiametri dei quali risultano al senso in progressione aritmetica. Tuttavia, non tutti i raggi senza eccezione sono riflessi o trasmessi in questo modo; qualche volta, infatti, un raggio può essere raggiunto sulla seconda superficie dalle vibrazioni originate da un altro raggio collaterale o immediatamente successivo, la vibrazione del quale, essendo altrettanto forte o addirittura più forte della propria, può obbligarlo ad essere riflesso o ad essere trasmesso, mentre per effetto della sua sola vibrazione farebbe il contrario. Di conseguenza, qualche po' di luce sarà riflessa dagli anelli neri, il che li rende alquanto neri piuttosto che totalmente neri; e qualche altro po' sarà trasmesso verso gli anelli luminosi – il che rende gli anelli scuri – che appaiono sull'altro lato dei vetri, non talmente neri quali essi altrimenti sarebbero. E così nella macchia nera centrale, dove il contatto fra i vetri non è assoluto, sarà riflessa un po'

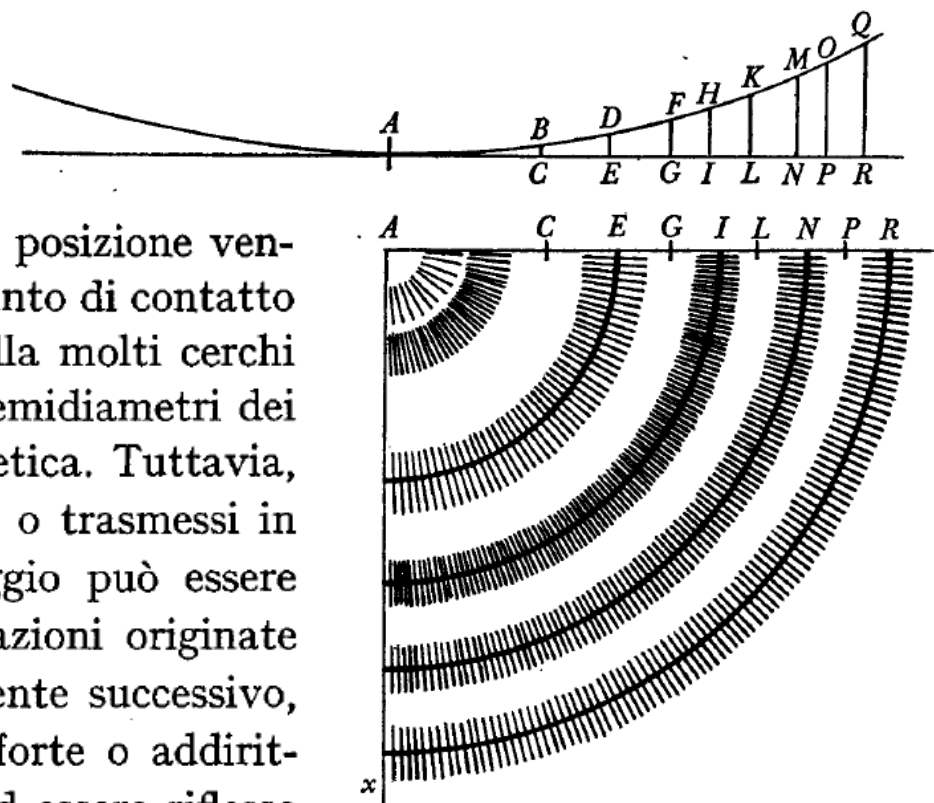


Figura 4.

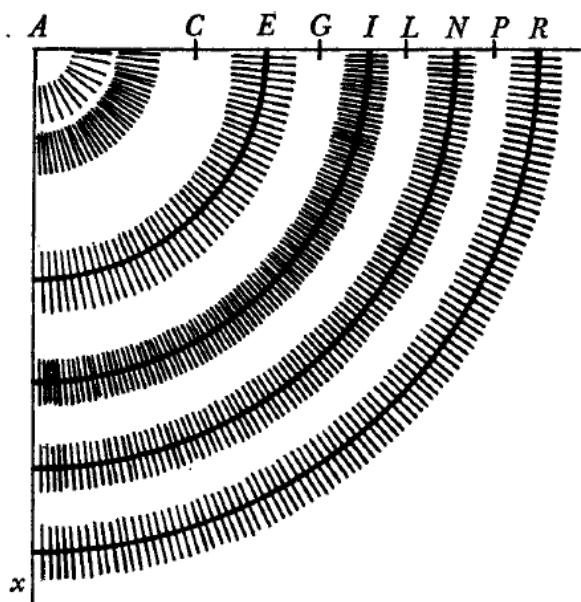
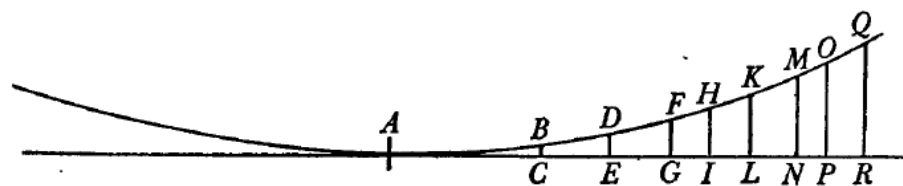


Figura 4.

di luce, il che rende la macchia nerissima nel centro e soltanto oscura sui lati. Ho infatti osservato che le cose stanno così, legando insieme molto fortemente due prismi di vetro che casualmente erano (almeno uno di essi) leggermente convessi, poi guardando sotto illuminazioni diverse questa macchia nera nel punto di contatto. Se un foglio di carta bianca veniva collocato a breve distanza dietro una candela, e la candela e il foglio di carta venivano guardati alternatamente alla luce del riflesso proveniente dalla macchia, gli orli della macchia, che per effetto della luce proveniente dalla carta si mostravano altrettanto neri che nella parte centrale, per effetto della luce più forte della candela apparivano abbastanza luminosi, così da far sembrare la macchia più piccola di prima, ma la parte centrale continuava ad essere assolutamente nera tanto in un caso come nell'altro, eccettuate soltanto alcune chiazze e alcune striscie su di essa, dove suppongo che i vetri, a causa di qualche irregolarità nella molatura, non combaciassero perfettamente. Ho osservato la medesima cosa guardando la macchia sotto un'analogha riflessione del sole e delle nuvole alternatamente.

Ma per tornare agli anelli luminosi e neri, questi anelli dovrebbero apparire sempre secondo il modo descritto, se la luce fosse uniforme. E devono apparire secondo quel modo anche quando i due vetri contigui AQ e AR sono stati illuminati, in una camera oscura, con la luce di un qualsiasi colore uniforme prodotto con un prisma. Ho visto apparire una ventina di cerchi luminosi con molti cerchi scuri fra essi: il colore di quelli luminosi essendo quello della luce con la quale i vetri venivano illuminati. E se i vetri venivano tenuti tra l'occhio e i colori prismatici, proiettati su un foglio di carta bianca, o se un qualsiasi colore prismatico veniva direttamente proiettato attraverso i vetri verso un foglio di carta messo un po' discosto, vi apparivano altri anelli di colore e di oscurità (nel primo caso tra i vetri, nel secondo sulla carta) che corrispondevano, ma in modo affatto contrario, a quelli che apparirono per effetto della riflessione. Intendo dire che mentre per effetto della luce *riflessa* appariva una macchia nera nel mezzo e quindi un cerchio colorato, al contrario, per effetto della luce *trasmessa* appariva nel mezzo una macchia colorata e quindi un cerchio nero, e così via. I diametri dei cerchi colorati, prodotti per trasmissione, erano uguali ai diametri di quelli neri prodotti per riflessione.

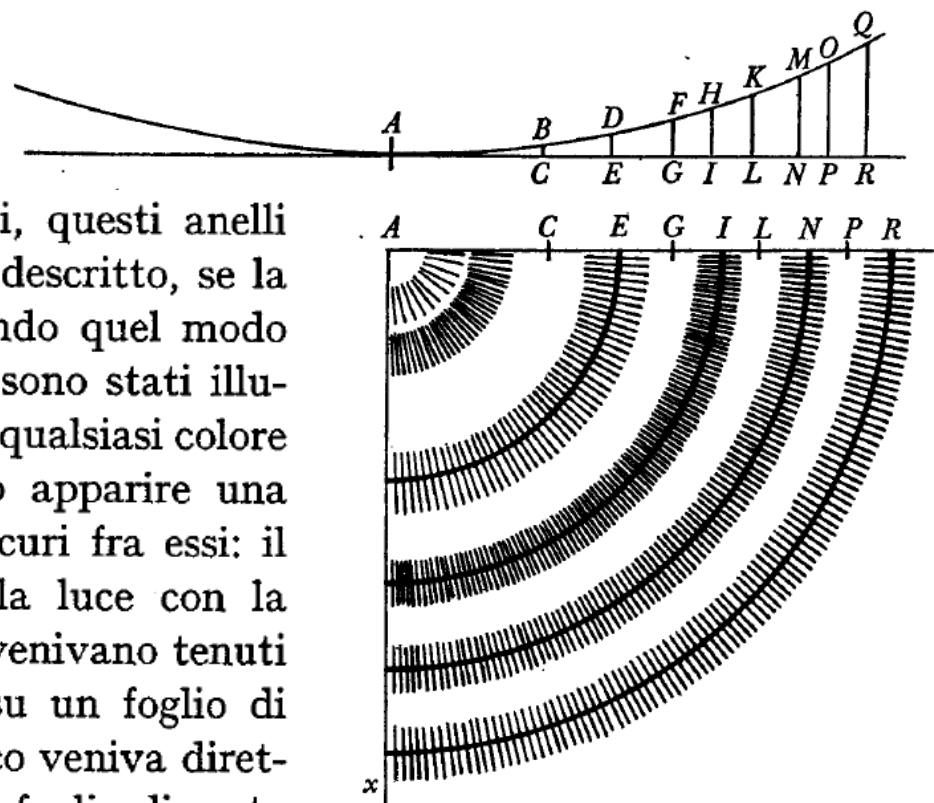


Figura 4.

Dico che gli anelli, quando sono prodotti per effetto di una luce *uniforme*, appaiono e devono apparire in questo modo, ma nel caso di luce *composta* le cose stanno altrimenti. Infatti, i raggi che esibiscono il rosso e il giallo, eccitano nell'etere, come ho già detto, vibrazioni più ampie di quelle che formano l'azzurro e il violetto, e conseguentemente, formano cerchi più grandi secondo una data proporzione, come manifestamente ho trovato che fanno, illuminando i vetri successivamente con i predetti colori del prisma in una camera ben oscurata, senza cambiare la posizione del mio occhio o dei vetri. Per conseguenza, i cerchi formati illuminando i vetri con luce bianca non avrebbero dovuto apparire neri e bianchi alternatamente, come invece appaiono rossi e neri i cerchi formati illuminando i vetri, per esempio, con luce rossa. I colori, infatti, che compongono la luce bianca devono mostrarsi per riflessione: l'azzurro e il violetto più vicini al centro che non il rosso e il giallo, per cui ogni cerchio luminoso deve diventare violetto nell'orlo interno, rosso in quello esterno, e dei colori intermedi nelle parti intermedie, e deve essere più largo di prima in quanto estende i propri colori su entrambi i lati in quegli spazi che denomino anelli neri, e che anche qui apparirebbero neri, se il rosso, il giallo, l'azzurro e il viola, che formano l'orlo degli anelli fossero eliminati dalla luce bianca incidente che illumina i vetri, e soltanto il verde venisse lasciato a formare gli anelli luminosi. Si supponga che

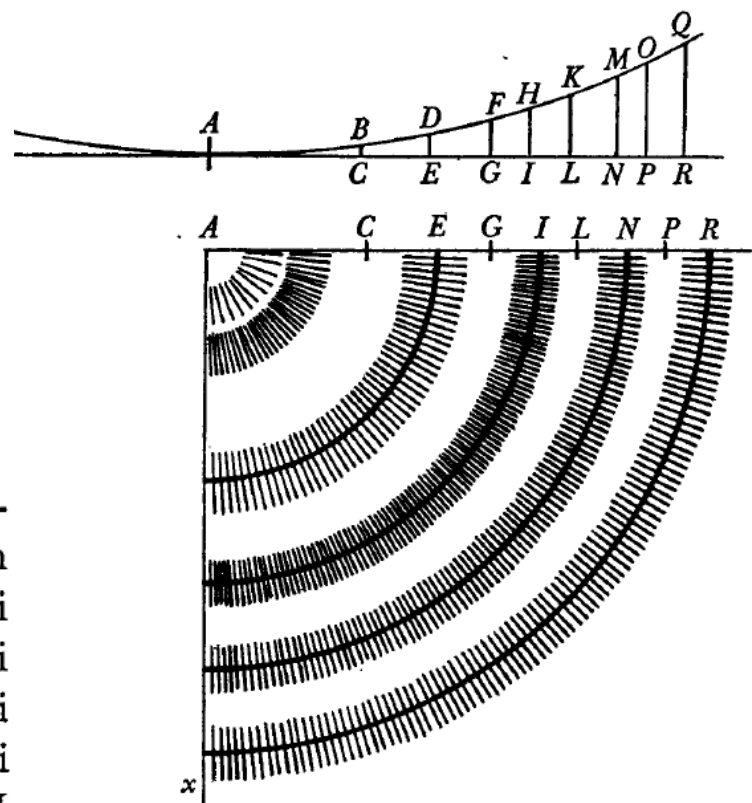


Figura 4.

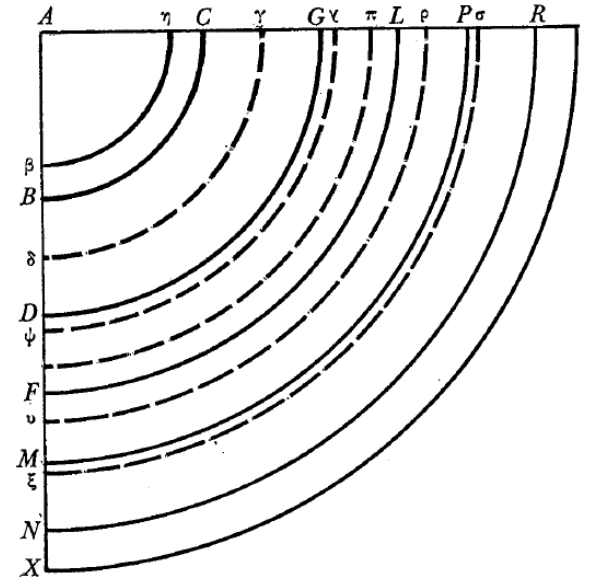
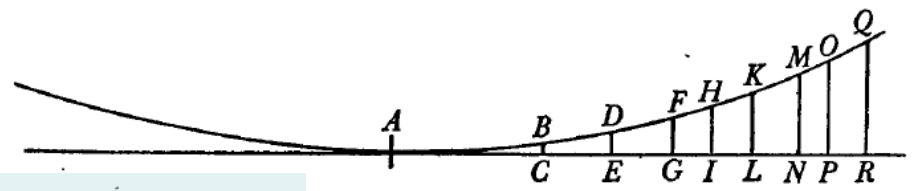


Figura 5.

Figura 4.

Si supponga che

CB , GD , LF , PM , RN , SX , rappresentino i quadranti dei cerchi formati, in una camera oscura, dal solo intensissimo rosso prismatico, e $\eta\beta$, $\gamma\delta$, $\lambda\phi$, $\pi\mu$, $\rho\nu$, $\sigma\xi$, i quadranti di analoghi cerchi formati sempre in una camera oscura dal solo intensissimo violetto prismatico: allora, se i vetri fossero illuminati dalla piena luce diurna, nella quale sono mescolati tutti i generi di raggi, è manifesto che il primo anello luminoso sarà $\eta\beta BC$, il secondo $\gamma\delta DG$, il terzo $\lambda\phi FL$, il quarto $\pi\mu MP$, il quinto $\rho\nu NR$, il sesto $\sigma\xi XS$, ecc.; in tutti il violetto intenso deve essere riflesso nei bordi interni rappresentati dalle linee tratteggiate, dove sarebbe riflesso se fosse solo, e il rosso intenso sui bordi esterni rappresentati dalle linee nere, dove sarebbe riflesso se fosse solo, e tutti i colori intermedi in quei luoghi, in ordine, che stanno fra questi bordi in cui essi sarebbero riflessi se fossero soli: ciascuno di essi diviso, in una camera oscura, da tutti gli altri colori per effetto della rifrazione di un prisma. E poiché i quadrati dei semidiametri degli orli esterni AC , AG , AL , ecc., nonché di $A\eta$, $A\gamma$, $A\lambda$, ecc., i semidiametri degli orli interni stanno nella progressione aritmetica dei numeri 1, 3, 5, 7, 9, 11, ecc., e i quadrati

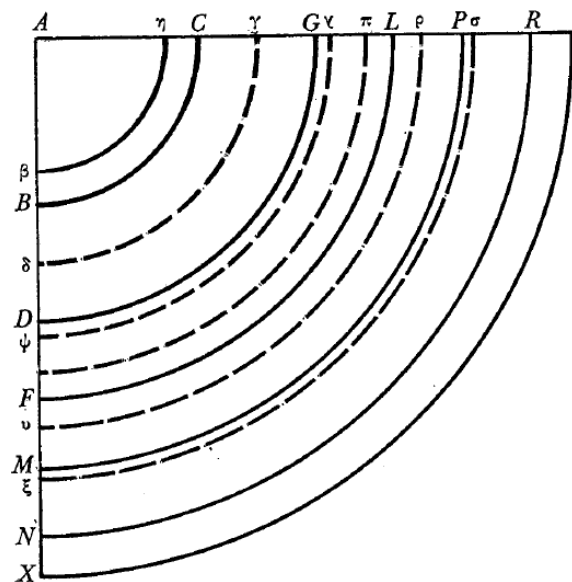
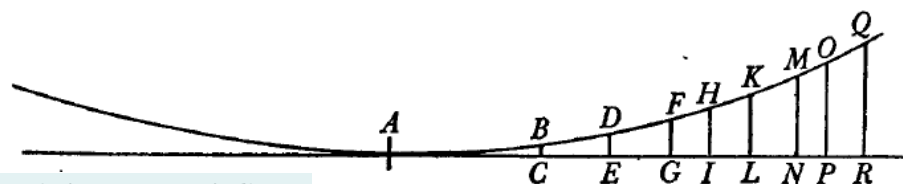


Figura 5.

Figura 4.

degli interni stanno ai quadrati degli esterni ($A\eta^2$ a AC^2 , $A\gamma^2$ a AG^2 , $A\lambda^2$ a AL^2 , ecc.) come 9 a 14 (come ho trovato misurandoli accuratamente e spesso, e confrontando le osservazioni); quindi, l'orlo esterno *rosso* del secondo anello, e quello interno *violetto* del terzo saranno vicini l'uno all'altro (come si può apprendere dal calcolo e come si può vederli rappresentati nella figura) e gli analoghi bordi del terzo e del quarto anello interferiranno, e quelli del quarto e del quinto interferiranno di più, e così via. Tuttavia, i colori di ciascun anello devono espandersi in entrambe le direzioni alquanto di più di quanto viene qui rappresentato, in quanto gli archi di quadrante qui descritti rappresentano non gli orli bensì le zone mediane degli anelli prodotti in una camera oscura dai colori estremi violetto e rosso: il *violetto* in quanto cade su entrambi i lati degli archi tratteggiati, e il rosso su entrambi i lati degli archi designati dalla linea nera. Ne discende che questi anelli o cerchi di colore si succedono l'un l'altro continuamente, senza alcun intervento del nero, e che i colori sono puri soltanto nei primi tre o quattro anelli, e poi, interferendo e mescolandosi sempre più, si diluiscono l'un l'altro a tal punto che dopo otto o nove anelli essi non sono più distinguibili, ma sembrano dare luogo a un bianco uniforme. Quando invece

Si supponga che

CB, GD, LF, PM, RN, SX , rappresentino i quadranti dei cerchi formati, in una camera oscura, dal solo intensissimo rosso prismatico, e $\eta\beta, \gamma\delta, \lambda\phi, \pi\mu, \rho\nu, \sigma\xi$, i quadranti di analoghi cerchi formati sempre in una camera oscura dal solo intensissimo violetto prismatico: allora, se i vetri fossero illuminati dalla piena luce diurna, nella quale sono mescolati tutti i generi di raggi, è manifesto che il primo anello luminoso sarà $\eta\beta BC$, il secondo $\gamma\delta DG$, il terzo $\lambda\phi FL$, il quarto $\pi\mu MP$, il quinto $\rho\nu NR$, il sesto $\sigma\xi XS$, ecc.;

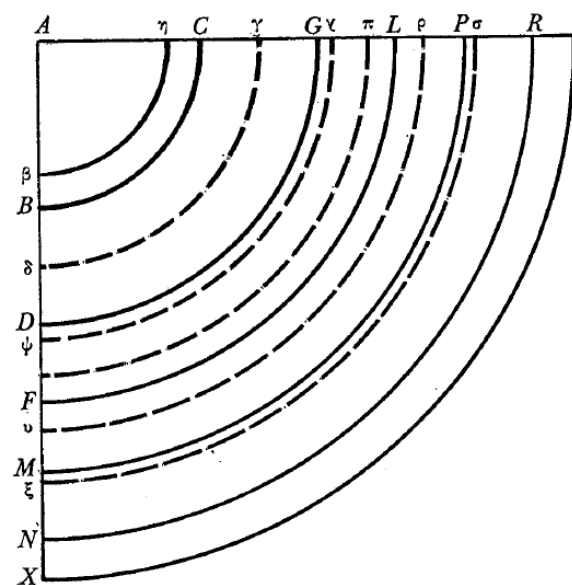
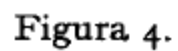
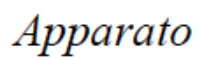


Figura 5.

E poiché i quadrati dei semidiametri degli orli esterni AC, AG, AL , ecc., nonché di $A\eta, A\gamma, A\lambda$, ecc., i semidiametri degli orli interni stanno nella progressione aritmetica dei numeri 1, 3, 5, 7, 9, 11, ecc., e i quadrati degli interni stanno ai quadrati degli esterni ($A\eta^2$ a AC^2 , $A\gamma^2$ a AG^2 , $A\lambda^2$ a AL^2 , ecc.) come 9 a 14 (come ho trovato misurandoli accuratamente e spesso,

$$\frac{r_m^2}{R} = m\lambda$$



Raggio degli anelli

Sia R il raggio di curvatura della superficie inferiore della lente;
 r_m il raggio dell' m^o anello scuro. Sia t lo spessore dello strato
d'aria corrispondente al punto P in figura

La differenza di cammino fra i raggi riflessi in Q e in P è
approssimativamente $2t$ (per visione verticale e piccolo raggio r_m)
Ma:

$$r_m^2 = t(2R - t)$$

Se t è piccolo, possiamo trascurare il termine t^2 , ottenendo:

$$t = \frac{r_m^2}{2R}$$

Quindi la differenza di cammino è :

$$2t = \frac{r_m^2}{R}$$

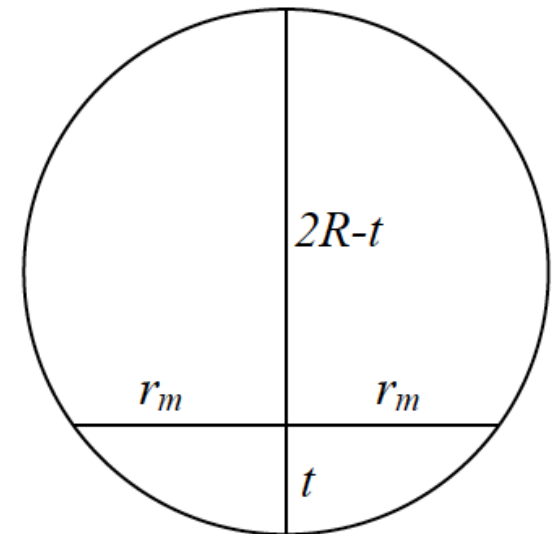
La fase dell'onda in P cambia di 180° per riflessione. Se a ciò si
aggiunge una differenza di cammino pari a $m\lambda$ dovuta allo strato
d'aria, i due raggi verranno visti con una differenza di fase pari a
 180° subendo quindi interferenza distruttiva.

Quindi la condizione per ottenere **anelli scuri** è :

$$\frac{r_m^2}{R} = m\lambda$$

Corrispondentemente la condizione per ottenere **anelli chiari**
(interferenza costruttiva) risulta essere:

$$\frac{r_m^2}{R} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$



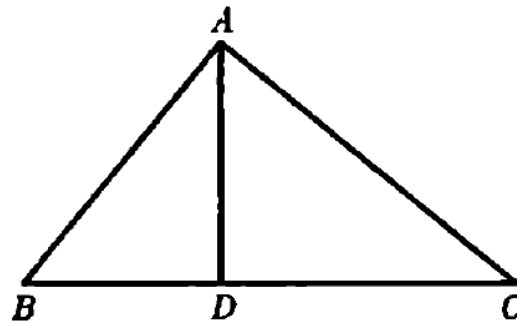
LIBRO VI:

PROPOSIZIONE 8.

Se in un triangolo rettangolo si conduce la perpendicolare dall'angolo retto sulla base, la stessa perpendicolare divide il triangolo in due triangoli simili ^a a tutto quanto il triangolo e fra loro ³.

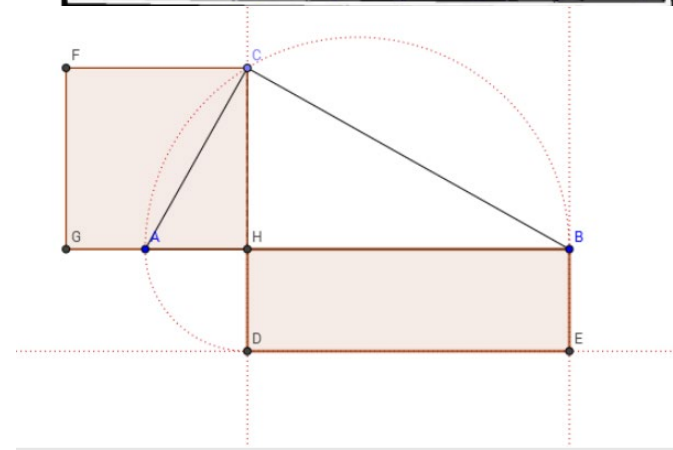
APPLICA: I, 32; VI, 4.

È APPLICATA IN: VI, 31; X, 32 lemma; XIII, 15, 16, 18.



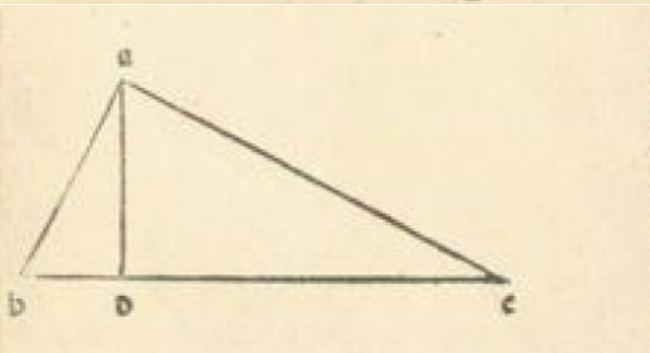
COROLLARIO.

È da ciò evidente che, se in un triangolo rettangolo si conduce la perpendicolare dall'angolo retto sulla base, la retta così condotta è media proporzionale fra le parti nelle quali essa divide la base ^a. – C.D.D.



Propositio .8.

S ab orthogonij angulo recto ad basim linea perpendi-
cularis ducatur. fiet duo trianguli partiales toti triangu-
lo & sibi inuicem similes. Unde etiam manifestum est quia
in omni triangulo rectangulo si ab eius angulo recto ad
basim perpendicularis ducatur. erit ipsa perpendicula-
ris inter duas sectiones ipsius basis proportionalis. Itemq3 vtrūq3
latus inter totam basim atq3 sibi conterminale basis portionem.
¶ Sit trigonus. a. b. c. orthogonius eiusq3 angulus. a. rectus a quo ducatur. a. d.

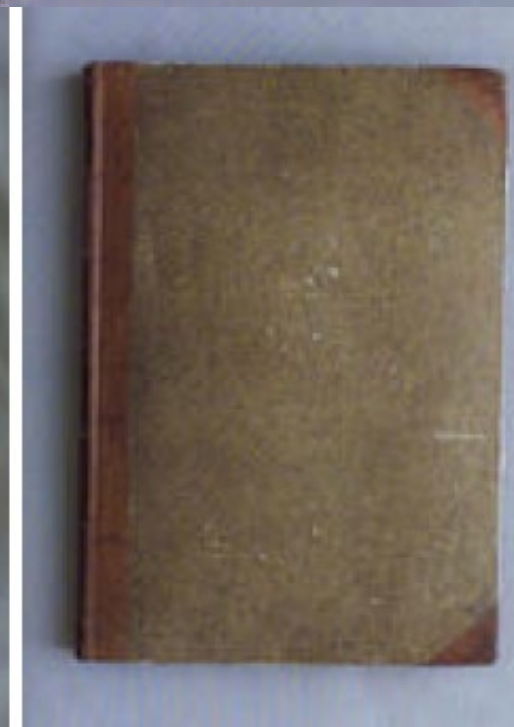


Posner Family Collection in Electronic Format

513 E86E 1482 [Elementa geometriae.]

Euclides.

Carnegie Mellon



E poich  il raggio   disposto alla riflessione nelle distanze 1, 3, 5, 7, 9, ecc., e alla trasmissione alle distanze 0, 2, 4, 6, 8, 10, ecc., (infatti, la sua trasmissione attraverso la prima superficie avviene alla distanza 0, ed   trasmesso attraverso tutt'e due se la distanza di esse   infinitamente piccola o molto minore di 1) la disposizione ad essere trasmesso alle distanze 2, 4, 6, 8, 10, ecc., va considerata un ritorno della medesima disposizione che il raggio aveva prima alla distanza 0, ossia al momento della sua trasmissione attraverso la prima superficie di rifrazione. Tutto ci    cosa che dovr  provare.

Di che genere di azione o di disposizione si tratti, se consiste di un movimento circolare oppure vibratorio del raggio, oppure di un movimento del mezzo, oppure di qualche altra cosa, qui non indago. Coloro che sono contrari ad ammettere una qualsiasi nuova scoperta, salvo che non possa essere spiegata da un'ipotesi, possono al momento supporre che come le pietre che cadono nell'acqua conferiscono all'acqua un movimento ondulatorio, e come tutti i corpi percossi suscitano nell'aria vibrazioni, cos  i raggi di luce, urtando su una qualsiasi superficie rifrangente o riflettente, suscitano vibrazioni nel mezzo o nella sostanza rifrangente o riflettente; che suscitandole, agitano le parti solide del corpo rifrangente o riflettente, e agitandole fanno s  che il corpo diventi caldo o ardente; che le vibrazioni cos  suscitate sono propagate nei mezzi o nelle sostanze rifrangenti o ri-

SCRITTI DI OTTICA

di

Isaac Newton

A CURA DI

ALBERTO PALA

UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE TORINESE

E poich  il raggio   disposto alla riflessione nelle distanze 1, 3, 5, 7, 9, ecc., e alla trasmissione alle distanze 0, 2, 4, 6, 8, 10, ecc., (infatti, la sua trasmissione attraverso la prima superficie avviene alla distanza 0, ed   trasmesso attraverso tutt'e due se la distanza di esse   infinitamente piccola o molto minore di 1) la disposizione ad essere trasmesso alle distanze 2, 4, 6, 8, 10, ecc., va considerata un ritorno della medesima disposizione che il raggio aveva prima alla distanza 0, ossia al momento della sua trasmissione attraverso la prima superficie di rifrazione. Tutto ci    cosa che dovr  provare.

Di che genere di azione o di disposizione si tratti, se consiste di un movimento circolare oppure vibratorio del raggio, oppure di un movimento del mezzo, oppure di qualche altra cosa, qui non indago. Coloro che sono contrari ad ammettere una qualsiasi nuova scoperta, salvo che non possa essere spiegata da un'ipotesi, possono al momento supporre che come le pietre che cadono nell'acqua conferiscono all'acqua un movimento ondulatorio, e come tutti i corpi percossi suscitano nell'aria vibrazioni, cos  i raggi di luce, urtando su una qualsiasi superficie rifrangente o riflettente, suscitano vibrazioni nel mezzo o nella sostanza rifrangente o riflettente; che suscitandole, agitano le parti solide del corpo rifrangente o riflettente, e agitandole fanno s  che il corpo diventi caldo o ardente; che le vibrazioni cos  suscitate sono propagate nei mezzi o nelle sostanze rifrangenti o ri-

flettenti, in maniera analoga al modo in cui le vibrazioni sono propagate nell'aria per produrre il suono; che esse si muovono pi  rapidamente dei raggi di modo che li raggiungono; che quando un raggio qualsiasi sta in quella parte della vibrazione che cospira col suo proprio moto, esso passa facilmente attraverso una superficie rifrangente, ma quando sta nella parte contraria della vibrazione che ne impedisce il moto, esso   facilmente riflesso; e che, di conseguenza, ogni raggio   alternativamente disposto ad essere facilmente riflesso o facilmente trasmesso da ogni vibrazione che lo raggiunge. Ma se questa ipotesi sia vera o falsa, io qui non considero. Mi accontento di avere scoperto che i raggi di luce hanno, per una causa o per un'altra, alternativamente la disposizione ad essere riflessi o ad essere rifratti per parecchie volte.

DEFINIZIONE.

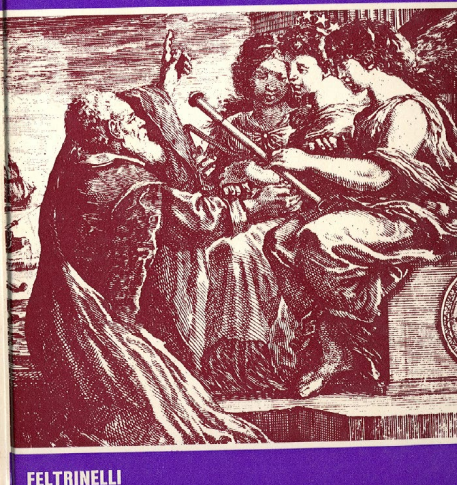
Chiamer  impulsi (fits) alla facile riflessione i ritorni della disposizione di un raggio qualsiasi ad essere riflesso, e impulsi alla facile trasmissione i ritorni della sua disposizione ad essere trasmesso, e chiamer  intervallo fra i suoi impulsi lo spazio esistente tra ogni ritorno e il successivo ritorno.

PROPOSIZIONE XIII.

La ragione per cui le superfici di tutti i corpi trasparenti spessi riflettono una parte della luce incidente su essi, e rifrangono il resto,   che alcuni raggi al momento della loro incidenza si trovano in impulsi alla facile riflessione, e altri in impulsi alla facile trasmissione.

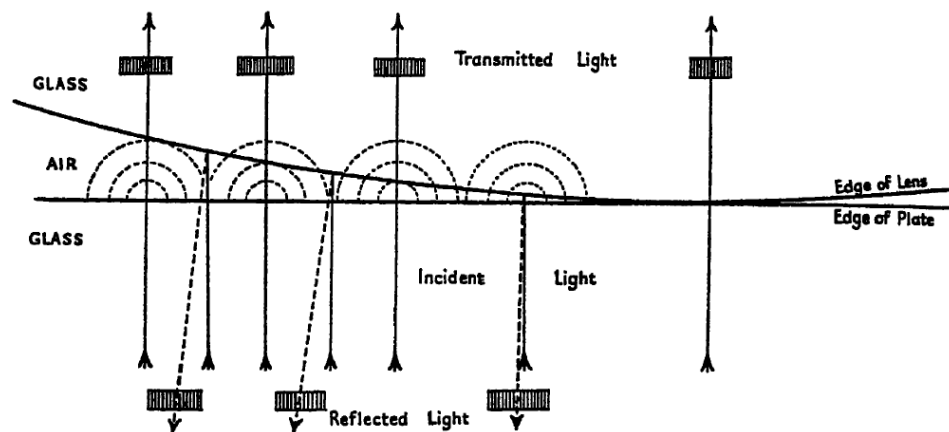
Da Galileo a Newton

1630-1720



Newton poteva ora abbandonare la sua ipotesi dell'etere; bastava infatti postulare solo, com'egli fece nell'*Opticks*, che i raggi fossero disposti in "sbalzi" regolari, di facile trasmissione e di facile riflessione, senza ricercarne una spiegazione fisica. Partendo da questo postulato, tutto il resto della teoria poteva essere sviluppato per via esclusivamente matematica. Il successo maggiore che Newton ottenne mediante questa teoria fu di riuscire a calcolare, sulla base delle dimensioni della sua apparecchiatura la misura degli spazi d'aria corrispondenti ai vari anelli; essi erano pari a 5,5 milionesimi di pollice (14 milionesimi di centimetro, moltiplicati per la serie dei numeri pari: 14 milionesimi di centimetro corrispondono a circa un quarto della lunghezza d'onda della luce gialla). Ora, poiché la teoria di Newton richiedeva che i raggi venissero riflessi quando lo spessore della lastra sottile (o dello spazio d'aria) era uguale a un multiplo pari di una semi-lunghezza d'onda degli "sbalzi," ne conseguiva che questa lunghezza era uguale a circa 11 milionesimi di pollice per la luce gialla — valore pari a circa la metà di quello reale.²³

$$2t = m\lambda$$





LIBRO SECONDO DELL'OTTICA

PARTE II.

$$\frac{r_m^2}{R} = m\lambda$$

Osservazione 16. I quadrati dei diametri di questi anelli formati da un qualsiasi colore prismatico erano in progressione aritmetica, come nella quinta osservazione. E il diametro del sesto cerchio, quando veniva formato un giallo limone e quando veniva osservato quasi perpendicolarmente, era circa $\frac{58}{100}$ di pollice, o un po' meno, in accordo con la sesta osservazione.

471

$$t = \frac{r_m^2}{2R}$$

Se viene richiesto in parti di pollice non soltanto l'ordine e le specie di questi colori, ma anche il preciso spessore della lamina, o corpo sottile, in cui i colori sono presentati, ciò può essere ottenuto con l'aiuto delle osservazioni sesta e sedicesima. Infatti, secondo queste osservazioni, gli spessori dell'aria assottigliata, che tra due lenti presenta le parti massimamente luminose dei primi sei anelli, sono $\frac{1}{178000}$, $\frac{3}{178000}$, $\frac{5}{178000}$, $\frac{7}{178000}$, $\frac{9}{178000}$, $\frac{11}{178000}$ parti di un pollice.

SCRITTI DI OTTICA

di
Isaac Newton

A CURA DI
ALBERTO PALA

UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE TORINESE

$$2t = m\lambda$$

Su queste basi ho composto la seguente tabella, nella quale lo spessore dell'aria, dell'acqua e del vetro, in cui ciascun colore ha la massima intensità e specificità, è espressa in parti di pollice, diviso in un milione di parti uguali.

473

Spessore delle lamine colorate e particelle di

		Aria	Acqua	Vetro
Colori del primo ordine	Molto nero	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$
	Nero	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$
	Inizio del nero	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$
	Azzurro	$2\frac{2}{3}$	$1\frac{4}{3}$	$1\frac{11}{22}$
	Bianco	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{3}$
	Giallo	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{3}$
	Arancione	8	6	$5\frac{1}{6}$
	Rosso	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{3}$
	Violetto	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{3}$
Del secondo ordine	Indaco	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{3}{8}$	$8\frac{2}{11}$
	Azzurro	14	$10\frac{1}{2}$	9
	Verde	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{2}{3}$	$9\frac{3}{7}$
	Giallo	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{3}$	$10\frac{2}{3}$
	Arancione	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$
	Rosso acceso	$18\frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{3}{6}$
	Scarlatto	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$

The absolute length and frequency of each vibration is expressed in the table; supposing light to travel in $8\frac{1}{8}$ minutes 500,000,000,000 feet.

Colours.	Length of an Undulation in parts of an Inch, in Air.	Number of Undulations in an Inch.	Number of Undulations in a Second.
Extreme -	.0000266	37640	463 millions of millions
Red - -	.0000256	39180	482
Intermediate	.0000246	40720	501
Orange - -	.0000240	41610	512
Intermediate	.0000235	42510	523
Yellow - -	.0000227	44000	542
Intermediate	.0000219	45600	561 (= 2 nd nearly)
Green - -	.0000211	47460	584
Intermediate	.0000203	49320	607
Blue - -	.0000196	51110	629
Intermediate	.0000189	52916	652
Indigo - -	.0000185	54070	665
Intermediate	.0000181	55240	680
Violet - -	.0000174	57490	707
Extreme - -	.0000167	59750	735

Wavelength
(nm)

650

609

576

536

497

469

444

SCRITTI DI OTTICA

di
*Isaac Newton*A CURA DI
ALBERTO PALA

UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE TORINESE

PARTE IV.

Osservazioni riguardanti le riflessioni e i colori delle lamine sottili, trasparenti e levigate.

Osservazione 1. Brillando il sole nella mia camera oscurata attraverso un foro ampio un terzo di pollice, feci in modo che un raggio della luce immessa cadesse perpendicolarmente su uno specchio, concavo da un lato e convesso dall'altro, ricavato da una sfera di cinque piedi e undici pollici di raggio, e ricoperto di mercurio sul lato convesso. E tenendo un cartone bianco opaco, o un quinterno di carta al centro della sfera dalla quale lo specchio era stato ricavato, cioè alla distanza di circa cinque piedi e undici pollici dallo specchio, in maniera tale che il raggio della luce passasse attraverso un piccolo foro praticato nel centro del cartone in direzione dello specchio, e di qui venisse riflesso verso il medesimo foro, osservai sopra il cartone quattro o cinque iridi o anelli di colore concentrici, simili ad arcobaleni, che

SCRITTI DI OTTICA

di
Isaac Newton

A CURA DI
ALBERTO PALA

UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE TORINESE

PROPOSIZIONE XIX.

Se un qualche tipo di raggi, che cade sulla superficie levigata di un qualsiasi mezzo trasparente, viene riflesso, gli impulsi alla facile riflessione che essi hanno nel punto di riflessione, continueranno ancora a tornare; e i ritorni saranno distanti dal punto di riflessione nella progressione aritmetica dei numeri 2, 4, 6, 8, 10, 12, ecc., e tra gli intervalli di questi impulsi i raggi saranno in impulsi alla facile trasmissione.

la luce degli anelli di colore. Trovai, inoltre, che uno specchio di metallo senza vetro, costruito alcuni anni prima per usi ottici, e molto ben lavorato, non produceva alcuno di quegli anelli; e perciò capii che questi anelli non provenivano da una sola superficie speculare, ma dipendono dalle due superfici della lamina di vetro, delle quali lo specchio era composto, e dallo spessore del vetro fra di esse. Infatti, come nelle

Così, dunque, nelle lamine di vetro che erano ugualmente concave su un lato, e ugualmente convesse sull'altro lato, e ugualmente ricoperte di mercurio sui lati convessi, e non differivano in nulla salvo che nel loro spessore, i diametri degli anelli stavano mutuamente come la radice quadrata degli spessori delle lamine. E questo mostra a sufficienza

SCRITTI DI OTTICA

di
Isaac Newton

A CURA DI
ALBERTO PALA

UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE TORINESE

$$t = \frac{r_m^2}{2R}$$

Mi procurai, perciò, un'altra lamina concavo-convessa di vetro, molata su entrambe le superfici dalla medesima sfera della lamina precedente. Il suo spessore era di $\frac{5}{62}$ parti di pollice; e i diametri dei tre primi anelli brillanti misurati fra le parti più luminose delle loro orbite, alla distanza di sei piedi dal vetro, erano di 3, $4\frac{1}{6}$, $5\frac{1}{8}$ pollici. Ora, essendo lo spessore dell'altro vetro di $\frac{1}{4}$ di pollice, esso stava allo spessore di questo vetro come $\frac{1}{4}$ a $\frac{5}{62}$, ossia come 31 a 10, oppure come 310.000.000 a 100.000.000, e le radici di quei numeri sono 17607 e 10.000. E nella medesima proporzione della prima di queste radici alla seconda stanno i diametri degli anelli luminosi formati, in questa osservazione, dal vetro più sottile, cioè 3, $4\frac{1}{6}$, $5\frac{1}{8}$, ai diametri dei medesimi anelli formati, nella terza di queste osservazioni, dal vetro più spesso, $1\frac{11}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{11}{12}$, cioè, i diametri degli anelli sono mutuamente come le radici quadrate degli spessori delle lamine di vetro.

Così, dunque, nelle lamine di vetro che erano ugualmente concave su un lato, e ugualmente convesse sull'altro lato, e ugualmente ricoperte di mercurio sui lati convessi, e non differivano in nulla salvo che nel loro spessore, i diametri degli anelli stavano mutuamente come la radice quadrata degli spessori delle lamine. E questo mostra a sufficienza

Andrea Frova
Mariapiera Marenzana

Newton & Co. geni bastardi



*Rivalità e dispute
agli albori della fisica*

Prefazione di Piergiorgio Odifreddi

Carocci editore  Sfere

UNIVERSALE LATERZA

UL

Filosofia della fisica

Arthur S. Eddington



Arthur S. Eddington (Kendal, 1882-Cambridge, 1944) ha diretto gli osservatori di Greenwich e Cambridge e, dal 1913, ha insegnato Astronomia all'università di Cambridge. Nel 1919 guidò la spedizione inglese all'isola Principe che verificò le teorie di Einstein. Ha pubblicato numerose opere di divulgazione scientifica e di filosofia della scienza, fra cui **Spazio, tempo e gravitazione** (Torino 1971²).

SCOPERTA O COSTRUZIONE?

I

Circa 270 anni fa in questo Collegio (Trinity College) fu eseguito un esperimento storico, che si ritenne dimostrasse la natura composta della luce bianca. La spiegazione della scoperta, nei testi autorevoli di quando ero laureando, è la seguente ¹:

Si supponeva ancora che una qualsiasi rifrazione di luce producesse veramente del colore, anziché una semplice separazione di colori già esistenti nella comune luce bianca; ma nel 1666 Newton fece l'importante scoperta dell'esistenza reale di colori di tutte le specie nella luce solare, che egli dimostrò essere null'altro che un composto dei diversi colori, mescolati fra loro in date proporzioni e capaci di essere separati con una rifrazione di qualsiasi specie.

Sembra una cosa semplice dimostrare che la luce bianca del sole sia veramente una mescolanza di luce di colori differenti. Ma supponiamo che, invece di dimostrare ciò a uno studente docile, dobbiamo dimostrarlo a uno spiritualista, che sorvegli tutto ciò che facciamo con la stessa diffidenza che anche noi sentiremmo il dovere di

adottare nell'esaminare le sue asserzioni. Cominciamo col prendere uno spettroscopio. Uno spettroscopio a prisma ricorderebbe più da vicino Newton, ma può succedere di avere a disposizione uno spettroscopio a reticolo e non c'è ragione di cambiarlo. Lasciamo cadere un raggio di luce solare su di un'estremità dello strumento e invitiamo lo spiritualista ad applicare l'occhio all'altra estremità. Egli è sorpreso di vedere una luce verde brillante, che, gli diciamo, lo spettroscopio ha separato dagli altri colori presenti nella luce bianca solare. Sospettando un inganno, egli esamina ogni parte dello strumento. Scopre una lamina di vetro rigata con mille lineette parallele sottili. Trionfante, comprende come essa agisca. La luce cade obliquamente, in modo che le linee parallele la riflettano non simultaneamente, ma l'una dopo l'altra. Una singola vibrazione incidente viene così moltiplicata per riflessione in mille vibrazioni, susseguentisi a intervalli regolari. Evidentemente lo strumento è stato preparato per produrre quella particolare periodicità che i nostri occhi riconoscono come colore verde. Asserire che il colore verde (cioè la periodicità del verde) esistesse già nella luce solare sarebbe falso; avevamo nascosto nello strumento un dispositivo che speravamo non fosse scoperto, per introdurre la periodicità del verde. Lo spiritualista se ne va, convinto di aver svelato una frode grossolana.

Usando un reticolo invece di un prisma, che agisce più misteriosamente, abbiamo fatto fallire la dimostrazione. Com'è stato detto nella citazione precedente, prima di Newton il parere prevalente era che fosse veramente il prisma a produrre il colore, cosicché la parte essenziale della dimostrazione di Newton fu una serie di esperimenti intesi a provare che il prisma non produce il colore, ma lo separa. Questi esperimenti stavamo per mostrare allo spiritualista; ma ora non serve più mostrarli. Questi ulteriori esperimenti si eseguono tanto con

¹ Preston, *Theory of Light*, 2ª ed., p. 9.

un reticolo quanto con un prisma; e, qualunque cosa essi provino con il prisma, lo provano anche con il reticolo. È inutile ricorrere ad essi, perché comportano una conclusione che, nel caso del reticolo, vediamo che non è vera.

Credo non sia improbabile che, oggi, anche un esperto possa cadere in questa trappola — tale è il fascino di un esperimento storico. Egli è realmente più colto; ma non sempre si richiamano alla mente le proprie conoscenze quando ce n'è bisogno. La situazione fu resa chiara da Rayleigh e Schuster, ed essa ora infatti fa parte dell'ordinario insegnamento ottico.

La luce bianca, come la luce solare, è una perturbazione del tutto irregolare, senza nessuna tendenza alla periodicità. Ma, matematicamente, si può analizzare qualsiasi perturbazione, per quanto irregolare, nella somma dei componenti periodici di Fourier; e si può, se ci piace, pensare che la perturbazione consiste di questi componenti. Se lo spettroscopio *metta in evidenza* una periodicità particolare, oppure se esso la *imprima*, è puramente questione di modo di esprimersi. L'idea di « mettere in evidenza » è appropriata, perché lo spettroscopio non riuscirebbe a imprimere una periodicità particolare a una luce, in cui il componente di Fourier corrispondente fosse mancante; e infatti lo spettro solare mostra delle linee nere, dove la luce bianca manca di acquisire la periodicità corrispondente, a causa di certi componenti di Fourier che sono stati filtrati dalla luce prima che essa giunga fino a noi. Ma anche l'idea di « imprimere » la periodicità è appropriata; poiché non ci dovremmo aspettare che un'impressione venga ricevuta su di un materiale non adatto, e l'analisi di Fourier può essere considerata come una prova matematica preliminare per vedere se il materiale subirà l'impressione. Essa è appropriata in maniera par-

ticolare, quando si usi un reticolo, poiché « imprimere la periodicità » è allora un enunciato puramente elementare del *modus operandi*.

L'errore non consisteva nel dire che un componente verde esista già nella luce solare, perché questo è comunque un modo legittimo di pensare; ma nell'asserire che avremmo potuto decidere sperimentalmente tra due forme di descrizione ugualmente ammissibili. E, per nostra inavvertenza, è accaduto che la forma di descrizione da noi condannata fosse alquanto più naturale e appropriata di quella che ci eravamo impegnati a sostenere.

L'aver capito che la luce bianca naturale è una perturbazione del tutto irregolare, in cui la regolarità viene introdotta dal nostro metodo di esame spettroscopico, fu il primo segno del disagio provato tra i fisici, riguardo al fatto se, nelle nostre esperienze, possiamo non interferire tanto da distruggere quello che cercavamo di indagare. Il disagio è diventato più acuto nella fisica atomica moderna; poiché non abbiamo nessuno strumento abbastanza fino per esplorare un atomo senza disturbarlo seriamente.

La questione che sto per porre è: « Quanto scopriamo e quanto costruiamo con i nostri esperimenti? ». Quando il defunto Lord Rutherford ci mostrò il nucleo atomico, lo *trovò* e lo *costruì*? Nessuna delle due cose influenzerà la nostra ammirazione per ciò che egli ha compiuto; soltanto, ci piacerebbe sapere che cosa ha fatto. La questione è tale da ammettere a stento una risposta definitiva. Essa si converte in una questione sul modo di esprimersi, come quella se lo spettroscopio trovi il color verde che ci mostra, oppure lo produca. Ma poiché, probabilmente, la maggior parte delle persone ha l'impressione che Rutherford abbia scoperto il nucleo atomico, anch'io mi farò assertore del punto di vista che egli lo abbia scoperto.

La tendenza di coloro che hanno scritto sulla teoria dei quanti è stata forse di insistere più di quanto io faccia nell'esaltare l'interferenza *fisica* delle nostre esperienze con gli oggetti che studiamo. Si è detto che è l'esperimento a porre gli atomi o la radiazione nello stato di cui studiamo le caratteristiche. Lo chiamerei un trattamento alla Procuste. Come ricorderete, Procuste allungava o accorciava i suoi convitati per adattarli al letto che aveva costruito. Ma forse non avete sentito il resto della storia. Egli li misurava prima che essi lo lasciassero, la mattina seguente, e scrisse una lettera erudita « Sull'uniformità di Statura dei Viaggiatori » per la Società antropologica dell'Attica.

L'interferenza fisica, comunque, non è in realtà il punto essenziale. Idealmente, lo sperimentatore potrebbe aspettare finché le condizioni della sua esperienza si presentassero naturalmente, come sono costretti a fare coloro che si occupano delle scienze basate sull'osservazione. Noi turbiamo seriamente l'irregolarità della luce bianca solare, quando la facciamo passare attraverso uno spettroscopio; ma può capitare che la luce solare cada, attraverso una fessura, su un cristallo naturale e formi uno spettro senza il nostro aiuto. Le condizioni *standard* che trasformano una misura casuale in una buona misura di una quantità fisica definita, utile per l'induzione scientifica, possono talora capitare senza interferenza umana. Ma, per quanto riguarda la teoria fisica, non c'è alcuna differenza se *creiamo* o se *scegliamo* le condizioni che studiamo. Nondimeno, nelle conclusioni che ne risultano, non è indicato se l'interferenza dell'osservatore sia fisica oppure selettiva. La specie di osservazione, su cui è basata la teoria fisica, non consiste nel prendere nota casualmente delle cose che ci circondano, né in un continuo girovagare con un metro. Sotto

la copertura del termine « buona » osservazione si nasconde ingegnosamente il letto di Procuste.

Fino a qual punto può essere portata questa interferenza? Non credo che il limite si possa porre *a priori*. È opportuno rammentare che il concetto di sostanza è scomparso nella fisica fondamentale; quello a cui siamo giunti ultimamente è la *forma*. Onde! Onde!! Onde!!! O, tanto per cambiare, se ci riferiamo alla teoria della relatività — curvatura! L'energia che, poiché si conserva, dovrebbe essere considerata come il moderno successore della sostanza, è nella teoria della relatività una curvatura dello spazio-tempo, e, nella teoria dei quanti, una periodicità di onde. Non voglio dire che la curvatura o le onde debbano essere intese alla lettera in senso oggettivo; ma le due grandi teorie, nei loro sforzi di ridurre a un quadro comprensibile ciò che è noto sull'energia, trovano ambedue ciò che cercano in una concezione della « forma ».

La sostanza (se fosse stato possibile ritenerla un concetto fisico) avrebbe potuto offrire qualche resistenza all'interferenza dell'osservatore; ma la forma è un gioco nelle sue mani. Supponiamo che un artista emetta la teoria fantastica che esista la forma di una testa umana in un blocco di marmo grezzo. Ogni nostro istinto razionale insorge contro una simile speculazione antropomorfa. Non è concepibile che la Natura abbia messo una tale forma dentro il blocco. Ma l'artista procede a verificare la sua teoria sperimentalmente, anche con un apparato del tutto rudimentale. Col semplice uso di uno scalpello per separare la forma, affinché possiamo vederla, egli dimostra trionfalmente la sua teoria. Fu in questo modo che Rutherford rese concreto il nucleo, che la sua immaginazione scientifica aveva creato?

Non vi fate fuorviare pensando al nucleo come a una specie di palla da biliardo. Pensate piuttosto a esso come a un sistema di onde. È vero che il termine « nucleo »

non è strettamente applicabile alle onde (cfr. l'elettrone, cap. IV); ma è ugualmente non rigoroso parlare del nucleo come se fosse stato « scoperto ». La scoperta non deve andare oltre le onde che rappresentano la conoscenza che abbiamo del nucleo.

Il procedimento dello scultore differisce in modo essenziale da quello del fisico? Quest'ultimo ha una concezione della forma di un'onda armonica, che egli vede nei posti più inverosimili, nella luce bianca irregolare, per esempio. Con un reticolo, invece che con uno scalpello, egli la separa dal resto della luce bianca e ce la presenta perché la guardiamo. Proprio come lo scultore divide il blocco grezzo di marmo in un busto e in un mucchio di schegge, così il fisico separa la perturbazione ondulatoria irregolare in una semplice onda armonica verde e in un mucchio di residui di altri componenti. Nel metodo d'analisi del Fourier e in altri riconosciuti, la fisica permette e pratica la suddivisione di una forma in componenti. Essa ci permette di scegliere una forma che *noi stessi* abbiamo prescritta, e di trattare ciò che resta come un'impurità che possiamo eliminare, se riusciamo a progettare l'apparato necessario, in modo da esibire isolata la forma da noi scelta. In tutti i laboratori fisici si vedono strumenti ingegnosamente ideati per eseguire il lavoro di scultura, secondo i disegni del fisico teorico. Qualche volta lo strumento scivola e intaglia una forma con una figura strana, che non ci saremmo aspettati. Allora si ha una nuova scoperta sperimentale.

È difficile vedere, se pure si può, dove una linea di separazione possa essere tracciata. La questione non riguarda soltanto le onde di luce, poiché nella fisica moderna la forma, in particolare la forma ondulatoria, è all'origine di ogni cosa. Se non si può tracciare nessuna linea, abbiamo l'idea allarmante che il fisico analista sia un artista travestito, che faccia entrare la sua immagina-

zione dappertutto, e che, purtroppo, non sia completamente privo della perizia tecnica per realizzare la sua immaginazione in una forma concreta.

Un esempio può mostrare che sorge una seria questione pratica. Proprio ora i fisici nucleari stanno scrivendo molto su delle ipotetiche particelle chiamate *neutrini*, supposte per spiegare certi fatti peculiari osservati nella disintegrazione dei raggi β . Si può forse descrivere meglio i neutrini come piccoli frammenti di energia *spin* che si siano distaccati. Non sono molto favorevolmente impressionato dalla teoria dei neutrini. In parole povere, potrei dire che non credo nei neutrini². Ma devo riflettere che un fisico può essere un artista, e non si sa mai dove gli artisti possano arrivare. La mia antiquata mancanza di fiducia nei neutrini è a dir poco insufficiente. Posso forse osar dire che i fisici sperimentali non avranno un'ingenuità sufficiente per *fabbricare* i neutrini? Qualunque cosa possa pensare, non mi lascio trascinare in una scommessa contro l'abilità degli sperimentatori credendo che sia una scommessa contro la verità della teoria. Se essi riescono a fabbricare i neutrini, forse anche a sviluppare applicazioni industriali di essi, suppongo che dovrei crederci, sebbene possa sentire che essi non hanno proceduto correttamente.

Sorge la questione se veramente lo sperimentatore eserciti un effettivo controllo sull'immaginazione del teorico, come di solito si suppone. Certamente egli è un cane da guardia incorruttibile, che non lascerà passare

² Senza dubbio, finché non sia raggiunta una comprensione più esatta del problema dello *spin* è meglio attenersi all'espedito dei neutrini, piuttosto che ignorare la difficoltà, che intendiamo che essi risolvano. Non ho alcuna obiezione da fare ai neutrini come a un espedito temporaneo, ma non credo che sopravvivano, a meno che, come si suggerisce in questo paragrafo, la loro sopravvivenza non sia interamente una questione di merito intrinseco.

nulla che non sia vero da un punto di vista osservativo. Ma ci sono due modi per fare ciò — come aveva capito Procuste. Uno è di esporre la falsità di un'asserzione. L'altro è di alterare un po' le cose, in modo da rendere vera l'asserzione. Ed è ammesso che le nostre esperienze *alterano* le cose.

Ho agito come un avvocato di un punto di vista estremo, presumendo che i vostri pregiudizi naturali siano tutti dall'altra parte. Devo ora tentare di recuperare l'imparzialità di un giudice. Non credo che *finora* l'immaginazione analitica del fisico matematico si sia sviluppata come l'immaginazione sfrenata dell'artista. Egli gioca la partita secondo certe regole che, pur sembrando a prima vista arbitrarie, esprimono un principio epistemologico, che penetra nelle radici del pensiero umano. Di queste discuteremo adesso. Ma abbiamo la garanzia che queste regole valgano in tutti i tempi? Il ragazzo che rompe clamorosamente le regole del gioco può essere giustamente punito dai suoi compagni, oppure può essere esaltato come il fondatore del gioco della palla ovale. L'uomo che fabbrica i neutrini non sarà punito se ha trasgredito le regole; egli sarà acclamato per aver liberato la fisica da un ostacolo al suo utile sviluppo.

Tuttavia, il nostro interesse è per le caratteristiche della fisica di oggi e non per quello che può diventare in futuro. Entreremo ora in un soggetto di discussione molto vasto, cioè la natura e l'origine delle regole che distinguono i metodi del fisico dalla libera immaginazione dell'artista.

Osservazione 8. Misurai quindi lo spessore di questa lamina concavo-convessa di vetro, e lo trovai in ogni parte esattamente di $\frac{1}{4}$ di pollice. Ora, per la sesta osservazione della prima parte di questo libro, una lamina sottile di aria trasmette la luce più brillante del primo anello, ossia il giallo intenso, quando il suo spessore è $\frac{1}{89000}$ parti di un pollice; e per la decima osservazione della medesima parte, una lamina sottile di vetro trasmette la medesima luce del medesimo anello, quando il suo spessore è minore secondo la proporzione del seno di rifrazione al seno di incidenza, ossia, quando il suo spessore è $\frac{11}{1513000}$ o $\frac{1}{137545}$ parti di un pollice, supponendo che i seni siano come 11 a 17. E se lo spessore è doppio, esso trasmette la medesima luce intensa del secondo anello; se tripla, trasmette quella del terzo, e così via; la luce gialla intensa essendo, in tutti questi casi, nei suoi impulsi di trasmissione. E quindi se il suo spessore viene moltiplicato per 34386 volte, così da diventare $\frac{1}{4}$ di pollice, esso trasmette la medesima luce intensa del 34386mo anello. Si supponga