



Società Italiana di Fisica  
101° Congresso Nazionale  
ROMA. 21-25 Settembre 2013

International Year of Light and Light-based Technologies

# *La luce. Scoperte e invenzioni*

A. Bettini

Università di Padova, Dipartimento di Fisica e Astronomia G. Galilei  
INFN - Sezione di Padova

23 Settembre 2015

*A. Bettini Padova University and INFN*

# *Anniversari*

**1665 (350°) Francesco Maria Grimaldi. *De lumine***

**1815 (200°) Augustin Jean Fresnel. *Premier Mémoire sur la diffraction de la lumière***

**1865 (150°) James Clerk Maxwell. *A Dynamical Theory of Electromagnetic Field***

**1915 (100°) David Hilbert, Albert Einstein. *Equazioni campo gravitazionale***

**1965 (50°) Arno Penzias and Robert Wilson. Scoperta del CMB. *Astrophys. J.*, 142 419**

# *Domande da sempre*

**È facile immaginare che da sempre l'uomo si sia chiesto**

**Cos'è la luce?**

**Corpuscoli, un fluido, un'onda?**

**Che velocità? Infinita?**

**Come funziona la vista?**

**Come, dove si formano le immagini?**

**Le risposte vennero solo a partire dal XVII secolo, dopo molti contributi parziali nei secoli precedenti**

**G. Galilei crea il metodo sperimentale**

# Riflessione e rifrazione

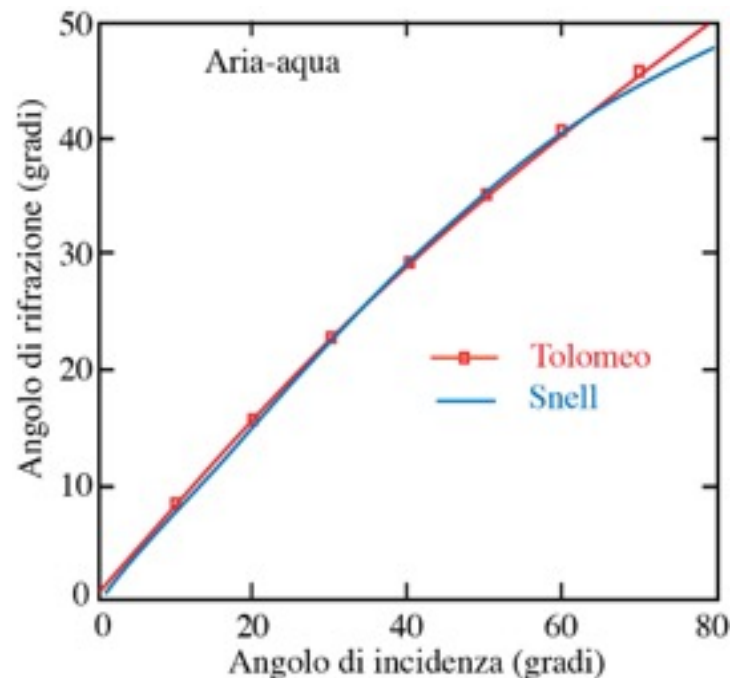
Specchi concavi furono usati dai greci sia per concentrare la luce del sole sia per produrre immagini. La geometria della **riflessione** fu compresa

**Rifrazione.** Tolomeo (2° sec.) misurò a passi di 10° dell'angolo incidente l'angolo rifratto alle interfacce aria-acqua, aria-vetro e acqua-vetro producendo tre tabelle e un "fit"

La teoria delle lenti **a scopo ustorio** fu sviluppata da **Ibn Sahl (940-1000) a Bagdad**, usando un'espressione geometrica equivalente alla **legge di Snell (1621)**

**Descartes** ripropone la legge scoperta da Snell (senza citarlo) nel **1637**, ricavata per via assiomatica partendo da due ipotesi false

- La velocità della luce è maggiore nei mezzi più densi
- All'interfaccia la componente normale cambia, la tangente no



S. R. Wilk. Claudius Ptolemy's Law of Refraction <http://www.osa-opn.org/Content/ViewFile.aspx?id=5392>

S.Ameen Ahmed Khan e A. Bettini Nuovo Saggiatore **31** (2015) n. 1-2 p. 36

# *Tecnologia. Le lenti*

Le lenti per correggere la vista (dischi per gli occhi e lente d'ingrandimento) furono inventate **in Italia (Toscana) nel XIII secolo**, sono fabbricate da artigiani

# *Inferno XXXIII*



Priamo della Quercia (c.1403–1483)

Lo pianto stesso piangere non lascia  
.....  
ché le lagrime prime fanno groppo,  
e sì come **visiere di cristallo**,  
riempion sotto 'l ciglio tutto il coppo

# *Tecnologia e arte. XIV secolo*

Affreschi di **Tommaso da Modena**. Capitolo Chiesa di **S. Nicolò a Treviso (1352)**



# *Lenti e cannocchiali*

Presto gli occhialai si dovettero accorgere che due lenti messe in fila facevano vedere gli oggetti lontani più grandi

**Leonardo da Vinci 1452-1512.** *Codice atlantico*. (fol 190'a)

*Fa occhiali da veder la luna grande*

**1538.** Fra **Girolamo Fra Castoro** in “*Homocentrica*” :

*“Se qualcuno guarda attraverso due lenti da occhiale posta una sopra l'altra, egli vedrà che ogni cosa appare molto più grande e vicina” ...* “*se qualcuno guardasse attraverso di esse la Luna, o un'altra stella, egli le immaginerebbe così vicine che gli sembrerebbero non più alte delle torri*”

**1590** Un cannocchiale con questa data arriva dall'Italia in Olanda (Argentieri, Ronchi), dove gli occhialai cominciano a costruirne giocattoli

**1593.** **Giovanni Battista della Porta.** *De refractione*.

Scrive di combinazioni di lente positiva e negativa (cannocchiale?)

Il problema teorico della formazione dell'immagine non è risolto, **non** perché non si conosce la legge di Snell, **ma perché si considerano sfere**, invece che calotte sferiche, e **raggi qualunque**, invece che limitarsi ai parassiali.

D. Argentieri, L'opera di Leonardo, nel volume “Leonardo da Vinci”, edizione curata dalla mostra leonardesca di Milano, 1939, p. 405. Anche in “Leonardo da Vinci”, (Istituto Geografico de Agostini) 1956.

V. Ronchi, “Galileo e il cannocchiale” (IDEA, Udine) 1942



# *G. Galilei. La perfezione ottica, la velocità della luce*

**1609.** G. Galilei ha notizia del cannocchiale olandese, e lo trasforma in uno strumento scientifico

Sviluppa la tecnica per realizzare e testare lenti obiettivo di diametro di qualche centimetro.

La lente delle Stelle Medicee, è rimasta (rotta). L'analisi interferometrica di Greco et al. del 1992 si conclude con:

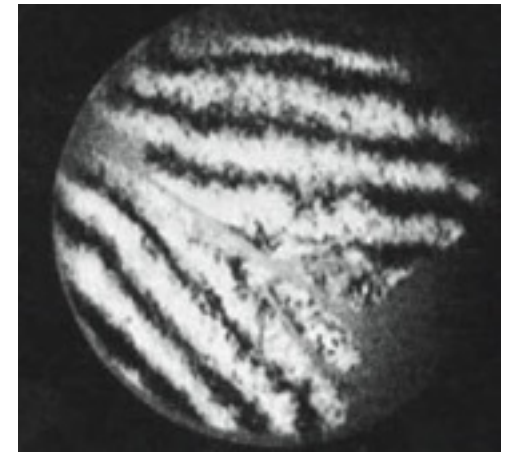
*“As result, although affected by chromatic aberration, at single wavelength the telescopes are nearly diffraction-limited, that is, optically perfect”.*

**Anni successivi.**

Galilei produce molti cannocchiali da mandare ai potenti e per venderli

Prima a **Padova-Venezia**, poi a **Firenze** crea una **proto-industria per la produzione di lenti**

**1638.** G. Galilei pubblica *Due nuove scienze*. Immagina per primo che la **velocità della luce** possa essere **finita** e descrive un esperimento



# *L'altro gigante. Johannes Kepler*

**1604.** *Ad Vitallionem paralipomena*. Due fondamentali scoperte

- L'immagine si forma nel **fondo dell'occhio, sulla retina**
- **Ogni punto dell'oggetto illuminato è una sorgente di luce indipendente.** L'immagine è formata dall'insieme dei punti immagine

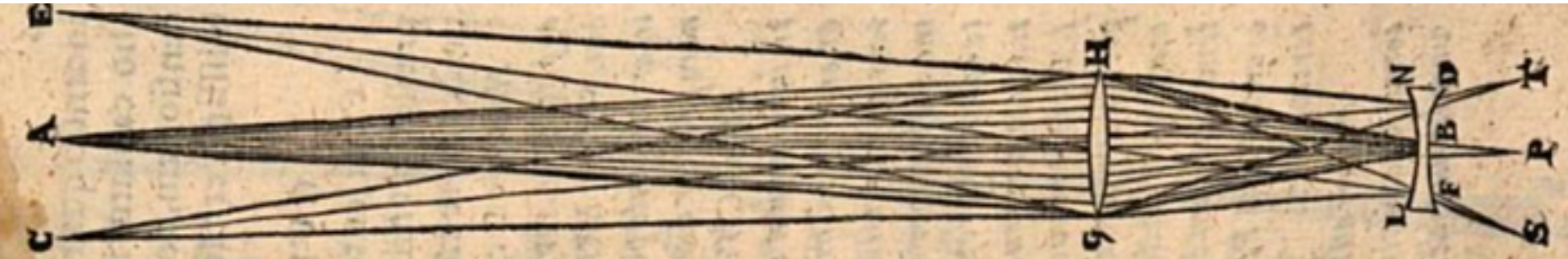
**1609.** Dopo aver ricevuto un cannocchiale fatto da Galilei, e quindi adatto all'osservazione, e aver studiato le Stelle Medicee, ne riferisce nella *Narratio de Jovis satellibus*  
Ma ora **deve** risolvere il problema teorico: **come funziona il cannocchiale?**

**1611.** *Dioptrice*

Formula le basi dell'ottica geometrica

Considera calotte sferiche e raggi parassiali

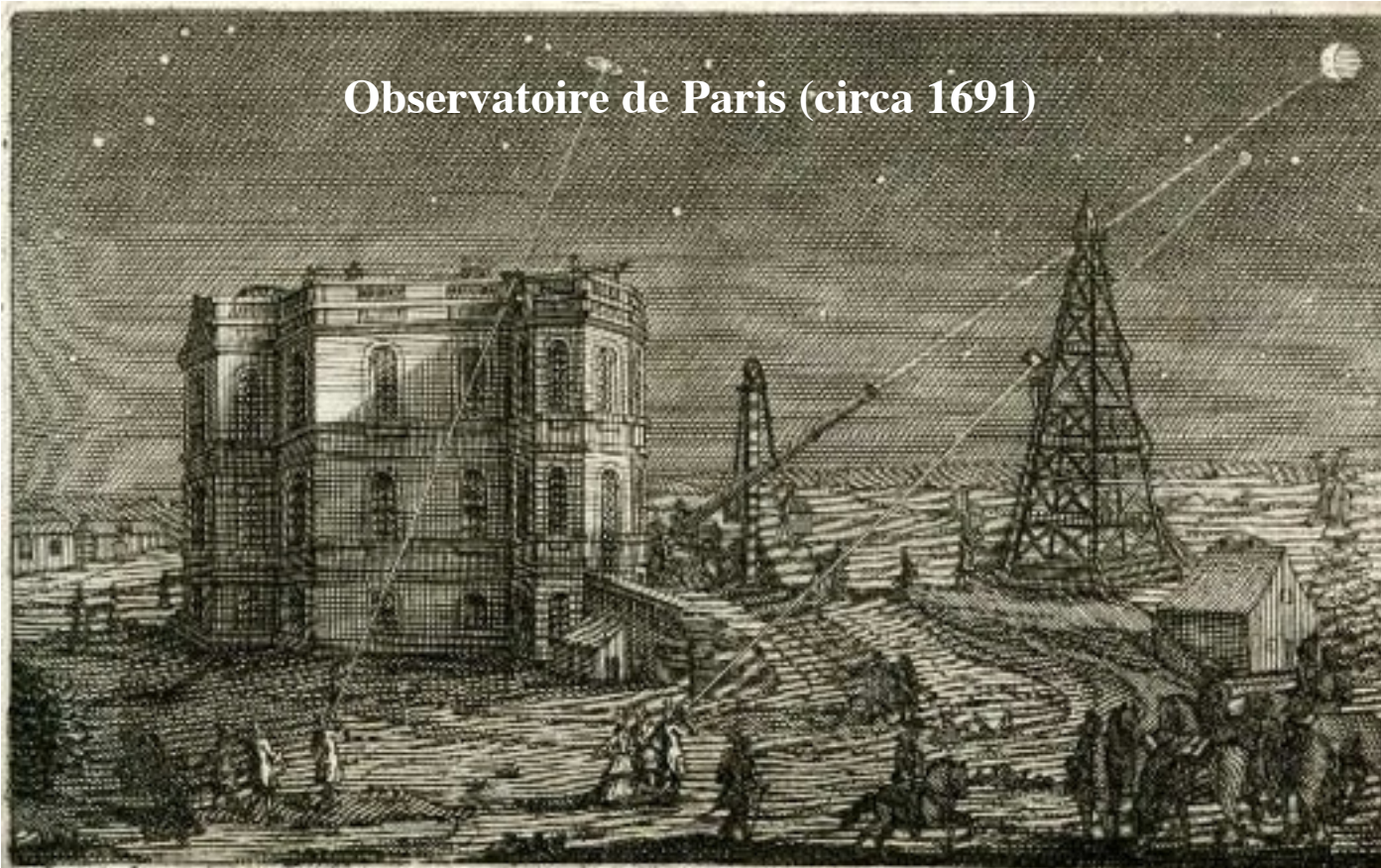
Ottima l'approssimazione di considerare l'angolo rifratto proporzionale a quello incidente



# *Dalla tecnologia ottica alla velocità della luce*

**1664+.** Giuseppe Campani produce lenti di alta qualità a Roma. La tecnologia creata da Galilei si è stabilita ed è progredita in Italia

**1669.** Cassini è chiamato da Luigi XIV da Bologna a costruire l'Observatoire de Paris. Gli obiettivi che userà (focali 5.5, 11, 26, 29, 32 e 44 m) sono di Campani. Il doppietto acromatico verrà solo nel 1757 (P. Dolland). Focale lunga  $\Rightarrow$  aberrazione cromatica  $<$  dischetto di diffrazione



Observatoire de Paris (circa 1691)

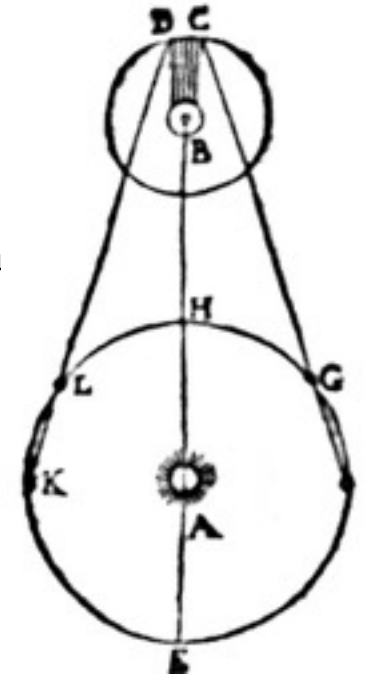
# *Dalla tecnologia ottica alla velocità della luce*

**1670-75** Cassini e allievi: osservazione dei satelliti. Effemeridi (correzioni per effetti secondari)

**22.8.1676.** Cassini comunica all'Accademia delle Scienze l'osservazione degli anticipi e ritardi di Io e l'ipotesi siano dovuti al **tempo impiegato dalla luce** a percorrere un diametro di orbita terrestre

**22.11.1676. M. Rømer** presenta all'Accademia il calcolo della **velocità della luce**

Cassini non è convinto (i ritardi degli altri satelliti sembravano diversi)



L. Bobis and J. Lequeux (2008) *Journal of Astronomical History and Heritage*, 11(2), 97-105 (2008).  
M. Rømer. *Journal des Sçavans*,. 7.Dec1676: 233-36

# Francesco Maria Grimaldi



Bologna 1618-1663

## PHYSICO-MATHESIS DE LVMINE, COLORIBVS, ET IRIDE,

Alijsque sequenti pagina indicatis.

AD ILLVSTRISSIMVM, AC REVERENDISSIMVM D.

D. CAROLVM ANTONIVM  
DE SANCTO PETRO

Bononiensem Patritium,

ABBATEM, ET COMMENDATARIVM SANCTÆ LVCIÆ DE ROFFENO,  
L. V. D. COLLEGIATVM.



BONONIÆ. M. DC. LXV.

Ex Typographia Heredis Viktorij Bononij.

Superiorum permissa.

La grande scoperta di Grimaldi con osservazioni accurate (ma non quantitative) è **la diffrazione della luce** riportata nell'opera postuma **De lumine 1665**

Le osservazioni portano ad escludere che la luce sia fatta di corpuscoli materiali viaggianti in linea retta.

Potrebbe essere **un fluido che si muove velocissimo**, le cui linee di flusso vengono separate, diffrangitur, dagli ostacoli

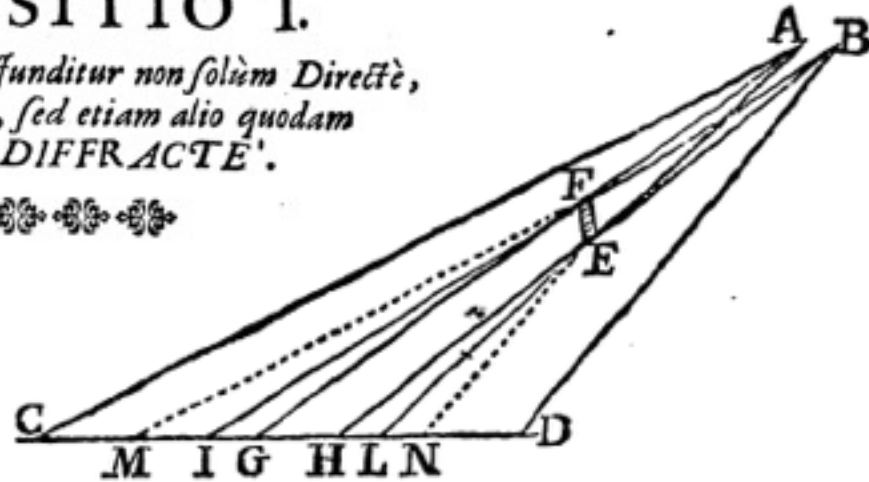
A. Bettini Nuovo Saggiatore 31 n.1-2 (2015) 71

# De lumine

7 Aperto in fenestra foraminulo perquam paruo AB, introducatur per illud in cubiculum, alioqui valdè obscurum, lumen Solis Cælo serenissimo; cuius diffusio erit per conum, vel quasi conū ACDB visibilem si aër fuerit refertus atomis puluereis, vel si in eo excitetur aliquis fumus. Huic

## PROPOSITIO I.

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



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 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  $AB$ ,..

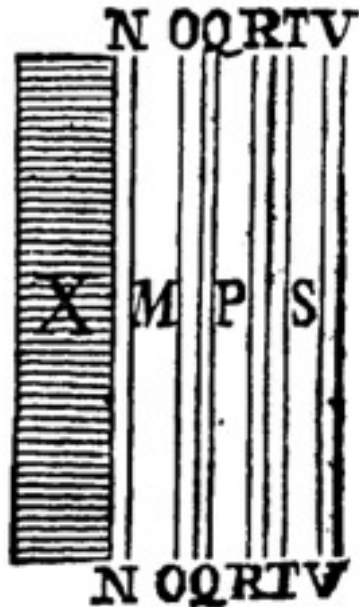
$AB = 4-5 \text{ mm}$  (**10 mW**) - **Coerenza spaziale alla distanza di qualche metro.  $D/L \approx 10^{-3}$**

*Osserva frange nell'ombra geometrica, nel mezzo bianche, dai lati con colori dal rosso al blu*  
*Osserva che la luce sullo schermo non inizia ai bordi dell'ombra proiettata geometricamente, anche tenendo conto delle dimensioni  $AB$  della sorgente*

## *Ostacolo semi-infinito*

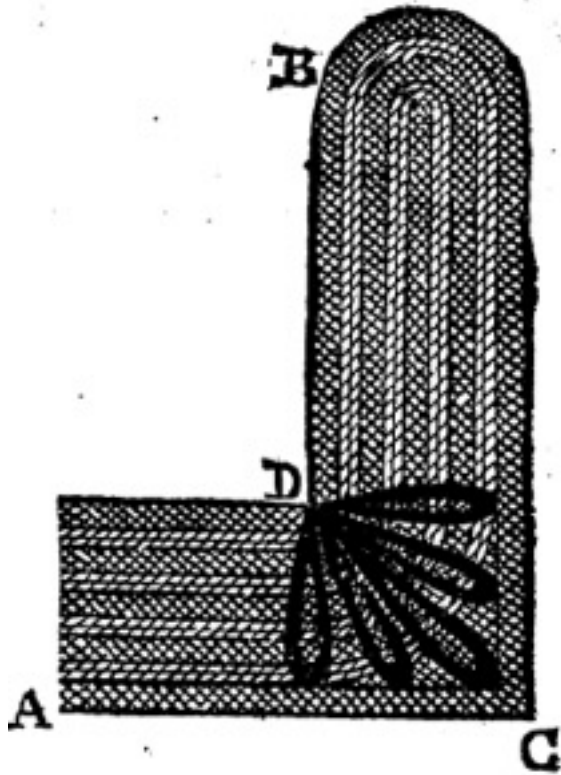
9. ... e che nella parte luminosa della base ... si spargono e si separano alcuni tratti ovvero frange di luce colorata, in modo che in ogni frangia la luce è nel mezzo molto pura, e sincera, agli estremi ha colori, cioè blu nell'estremo più vicino alla stessa ombra ..., e rosso all'estremo più lontano

10. ... la prima (*frangia*) 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.

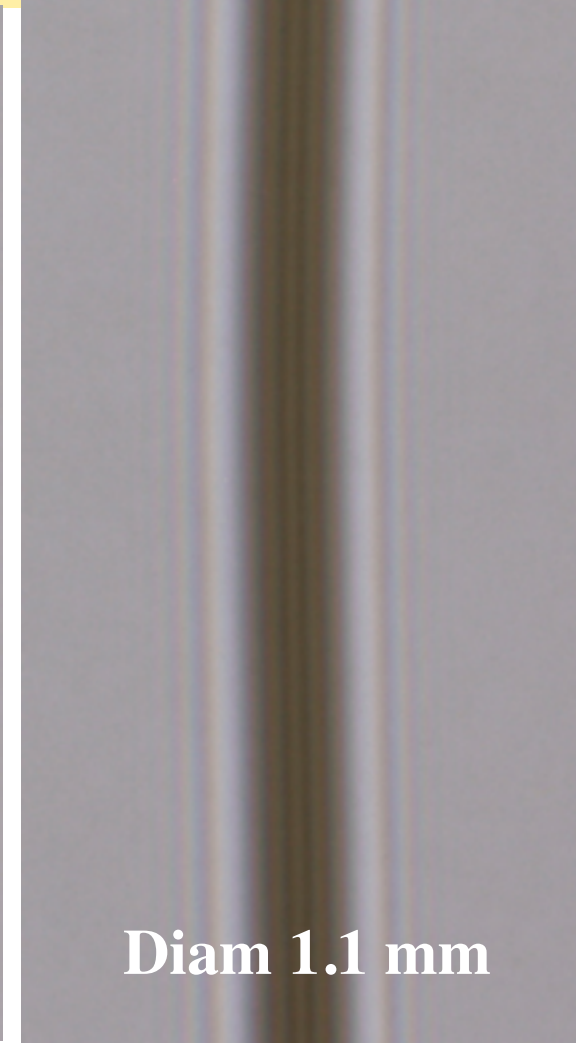


# Franghe nell'ombra

14. Si deve parimenti osservare che nella stessa ombra compaiono a volte le dette frange di luce colorata, a volte in maggior numero, a volte minore. A ciò è necessario in primo luogo una luce del Sole fortissima; inoltre, l'ostacolo .... deve essere piuttosto lungo, ma moderatamente largo, tuttavia di larghezza non troppo piccola, quanto le prove stesse insegnino. ....



Diam 0.7 mm



Diam 1.1 mm



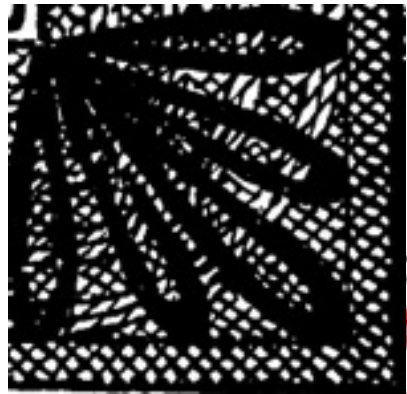
# *Franghe del galero*

16. 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, dopo una qualche elevazione delle medesime, da entrambe le parti, come mostra la figura allegata....



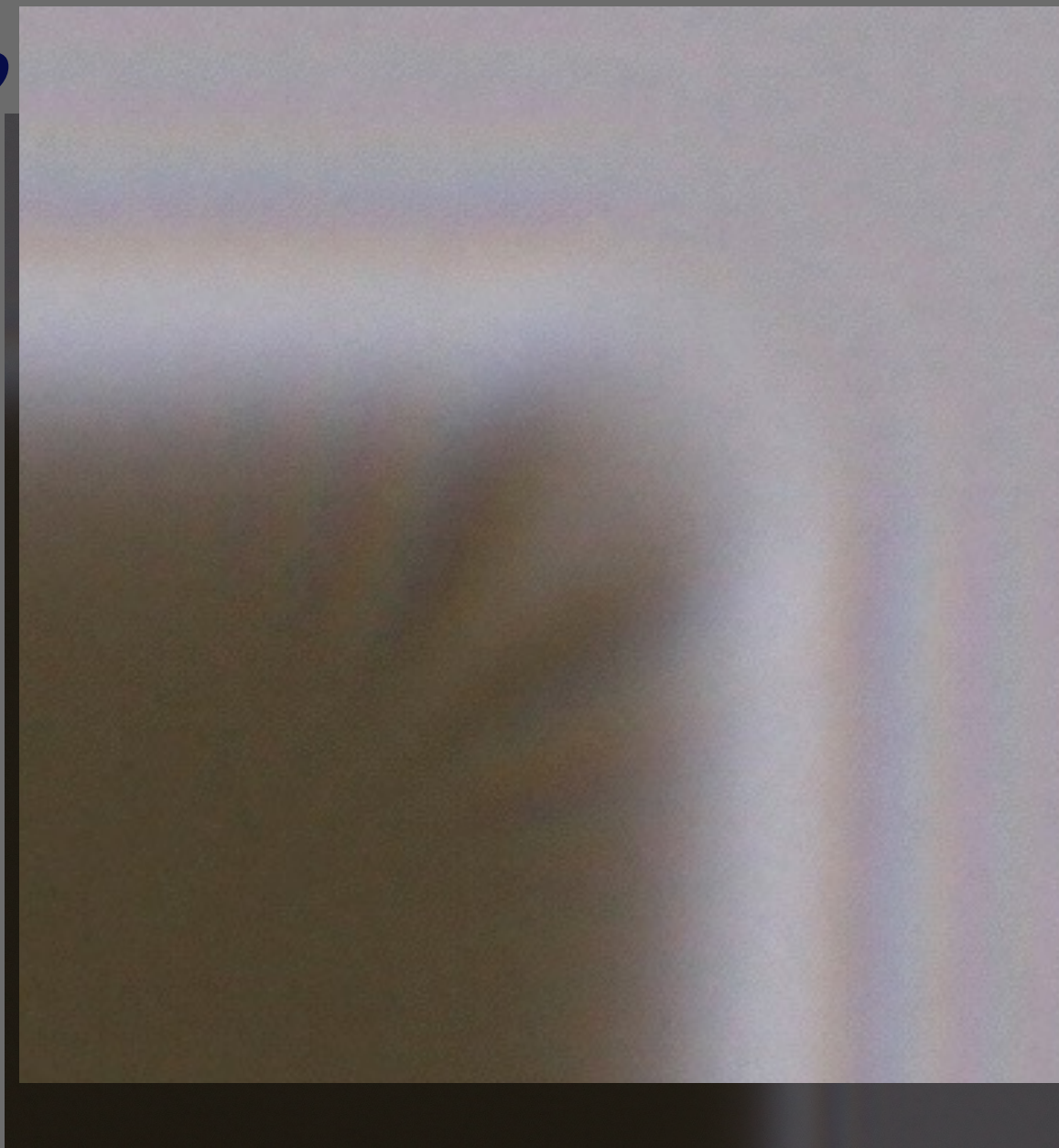
# *Franghe del galero*

16. 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, dopo una qualche elevazione delle medesime, da entrambe le parti, come mostra la figura allegata....



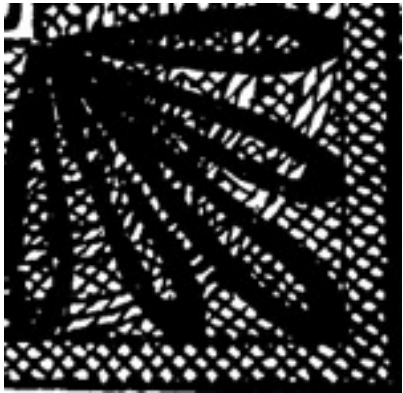
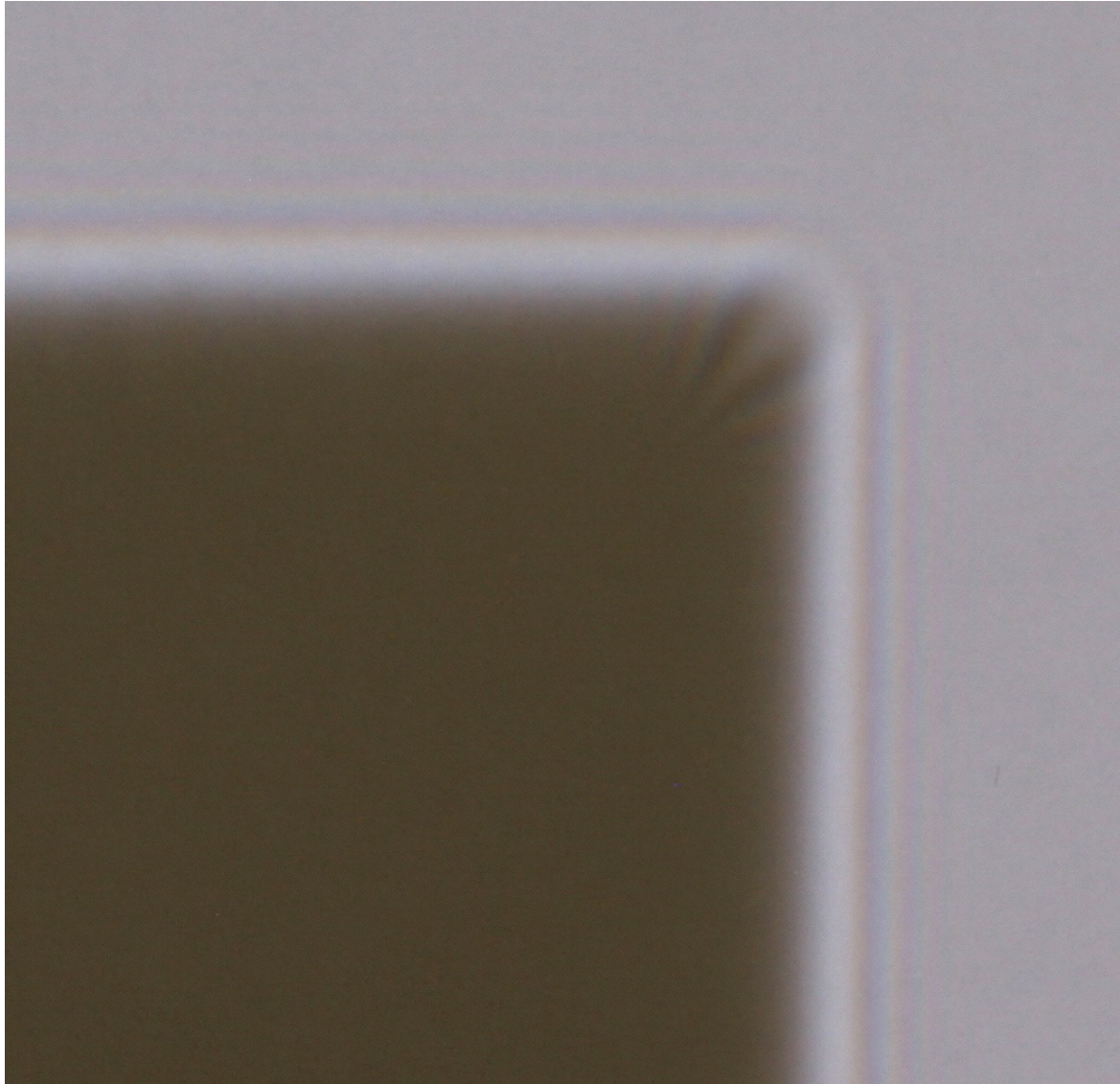
# *Franghe del galero*

16. 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, dopo una qualche elevazione delle medesime, da entrambe le parti, come mostra la figura allegata....



# *Franghe del galero*

16. 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, dopo una qualche elevazione delle medesime, da entrambe le parti, come mostra la figura allegata....



# *Sir. Isaac Newton, Knt.*

OPTICS. London 1704

## Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light

**La luce è fatta di particelle che obbediscono alle leggi della meccanica  
“Teoria dell’emissione”**

*I raggi interagiscono con i corpi materiali nei quali, o presso i quali, si muovono.*

*Liquida la diffrazione come una sorta di rifrazione ai bordi degli oggetti*

*Ma le bande di diffrazione da bordi rettilinei **devono** essere rettilinee e ad essi parallele*

*L’osservazione di Grimaldi delle “nappe del galero” lo smentisce*

Aggiunge 31 “queries” finali in forma interrogativa, esercizi per chi legge, prospettive future,...

“Query 1. Do not Bodies act upon Light at a distance, and by their action bend its Rays; and is not this action (cæteris paribus) strongest at the least distance?”

**1915.** A. Einstein Relatività generale. Prevede deflessione della luce delle stelle che sfiori il sole  
= il doppio di Newton

# Christiaan Huygens (1629-1695)

TREAITÉ DE LA LUMIÈRE 1690

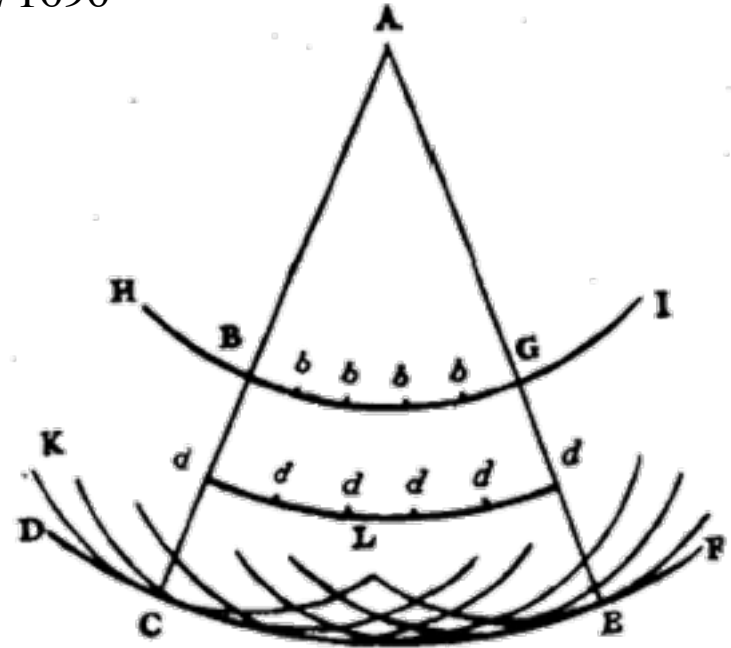
*La propagazione della luce è analoga a quella di un impulso longitudinale in un mezzo elastico.*

*Nessun riferimento all'avanzare della fase di un'onda.*

*Spiega la riflessione e la rifrazione*

*Dato un fronte d'onda (BG) per la costruzione del prossimo (CB) conta **solo** l'involuppo delle ondine secondarie.*

*Le ondine non interferiscono, **non c'è diffrazione***



Affermiamo per prima cosa che ciascuna porzione dell'onda deve allargarsi in modo che i suoi estremi giacciono sempre tra le rette tirate dal punto luminoso. Così, la parte BG dell'onda, che ha centro nel punto luminoso A, si svilupperà nell'arco CE, limitato dalle linee rette ABC e AGE. Perché, anche se le onde secondarie prodotte dalle particelle che si trovano nello spazio CAE si allargano fuori di questo spazio, tuttavia esse non concorrono allo stesso istante a comporre **in una singola onda che termina il moto come invece fanno precisamente sulla circonferenza CE**, che è la loro comune tangente. Ciò spiega perché la luce, purché i raggi non vengano riflessi o rifratti, viaggiano sempre in linea retta.

# Thomas Young

Somerset 1773 Londra 1829

Medico, professore di filosofia naturale, fisico

Opere sulla luce

**The Bakerian Lecture: Experiments and  
Calculations Relative to Physical Optics**

*Phil. Trans. R. Soc.* 94 (1804) 1-16

**Course of lectures in Natural Philosophy  
and the Mechanical Arts**

*London* 1807



# *The Bakerian Lecture*

*Read November 24, 1803*

## I. EXPERIMENTAL DEMONSTRATION OF THE GENERAL LAW OF THE INTERFERENCE OF LIGHT.

IN making some experiments on the fringes of colours accompanying shadows, I have found so simple and so demonstrative a proof of the general law of the interference of two portions of light, which I have already endeavoured to establish, that I think it right to lay before the Royal Society, a short statement of the facts which appear to me so decisive. The proposition on which I mean to insist at present, is simply this, that fringes of colours are produced by the interference of two portions of light; and I think it will not be denied by the most prejudiced, that the assertion is proved by the experiments I am about to relate, which may be repeated with great ease, whenever the sun shines, and without any other apparatus than is at hand to every one.



# *L'interferenza. Teoria duale*

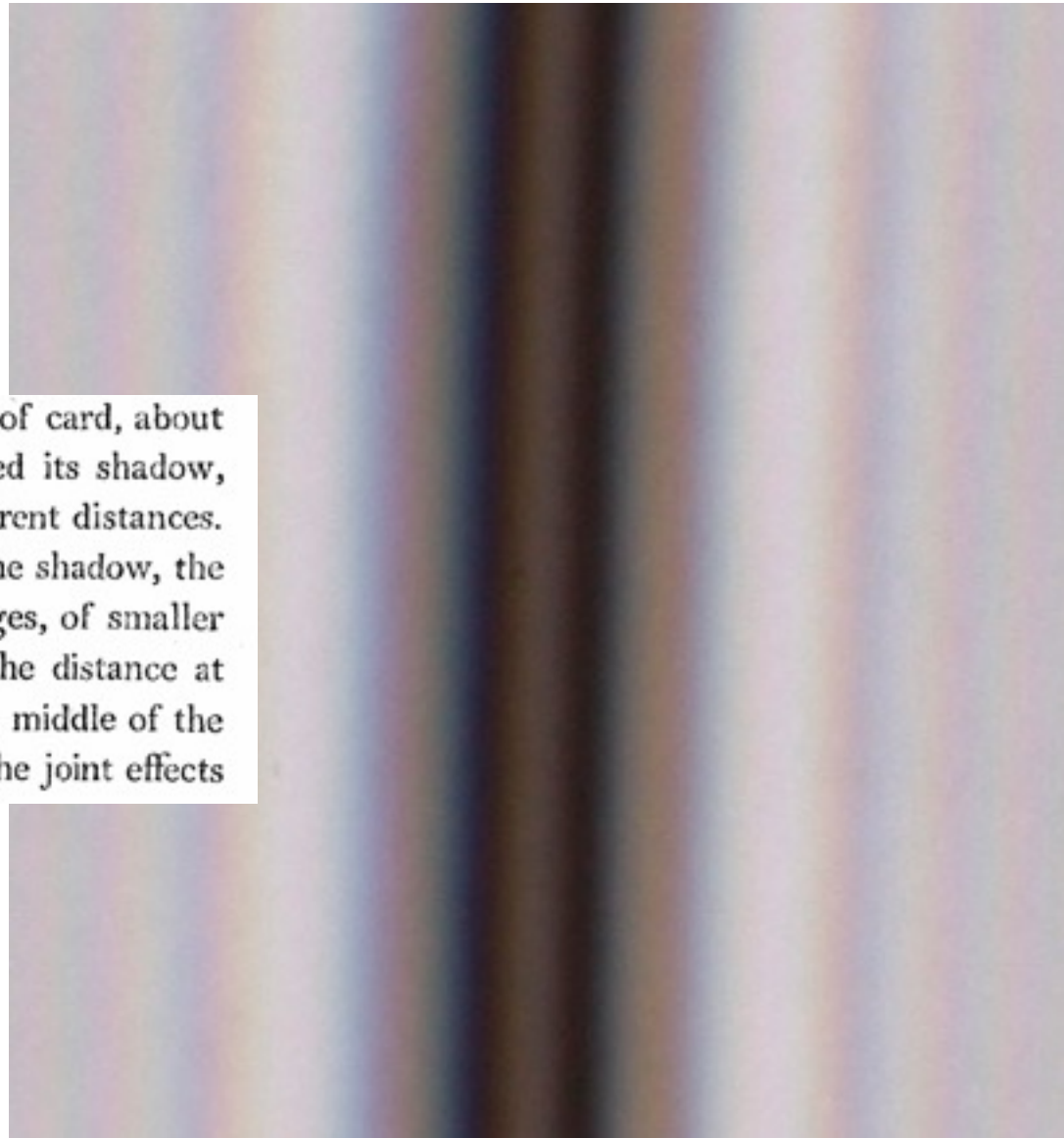
Experiment 1.

*Buco nell'imposta di una stanza oscura.*

*Deflette con uno specchio la luce del sole per avere un fascio orizzontalmente sopra un tavolo, dove può lavorare facilmente*

card-paper. I brought into the sunbeam a slip of card, about one-thirtieth of an inch in breadth, and observed its shadow, either on the wall, or on other cards held at different distances. Besides the fringes of colours on each side of the shadow, the shadow itself was divided by similar parallel fringes, of smaller dimensions, differing in number, according to the distance at which the shadow was observed, but leaving the middle of the shadow always white. Now these fringes were the joint effects

**1/3 of an inch= 0.8 mm**

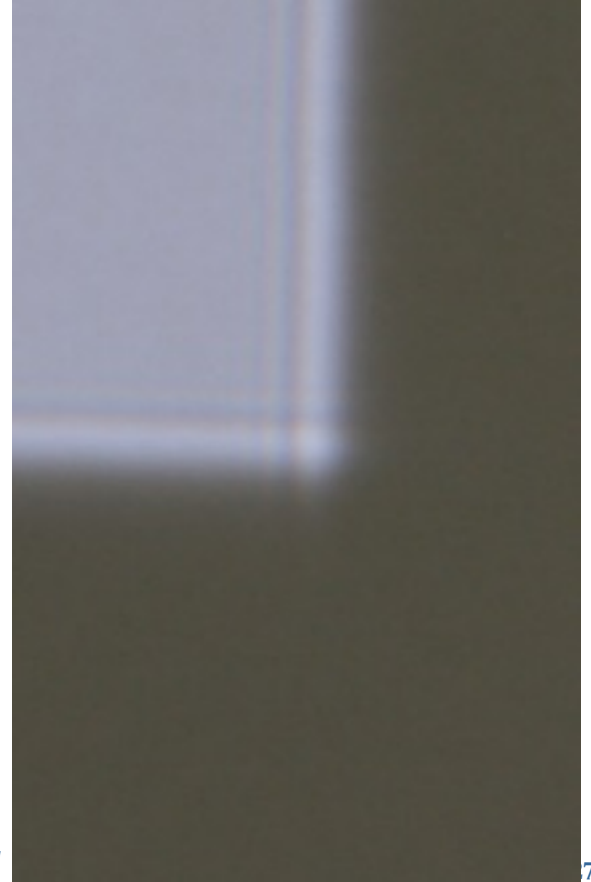
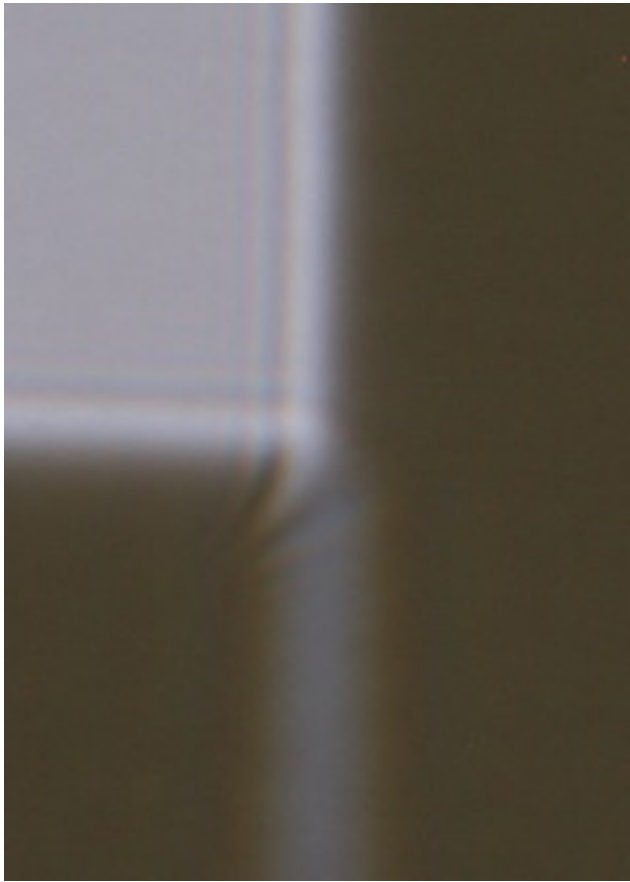


# *L'interferenza. Teoria duale*

shadow always white. Now these fringes were the joint effects of the portions of light passing on each side of the slip of card, and inflected, or rather diffracted, into the shadow. For, a little screen being placed a few inches from the card, so as to receive either edge of the shadow on its margin, all the fringes which had before been observed in the shadow on the wall immediately disappeared, although the light inflected on the other side was allowed to retain its course, and although this light must have undergone any modification that the proximity of the other edge of the slip of card might have been capable of occasioning.

# *Interferenza. Teoria duale*

Experiment 2. The crested fringes described by the ingenious and accurate GRIMALDI, afford an elegant validation of the preceding experiment, and an interesting example of calculation grounded on it. (*descrivere il fenomeno*) These fringes are also the joint effect of the light which is inflected directly towards the shadow, from each of the two outlines of the object. For, if a screen is placed a few inches of the object, so that they receive only one of the edges of the shadow, the whole of the fringes disappear



# *The Bakerian Lecture*

*Young misura le distanze tra le frange e tra queste e i bordi dell'ombra geometrica per diverse configurazioni dell'esperimento (distanze sorgente-scheda, scheda-schermo, etc.)*

*L'accuratezza è di circa 3 %*

If we now proceed to examine the dimensions of the fringes, under different circumstances, we may calculate the differences of the lengths of the paths described by the portions of light, which have thus been proved to be concerned in producing those fringes; and we shall find, that where the lengths are equal, the light always remains white; but that, where either the brightest light, or the light of any given colour, disappears and reappears, a first, a second, or a third time, the differences of the lengths of the paths of the two portions are in arithmetical progression, as nearly as we can expect experiments of this kind to agree with each other.

# L'interferenza

Le frange di diffrazione **interne ed esterne** dietro un **ostacolo opaco** sono interpretate da Young come dovute all'**interferenza** delle **due onde che lambiscono i due bordi**

Frangia chiara se  $\delta = CAP - CBP = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$

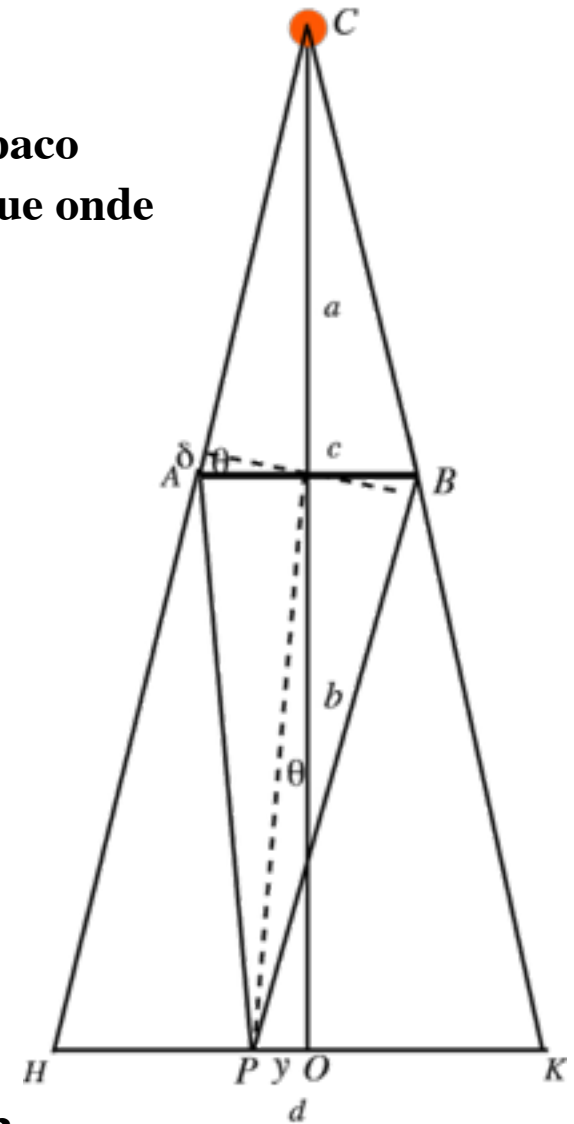
Frangia centrale è bianca

$$\delta = c \sin \theta \approx c \frac{y}{b}$$

Massimi a  $y_{\max, n} = n \frac{b}{c} \lambda \quad n = 1, 3, 5, \dots$

Distanza tra due frange scure, o due chiare, adiacenti

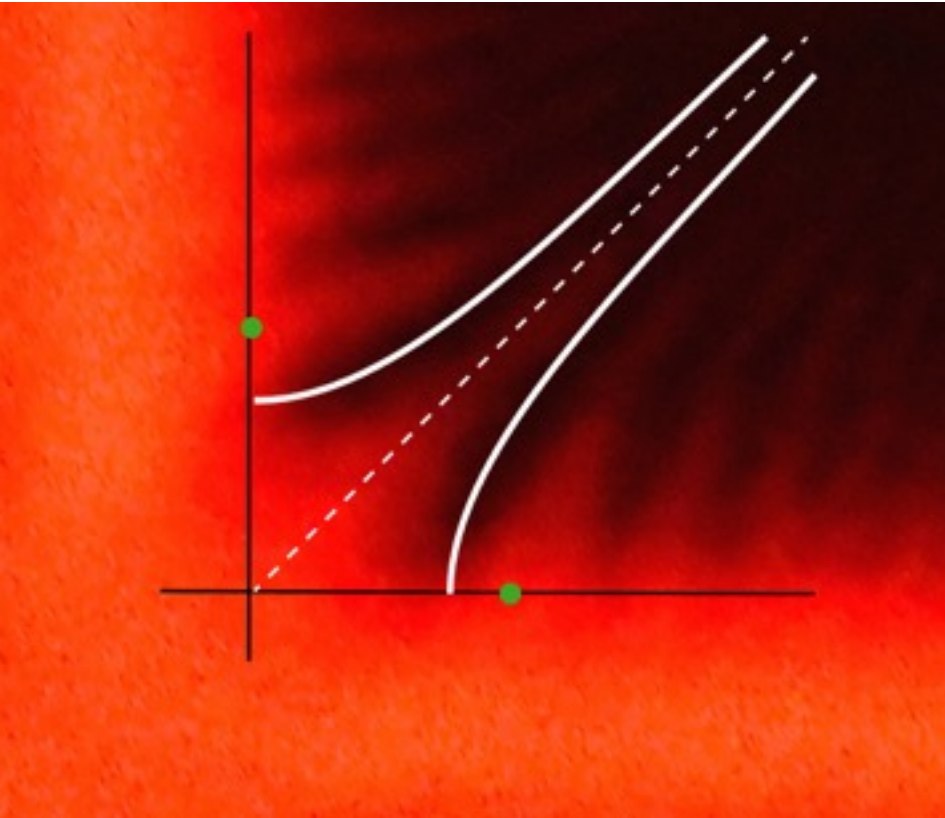
$$\Delta y = \frac{b}{c} \lambda$$



E.g.  $a=300$  mm,  $b=1000$  mm,  $c = 1$  mm,  $\lambda=0.63 \cdot 10^{-3}$  mm  $\Delta y = \mathbf{0.63}$  mm

Le misure di Young della distanza tra le frange (scure, si localizzano meglio) hanno un'incertezza di circa 3%, meglio di 20  $\mu$ m con la geometria dell'esempio

# *Le frange del galero. Teoria duale*



We may readily determine, from this general principle, the form of the crested fringes of Grimaldi, already described; for it will appear that, . . . ., the points in which the differences of the lengths of the paths described by the two portions of the light are equal to constant quantity, and in which, therefore, the same kind of light ought to appear or disappear, are always found in equilateral hyperbolas, of which the axes coincide with the outlines of the shadow and the asymptotes nearly with the diagonal line. Such, therefore must be the direction of the fringes; and this conclusion agrees perfectly with the observations.

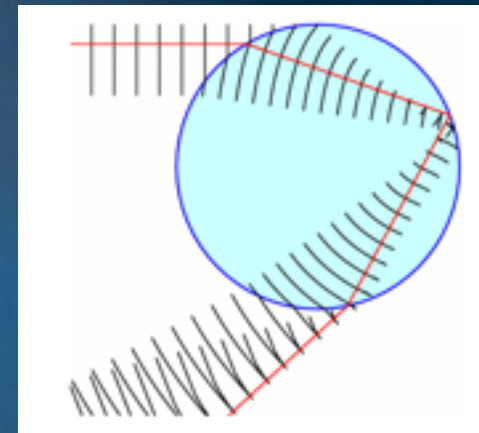
Le coppie di sorgenti secondarie che producono l'interferenza sono i punti sui lati equidistanti dal vertice ( $x=y$ )

**Il fatto che le frange siano curve non è invece possibile in qualsiasi teoria corpuscolare**

# *Archi soprannumerari*

## *Teoria duale*

J. H. Adam, Phys Rep. **356** (2001) 229  
<http://www.ams.org/samplings/feature-column/fcarc-rainbows>



### III. APPLICATION TO THE SUPERNUMERARY RAINBOWS.

The repetitions of colours sometimes observed within the common rainbow, and described in the Philosophical Transactions, by Dr. LANGWITH and Mr. DAVAL, admit also a very easy and complete explanation from the same principles. Dr. PEM-

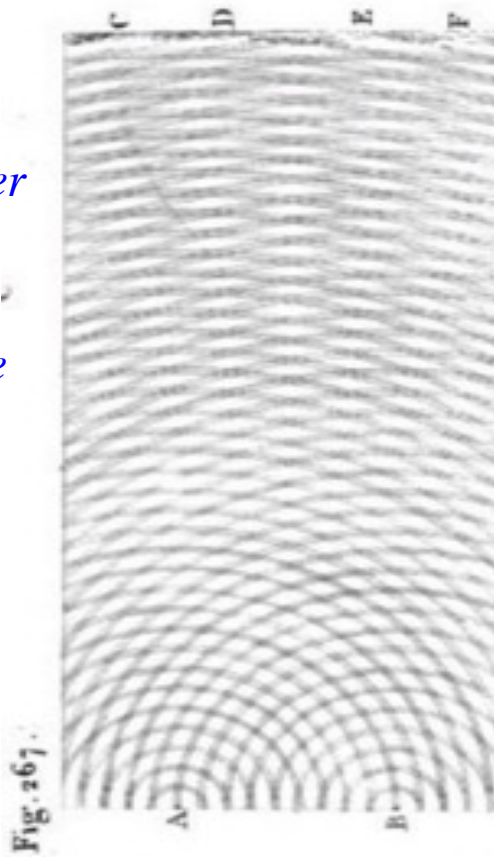
500

500px.com/photo/35392056

# *Course of lectures in Natural Philosophy and the Mechanical Arts*

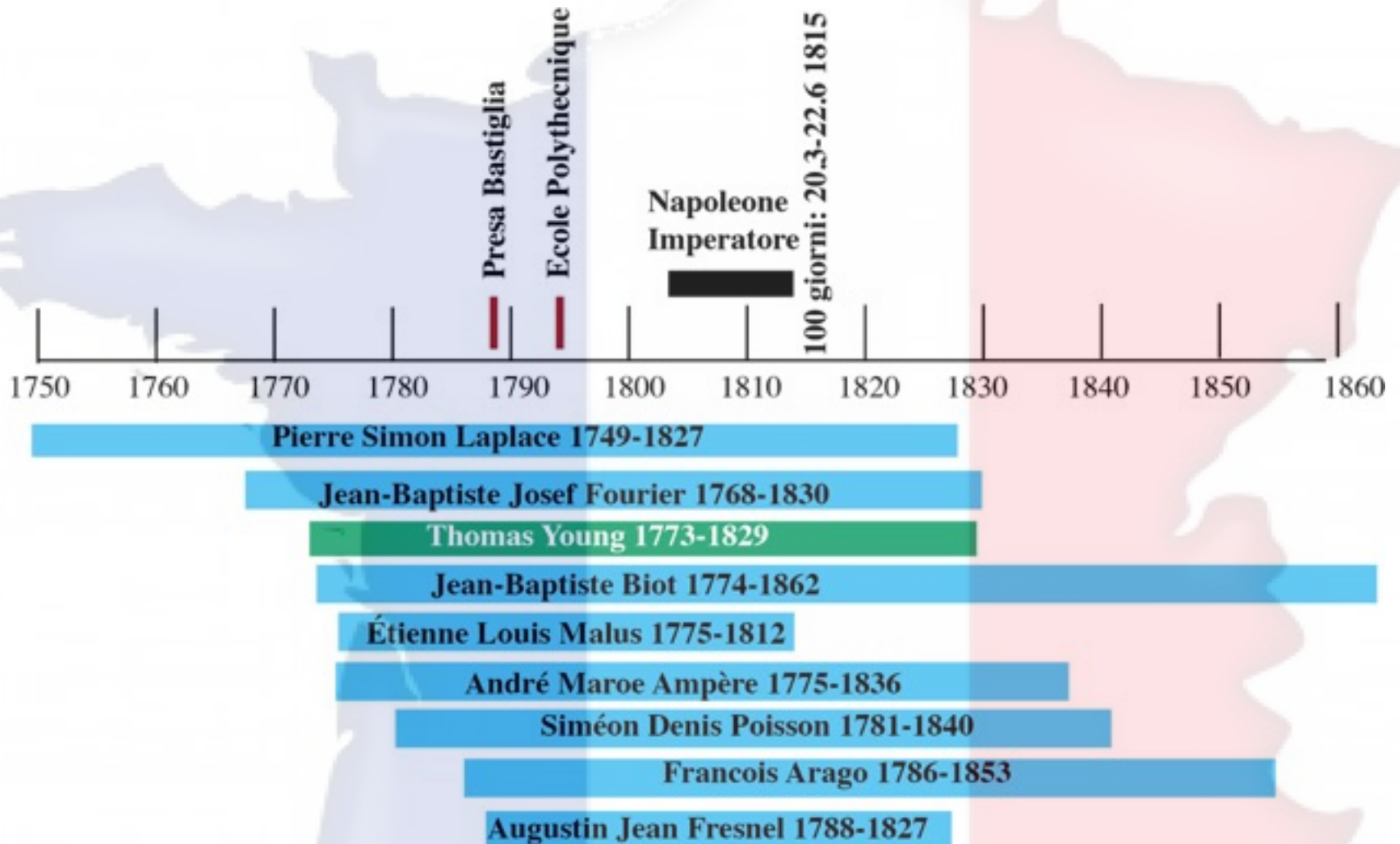
In order that the effects of two portions of light may be thus combined, it is necessary that they be derived from the same origin, and that they arrive at the same point by different paths, in directions not much deviating from one another...the simplest case appears to be, when a beam of **homogeneous light** falls on a screen in which there **are two very small holes or slits**, which may be considered as centres of divergence, from whence the light is diffracted in every direction. In this case, when the two newly formed beams are received on a surface placed so as to intercept them, their light is divided by dark stripes ....

*Young indica al lettore, per illustrazione, la figura mostrata nel capitolo di idrodinamica, per le onde da due sorgenti su di uno specchio d'acqua*





# *Le Pays Lumière*



# Augustin Jean Fresnel

Liceo a Caen, Università all' École Polytechnique  
1806-15. Ingegnere di ponti e strade

Al ritorno di Napoleone dall'Elba, si schiera col re, e  
perde il posto.

Torna a Mathieu e lavora sull'ottica

Arago gli consiglia opere di Grimaldi, Newton e Young,  
ma non riesce ad averle

Sei principali lavori sulla diffrazione

**1815. “Premier Mémoire sur la diffraction de la  
lumière” e “Complément”** ad essa

1816. “Deuxième Mémoire sur la diffraction de la  
lumière” e “Complément”

1818. “Note sur la théorie de la diffraction”

1819. “Mémoire sur la diffraction de la  
lumière” [couronné par l'Académie de Sciences]

È ucciso dalla tisi a 39 anni



FRESNEL, né à Broglie (Eure) en 1788,  
mort en 1827.

# Memoria 1815. La teoria binaria

Teoria “binaria”, come Young

puisque en interceptant la lumière d'un côté du fil on fait disparaître les franges intérieures, le concours des rayons qui arrivent des deux côtés est donc nécessaire à leur production.

**Frangia interne.** Rette equidistanti

$$\Delta y = \frac{b}{c} \lambda$$

**Frangia esterne.** Distanza dal bordo

$$x = \sqrt{2\lambda \frac{b(a+b)}{a}}$$

Misura a **due valori di  $a$** , sei valori di  $b$

Precisione su previsione – misura = **20  $\mu$**

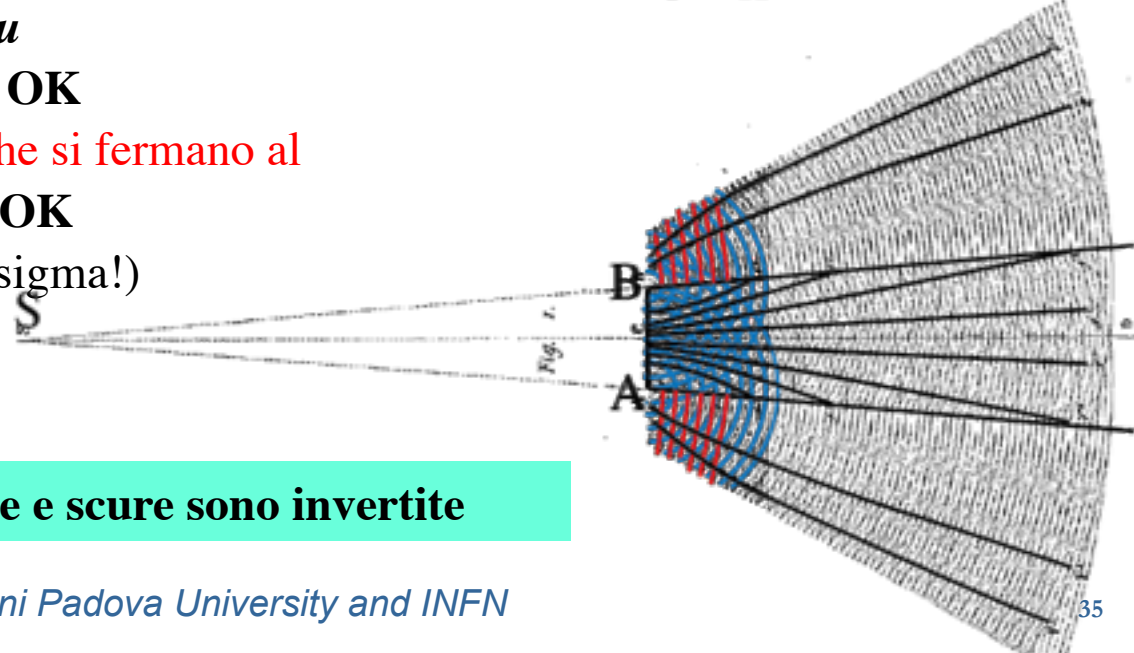
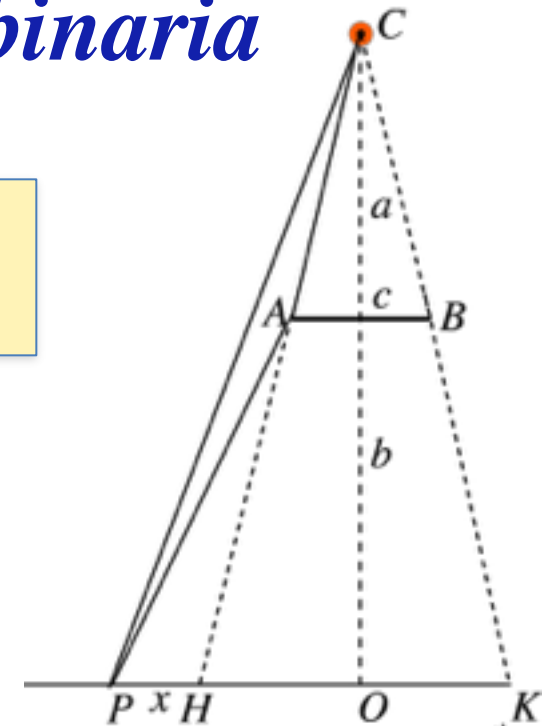
Distanza frangia interne (onde da  $A$  e  $B$ ) **OK**

Frangia esterne iperboliche (onde da  $S$  che si fermano al

bordo dell'ombra geometrica e da  $A/B$ ) **OK**

Differenze con rette sino a 200  $\mu$ m (10 sigma!)

Distanza tra frangia esterne **OK**



**Ma le posizioni frangia esterne chiare e scure sono invertite**

# Memoria 1815. La teoria binaria

Teoria “binaria”, come Young

puisque en interceptant la lumière d'un côté du fil on fait disparaître les franges intérieures, le concours des rayons qui arrivent des deux côtés est donc nécessaire à leur production.

**Franghe interne.** Rette equidistanti

$$\Delta y = \frac{b}{c} \lambda$$

**Franghe esterne.** Distanza dal bordo

$$x = \sqrt{2\lambda \frac{b(a+b)}{a}}$$

Misura a **due valori di  $a$** , sei valori di  $b$

Precisione su previsione – misura = **20  $\mu$**

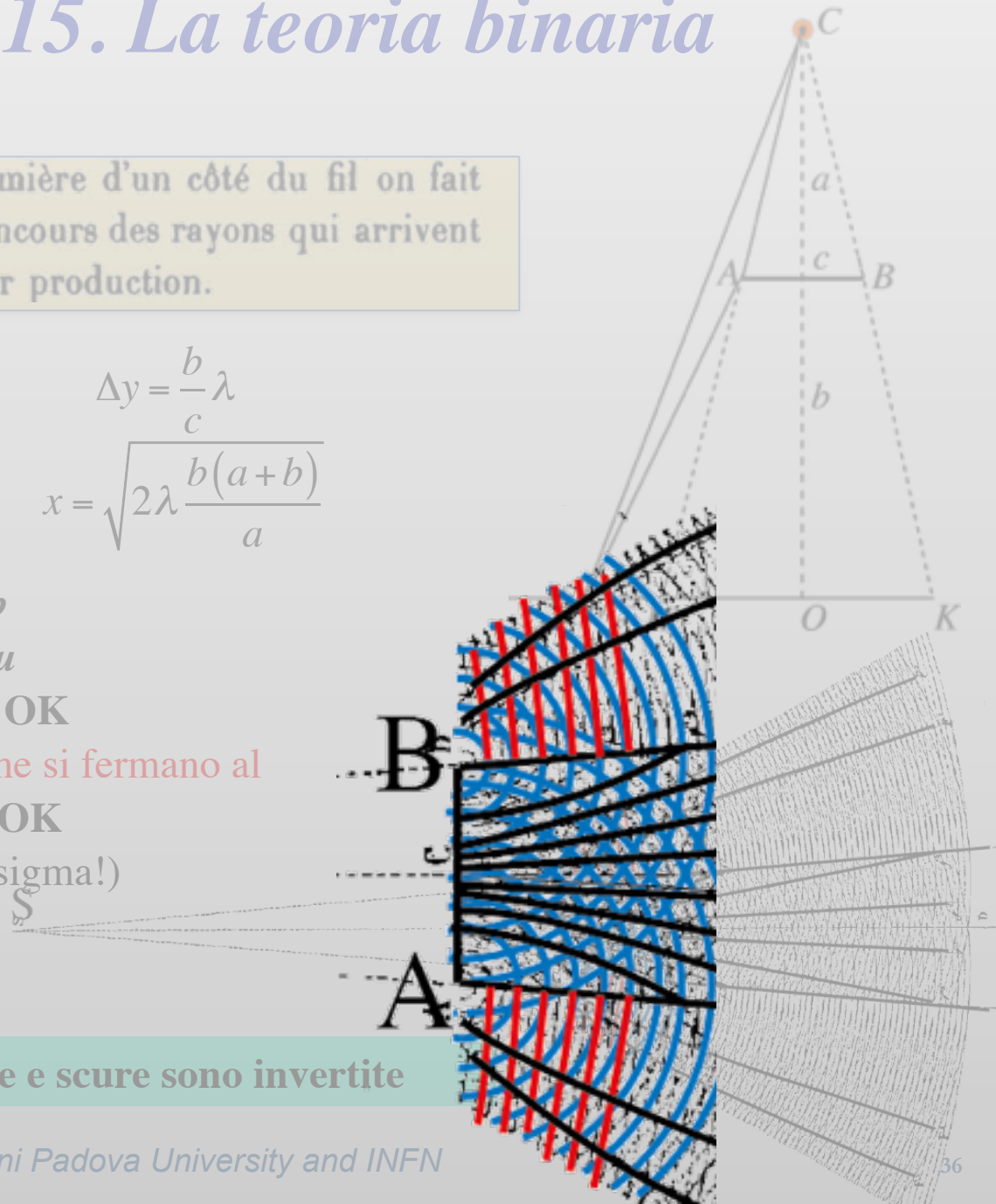
Distanza franghe interne (onde da  $A$  e  $B$ ) **OK**

Franghe esterne iperboliche (onde da  $S$  che si fermano al bordo dell'ombra geometrica e da  $A/B$ ) **OK**

Differenze con rette sino a **200  $\mu$ m** (10 sigma!)

Distanza tra franghe esterne **OK**

**Ma le posizioni franghe esterne chiare e scure sono invertite**



# Memoria 1815. La teoria binaria

Teoria “binaria”, come Young

puisque en interceptant la lumière d'un côté du fil on fait disparaître les franges intérieures, le concours des rayons qui arrivent des deux côtés est donc nécessaire à leur production.

**Frangia interne.** Rette equidistanti

$$\Delta y = \frac{b}{c} \lambda$$

**Frangia esterne.** Distanza dal bordo

$$x = \sqrt{2\lambda \frac{b(a+b)}{a}}$$

Misura a **due valori di  $a$** , sei valori di  $b$

Precisione su previsione – misura = **20  $\mu$**

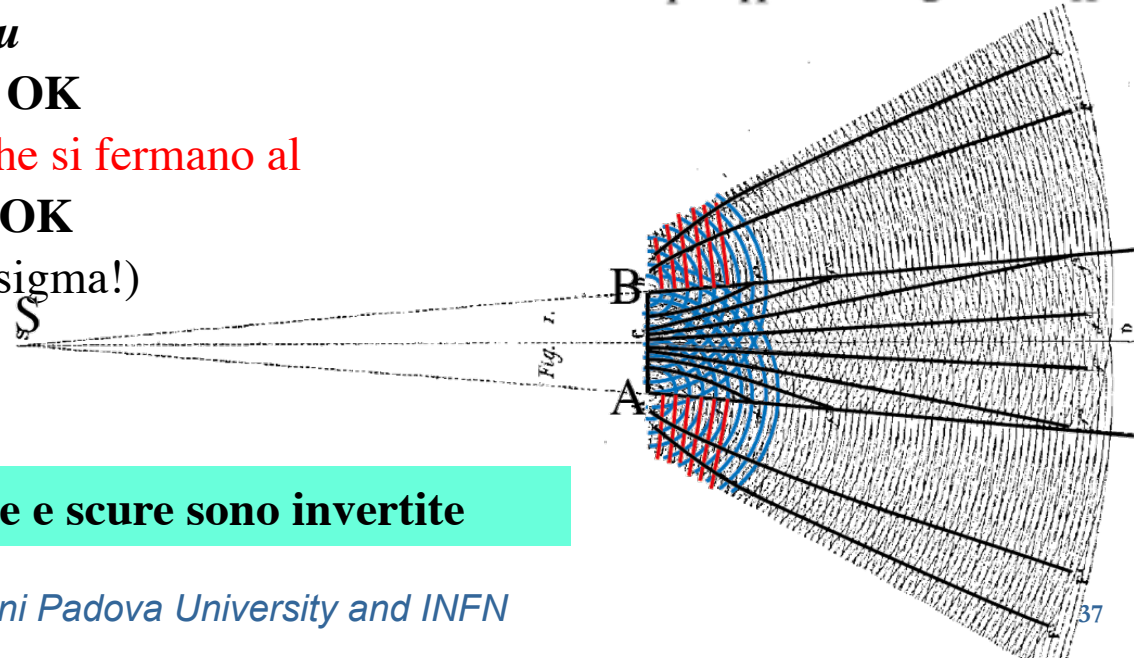
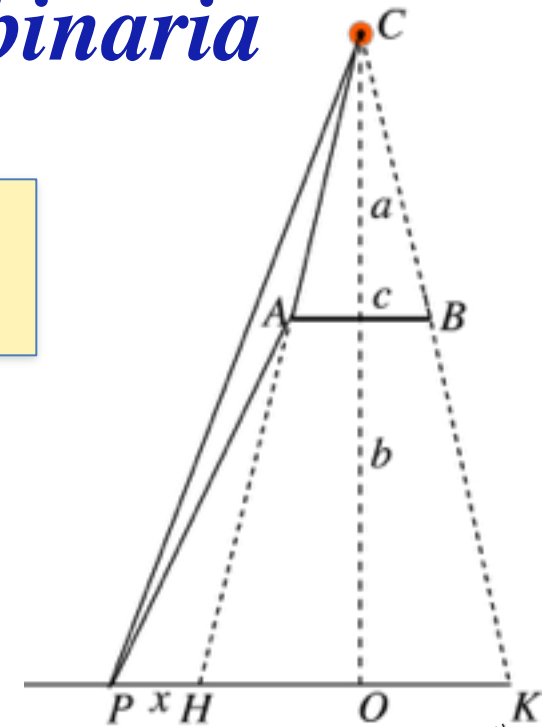
Distanza frangia interne (onde da  $A$  e  $B$ ) **OK**

Frangia esterne iperboliche (onde da  $S$  che si fermano al

bordo dell'ombra geometrica e da  $A/B$ ) **OK**

Differenze con rette sino a 200  $\mu$ m (10 sigma!)

Distanza tra frangia esterne **OK**



**Ma le posizioni frangia esterne chiare e scure sono invertite**

# La gara. 1817

17.3.1817 l'Accademia bandisce un premio per una memoria sulla diffrazione, scadenza 1.8.1818  
Il bando appare scritto da un sostenitore della teoria corpuscolare, presumibilmente Biot

## INTRODUCTION.

XXXVII

« 1<sup>o</sup> Déterminer par des expériences précises tous les effets de la diffraction des rayons lumineux directs et réfléchis, lorsqu'ils passent séparément ou simultanément près des extrémités d'un ou de plusieurs corps d'une étendue, soit limitée, soit indéfinie, en ayant égard aux intervalles de ces corps, ainsi qu'à la distance du foyer lumineux d'où les rayons émanent;

« 2<sup>o</sup> Conclure de ces expériences, par des inductions mathématiques, les mouvements des rayons dans leur passage près des corps. »

« Le prix sera décerné dans la séance publique de 1819, mais le concours sera fermé le 1<sup>er</sup> août 1818; et ainsi les Mémoires devront être remis avant cette époque, pour que les expériences qu'ils contiendront puissent être vérifiées <sup>(1)</sup>. »

Fresnel, *Oeuvres*, Tom. 1; XXXVI-XXXVII. Verdet Introduction

# *Memoria couronné. 1818*

## *Integrazione sul fronte d'onda*

Esperimenti mirati che mostrano che la diffrazione dipende **solo dalla geometria** dell'ostacolo e non dalla sua costituzione fisica, la sua massa etc.

In conclusione

*Les phénomènes de la diffraction son inexplicables dans le système de l'émission*

Ma mostrano anche (frange scure al posto delle chiare) che la teoria duale è inadeguata

*qu'on ne peut pas attribuer les phénomènes de la diffraction aux seuls rayons qui touchent les bords de corps, et qu'il faut admettre qu'un infinité d'autres rayons séparés de ces corps par des intervalles sensibles .... concourent aussi à la formation des franges*

Una teoria soddisfacente si può formulare assumendo

- 1. il principio di Huygens**
- 2. l'interferenza tra le onde**
- 3. fattore di inclinazione: le ampiezze delle ondine secondarie sono massime in avanti**





# Memoria couronné. 1818

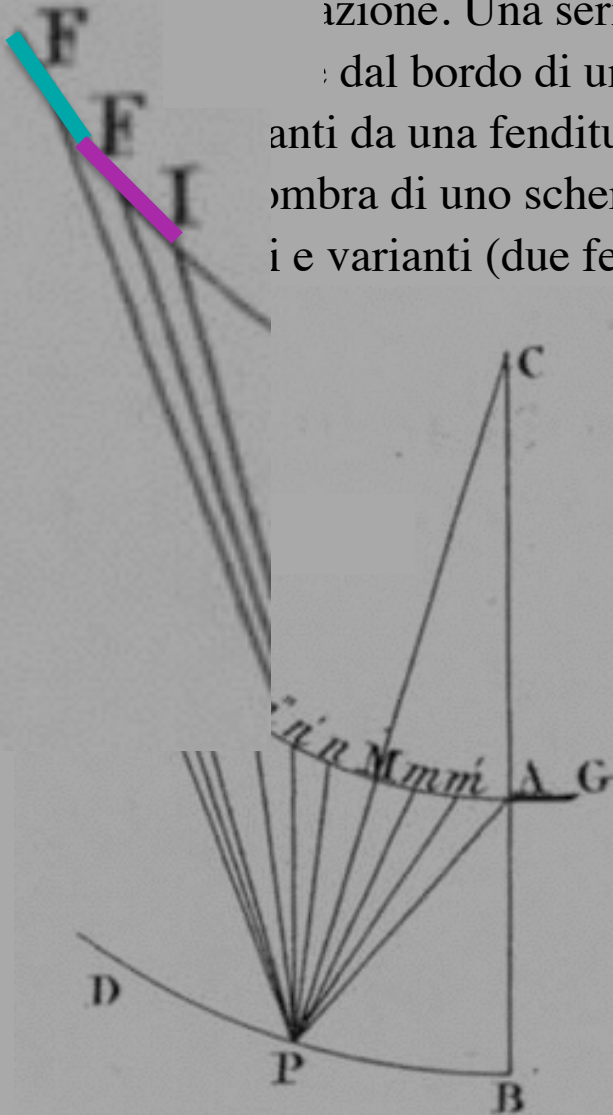
svilupata e confrontata ai risultati degli esperimenti nelle tre classi principali di  
azione. Una serie di esperimenti conferma la teoria

dal bordo di uno schermo semi-infinito

anti da una fenditura

ombra di uno schermo molto stretto

ie e varianti (due fenditure strette e vicine, due specchi quasi paralleli, biprisma, ..)



Il cammino da C a P è minimo per M

Dividere il fronte d'onda intercettato dall'ostacolo in A in  
pezzetti i cui punti di mezzo contribuiscano in opposizione di  
fase in P

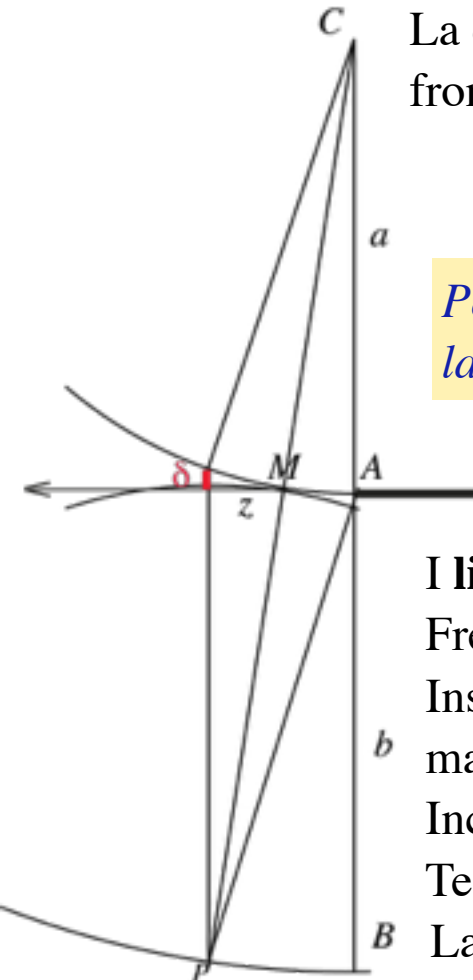
Quelli molto inclinati  $IE$ ,  $EF$  etc. hanno aree circa uguali e  
quindi si annullano a vicenda.

Basta considerare pezzetti vicino a  $M$



# Problema generale. 1818

*Date le intensità e le posizioni relative di un numero qualunque di sistemi di onde luminose della medesima lunghezza, e che si propagano nella medesima direzione, determinare l'intensità delle vibrazioni risultanti dal concorso di questi differenti sistemi di onde, cioè, la velocità oscillatoria delle molecole eteree.*



La differenza di fase in  $P$  dell'onda secondaria dal generico punto  $m$  del fronte primario, rispetto a quella da  $M$  è  $ms/\lambda$ . Approssimativamente

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{a+b}{2ab\lambda} z^2$$

*Per trovare la posizione assoluta delle frange è indispensabile calcolare la risultante dei contributi di tutto il fronte d'onda*

$$\int \sin\left(\pi z^2 \frac{a+b}{ab\lambda}\right) dz \quad \int \cos\left(\pi z^2 \frac{a+b}{ab\lambda}\right) dz$$

I **limiti** di integrazione dipendono dalle posizioni di  $P$  e dell'ostacolo Fresnel calcola numericamente  $\rightarrow$  tabelle precise a  $0.5 \cdot 10^{-3}$ .

Inserendo i valori delle geometrie degli esperimenti calcola le posizioni dei massimi e dei minimi e le intensità

Incertezza teorica  $\approx 0.4 \mu\text{m}$ ; incertezza sperimentale  $\approx 1-2 \mu\text{m}$ .

Teoria e esperimento in accordo

La Commissione: **Arago, Biot, Laplace, Gay-Lussac e Poisson** assegna il premio *A. Bettini Padova University and INFN*

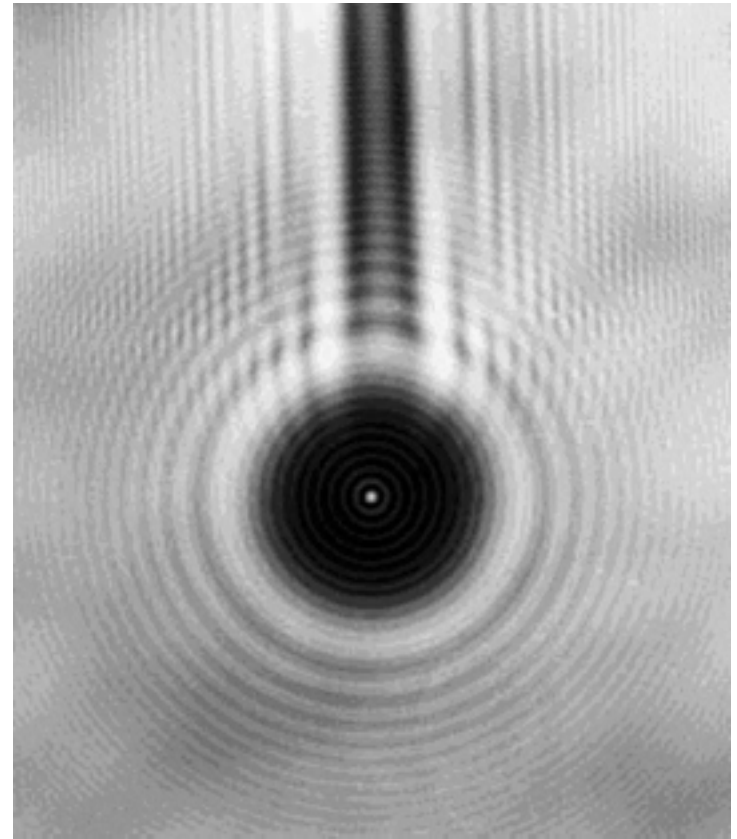
# *Il punto di Poisson*

Dopo il giudizio, Poisson non è convinto. È ancora “newtoniano” e la teoria di Fresnel non gli appare abbastanza rigorosa.

Calcola che la teoria ondulatoria prevede la presenza dietro un ostacolo circolare di un punto sull'asse, ad una determinata distanza, luminoso quanto se lo schermo non ci fosse.

Previsione che dimostrava l'assurdità della teoria.

Arago fece subito la prova, e trovò il punto luminoso Fresnel, rifece il calcolo in maniera semplice, utilizzando zone circolari con contributi di  $n\lambda/2$



# *Fresnel 1819-1827*

**Da solo e con Arago**

- **Comprensione completa degli stati di non polarizzazione, polarizzazione parziale, polarizzazione piana, circolare, ellittica**
- **Le oscillazioni sono trasversali**
- **Polarizzazione cromatica**
- **Inesistenza del raggio ordinario per i cristalli biassici**
- **Distinzione tra direzione del raggio (propagazione dell'energia) e la normale alla superficie d'onda (propagazione della fase)**
- **Ellissoide (uniassici) e superficie quartica (biassici) degli indici**
- **Unificazione interferenza-polarizzazione**

# *..and light based technologies*

Le “Oeuvres complètes d’Augustin Fresnel” furono pubblicate da Henri de Senarmont, Emile Verdet e Léonor Fresnel. (Parigi 1866-1870), in tre volumi  
Il terzo volume è tutto sulla tecnologia dei fari

## **La lente di Fresnel**

*Œuvres d'Augustin Fresnel, tome III page 226, N° XXI (A).*

Pl. XIII.



Imprimerie Legrande



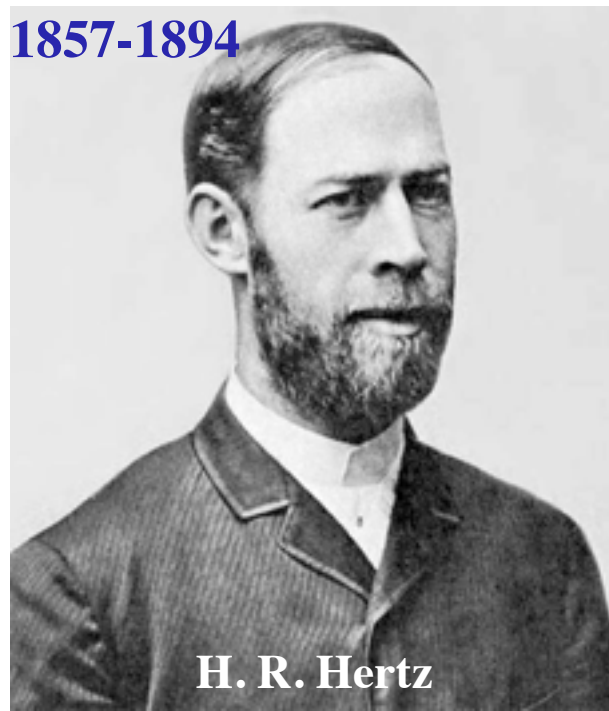
# *Scuse, prima dei quanti, a*

1831-1889



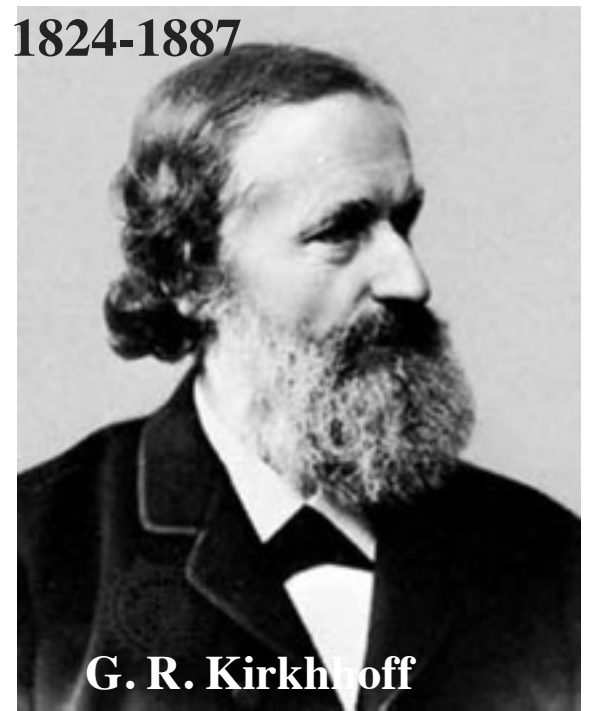
**J. C. Maxwell**

1857-1894



**H. R. Hertz**

1824-1887



**G. R. Kirchhoff**

**e diversi altri**

***GRAZIE DELL'ATTENZIONE***