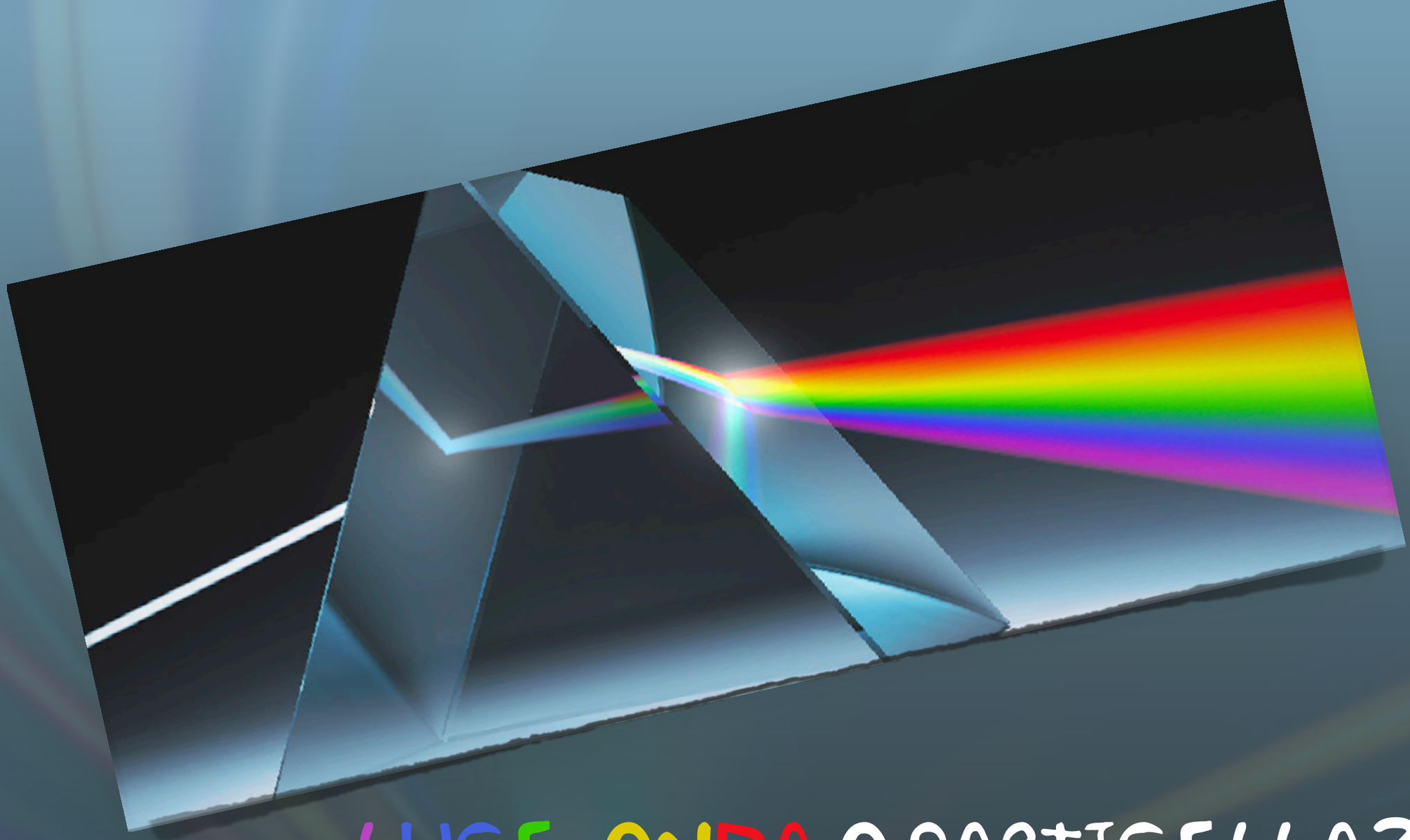


LUCE: ONDA O PARTICELLA?
ESPERIMENTI CHE "PROVANO" A RISPONDERE

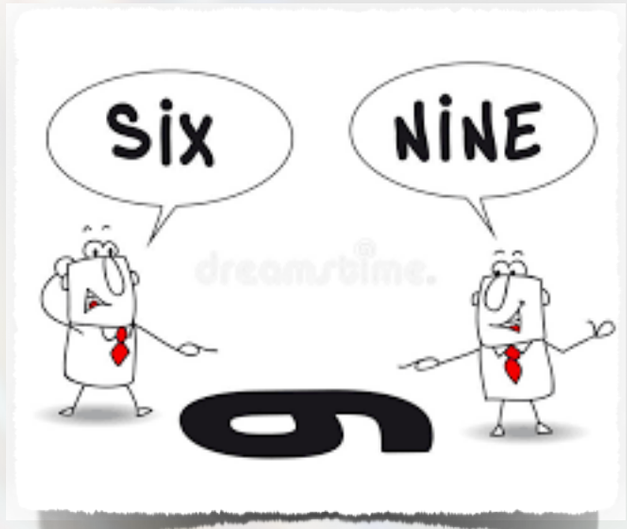
LIVIA SOFFI
ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
UNIVERSITA` LA SAPIENZA
ROMA

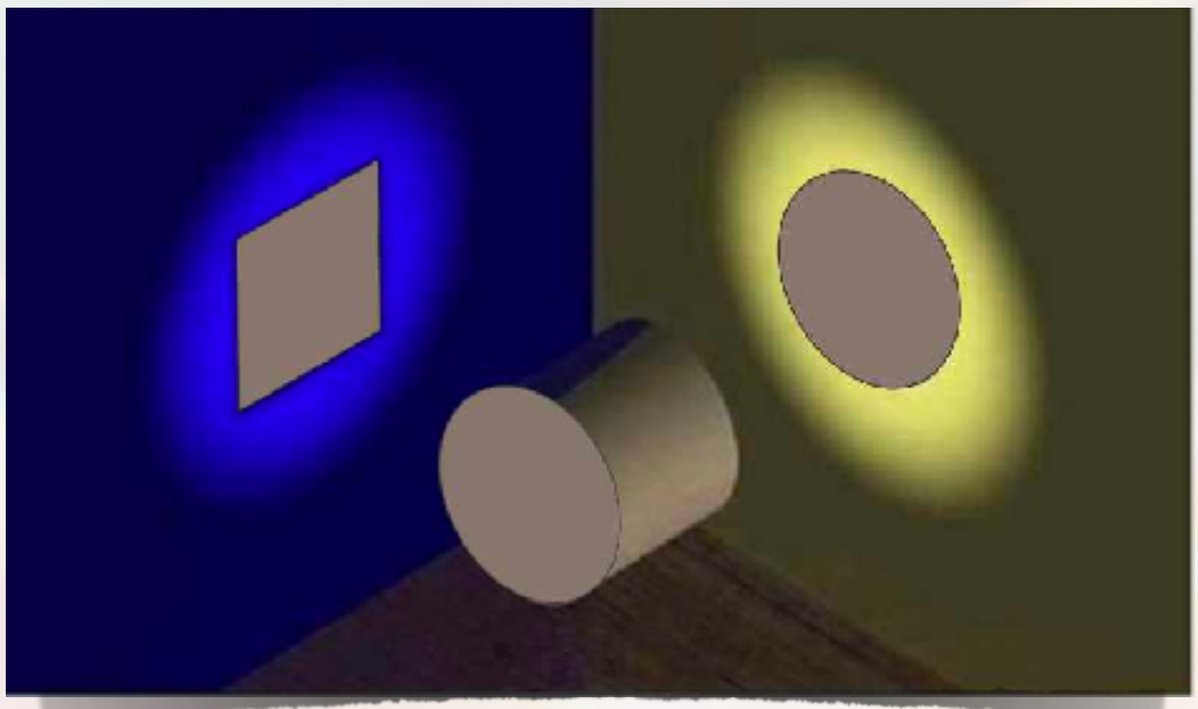
INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

STVDIVM VRBIS

LA PROSPETTIVA DEL PUNTO DI VISTA

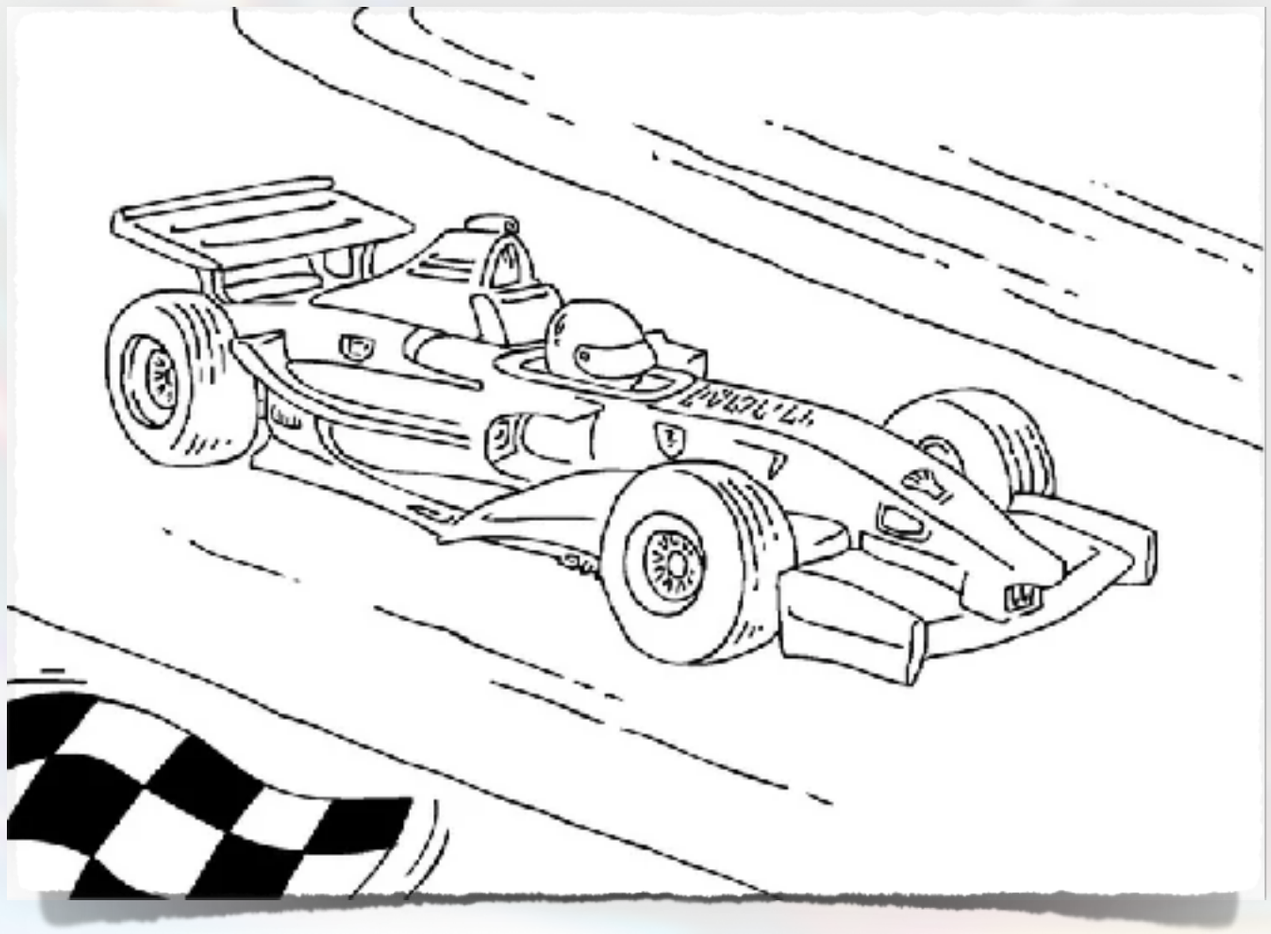
- Spesso in fisica (e non solo) la **descrizione di un fenomeno** puo' cambiare a seconda del punto di vista utilizzato per osservarlo





LA PROSPETTIVA DEL PUNTO DI VISTA

- Pensate al classico esempio di un **sistema in moto relativo** rispetto ad un sistema fisso…



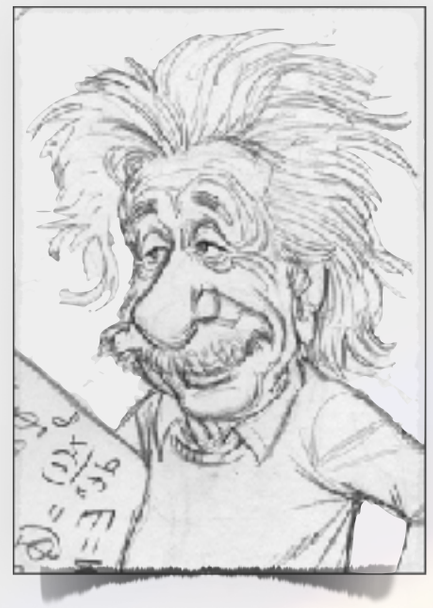
A che velocità si muove lil pilota?

Rispetto a chi?

LA NATURA DELLA LUCE

- Oggi proveremo a rispondere alla domanda:

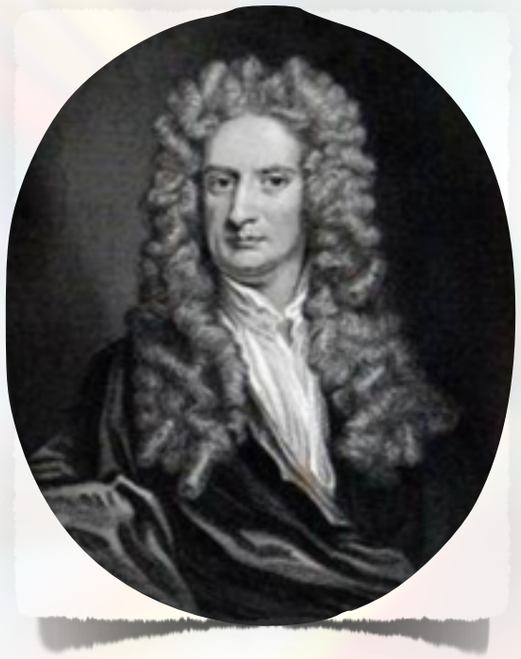
La luce e` un'onda o una particella?



- Vedremo prima le risposte che diedero

Newton (1704)

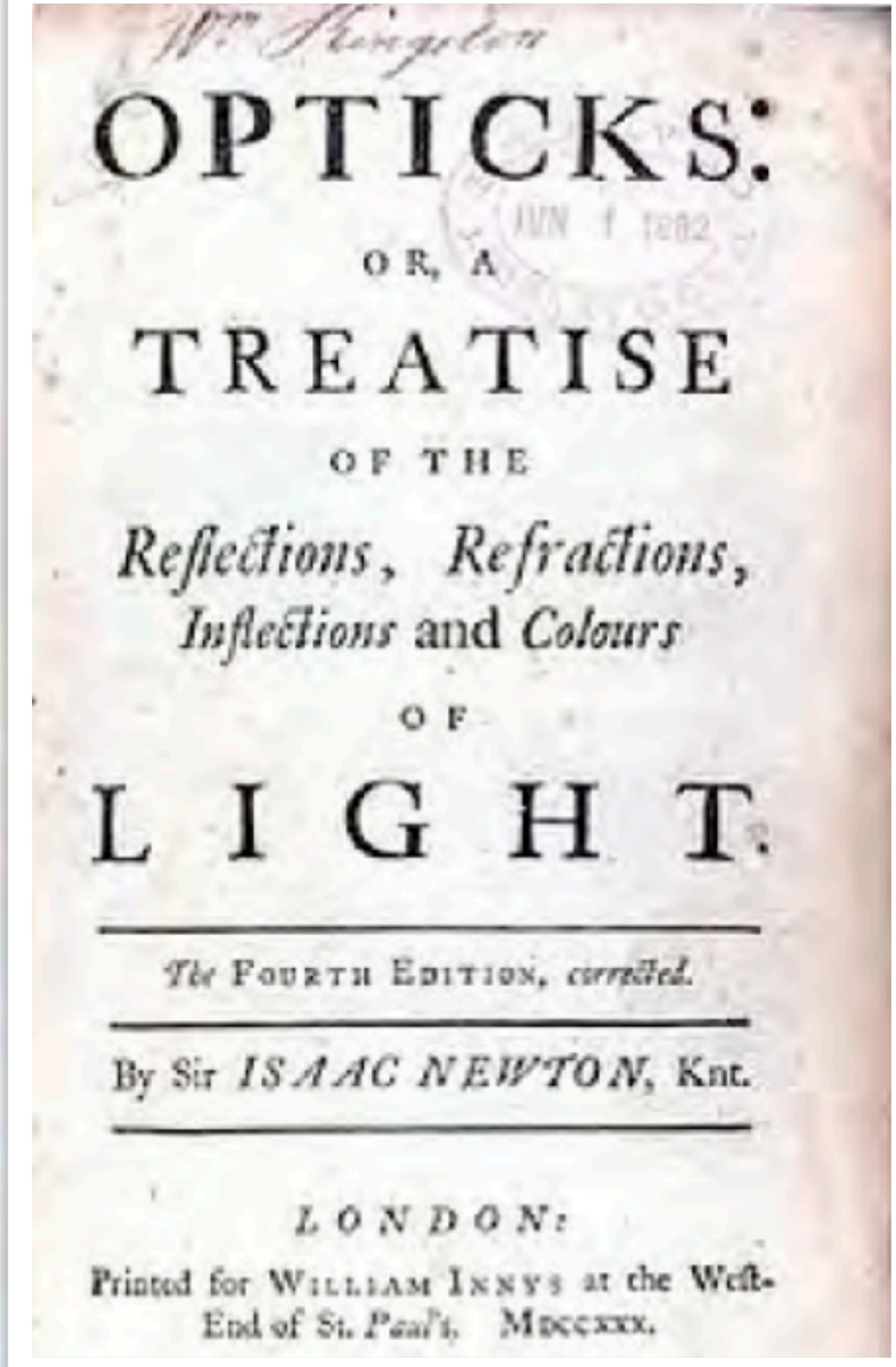
Modello corpuscolare



Huygens (1678)

Modello ondulatorio

- Proveremo a rispondere noi con degli **esperimenti "dal vivo"**



Wm Herrington

OPTICKS:

OR, A

TREATISE

OF THE

Reflections, Refractions, Inflections and *Colours*

OF

LIGHT.

The FOURTH EDITION, *corrected.*

By Sir *ISAAC NEWTON*, Knt.

LONDON:

Printed for WILLIAM INNYS at the Weſt-End of St. *Paul's*. MDCCXXX.

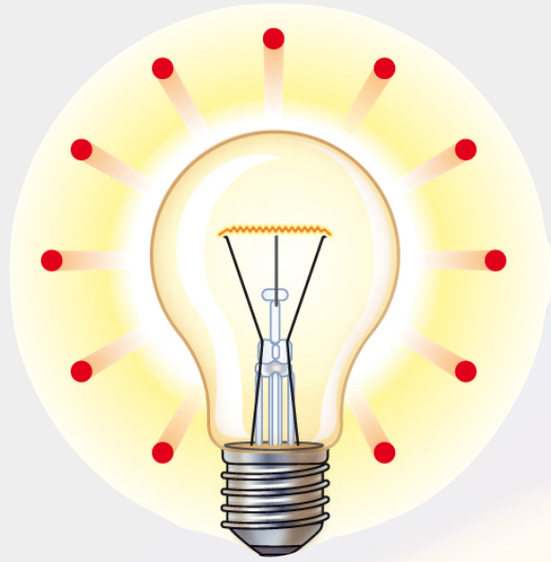
NEWTON

1704

http://crf.uniroma2.it/wp-content/uploads/2010/04/ColoriNewton.pdf

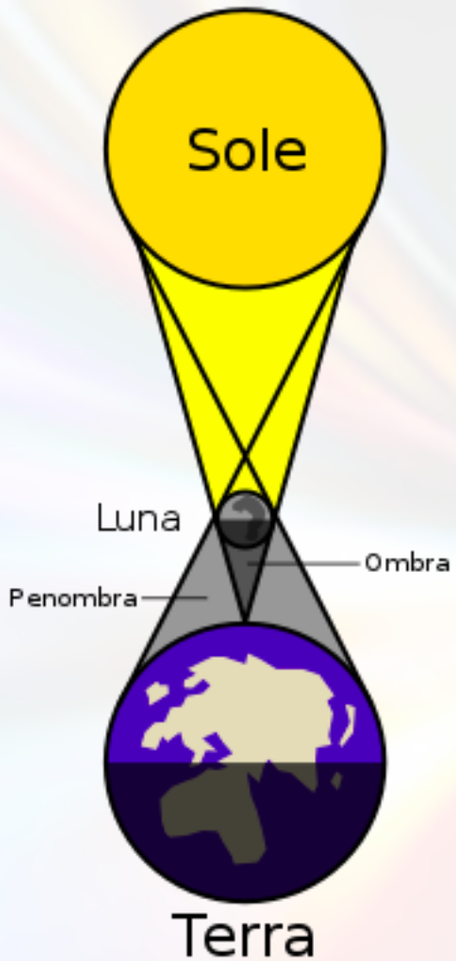
IL MODELLO CORPUSCOLARE DI NEWTON

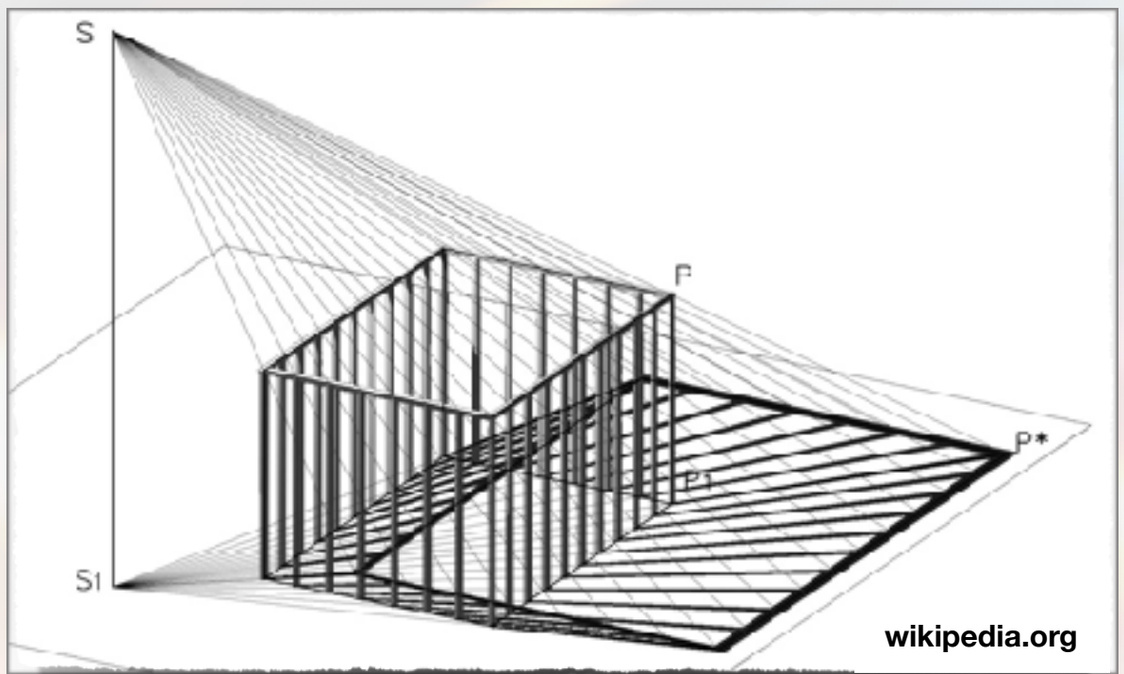
- La luce è composta da **piccolissime particelle di materia** emesse da sostanze luminose in tutte le direzioni


Arnaldi, L'Arnaldi 2.0 © Zanichelli editore 2010

- Tali particelle vengono liberate dai corpi luminosi e si propagano in **linea retta**:

OMBRE E ECLISSI





IL MODELLO CORPUSCOLARE DI NEWTON

- La luce è composta da **piccolissime particelle di materia** emesse da sostanze luminose in tutte le direzioni

Arnaldi, L'Arnaldi 2.0 © Zanichelli editore 2010

- Tali particelle **rimbalzano** contro gli ostacoli con urti elastici ("**come palline**"):

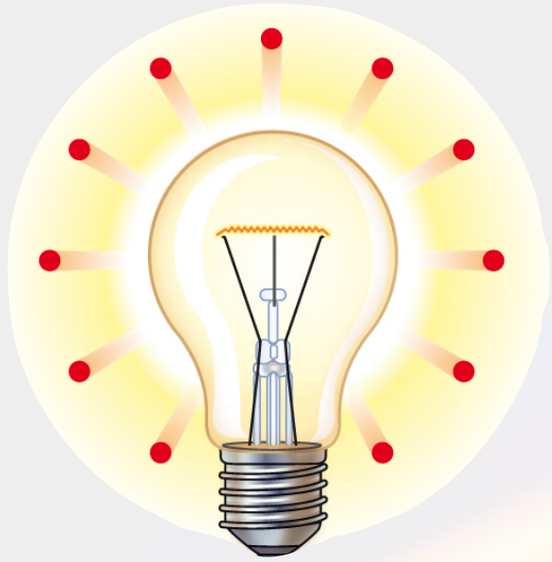
RIFLESSIONE

*Dalla **conservazione della quantita` di moto** in due dimensioni:*

1. Il raggio incidente e quello riflesso giacciono su un **piano**
2. L`**angolo di riflessione e` uguale** a quello di incidenza

ESISTENZA DEI COLORI SECONDO NEWTON

- La luce è composta da **piccolissime particelle di materia** emesse da sostanze luminose in tutte le direzioni



- A causa delle **diverse forme,masse e dimensioni** dei corpuscoli:

COLORI

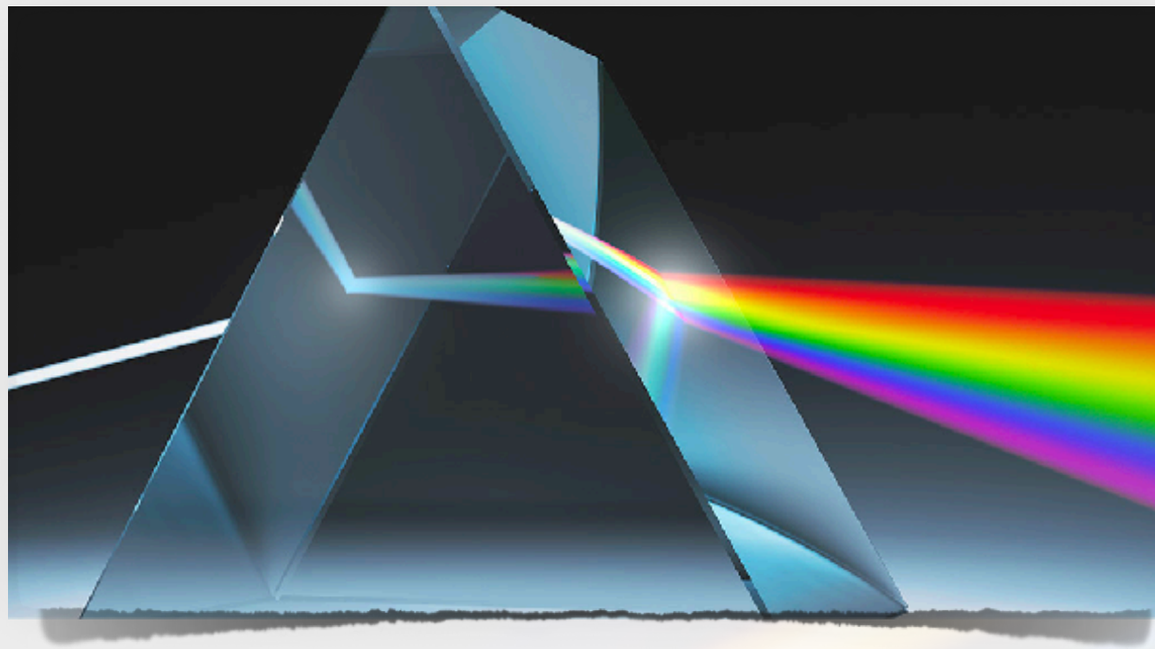
- Luci di **colori diversi vengono deviate con angoli differenti**.

  - corpuscoli più grossi -> rosso
  - corpuscoli più piccoli -> violetto

Arnaldi, L'Arnaldi 2.0 © Zanichelli editore 2010

NEWTON E LA RIFRAZIONE DELLA LUCE

- All'interno del mezzo i corpuscoli sentono una **forza diversa in base alla loro massa**



Tale forza ne **devia la direzione.**

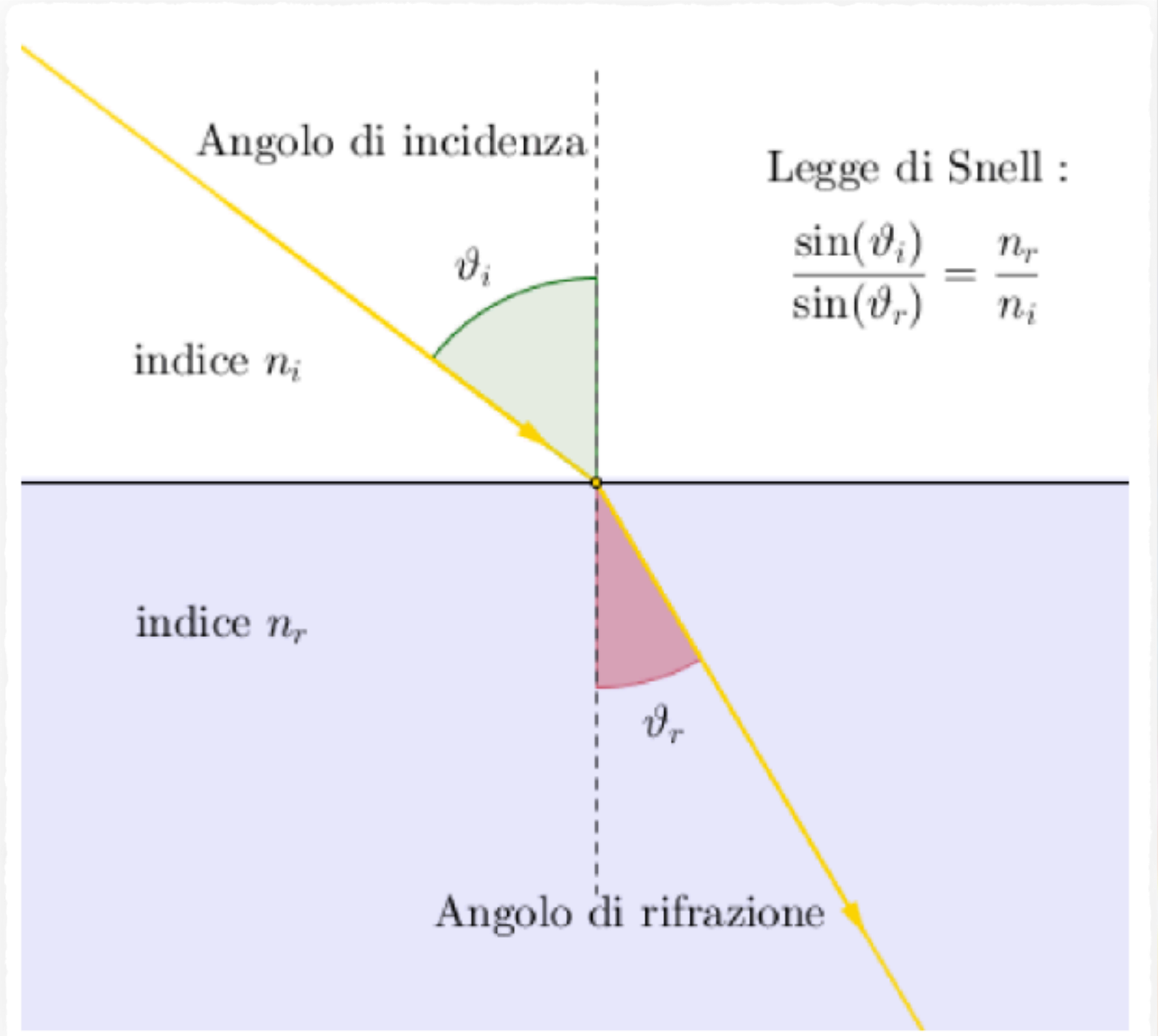
Ma se c`e` una forza c`e` un'**accelerazione:**

La luce è più veloce nei corpi rispetto al vuoto.

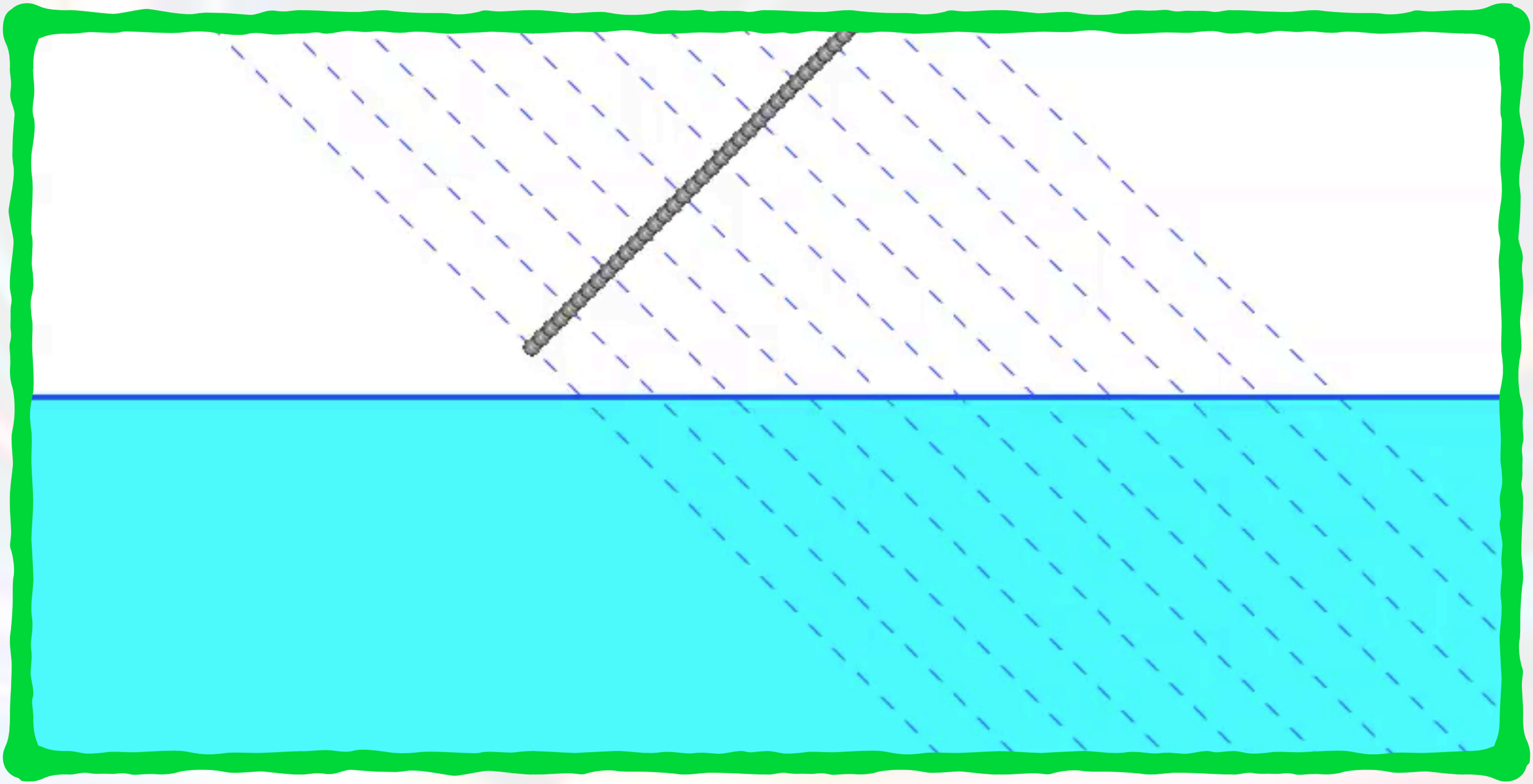
Paradosso: sappiamo che non e' così! ⟺ **La pura natura corpuscolare non funziona!**

LA RIFRAZIONE

- La **direzione di un raggio luminoso varia** al confine tra due mezzi di material diverso



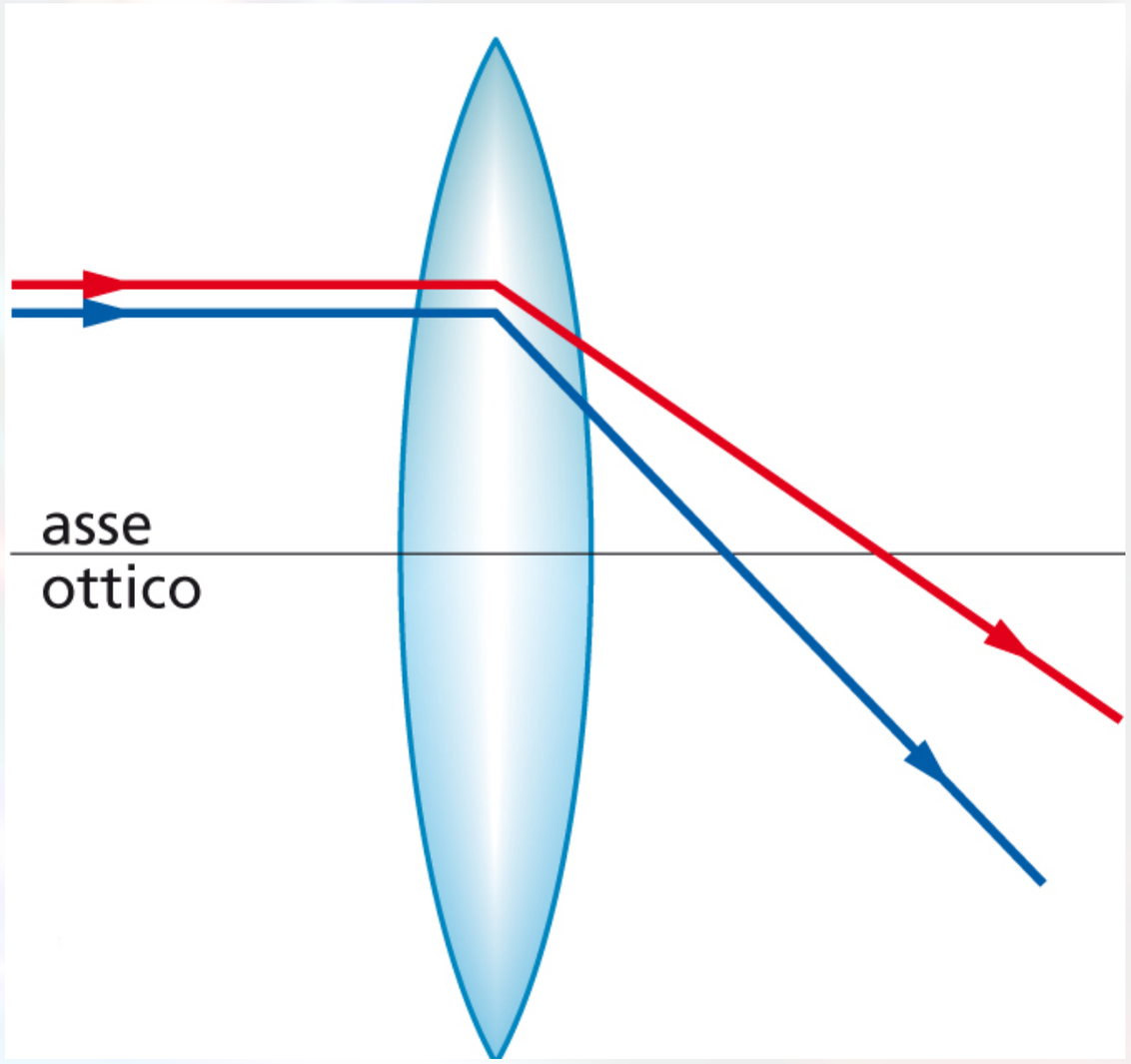
ANIMAZIONE SULLA RIFRAZIONE



Link

NOI OGGI SAPPIAMO CHE..

- **La velocita` del raggio luminoso e` diversa a seconda del materiale:**



Colore	Indice di rifrazione
Violetto	1,522
Blu	1,516
Giallo	1,510
Rosso	1,507

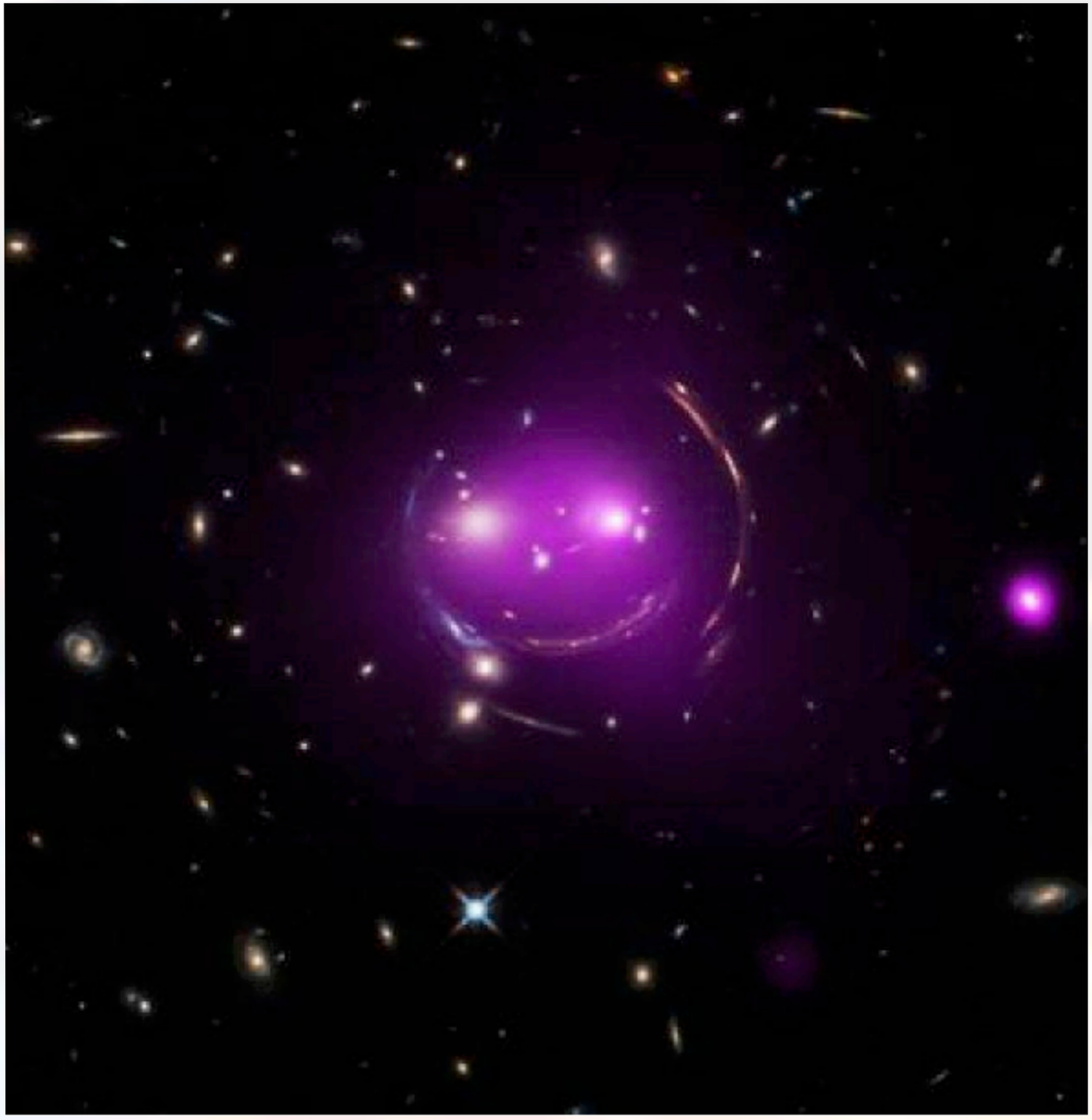
v = c/n

ex. n (aria) = 1.0003,
n(acqua) = 1.33

- L`indice di rifrazione dipende dal colore dell'onda: **colori diversi vengono rifratti ad angoli diversi**

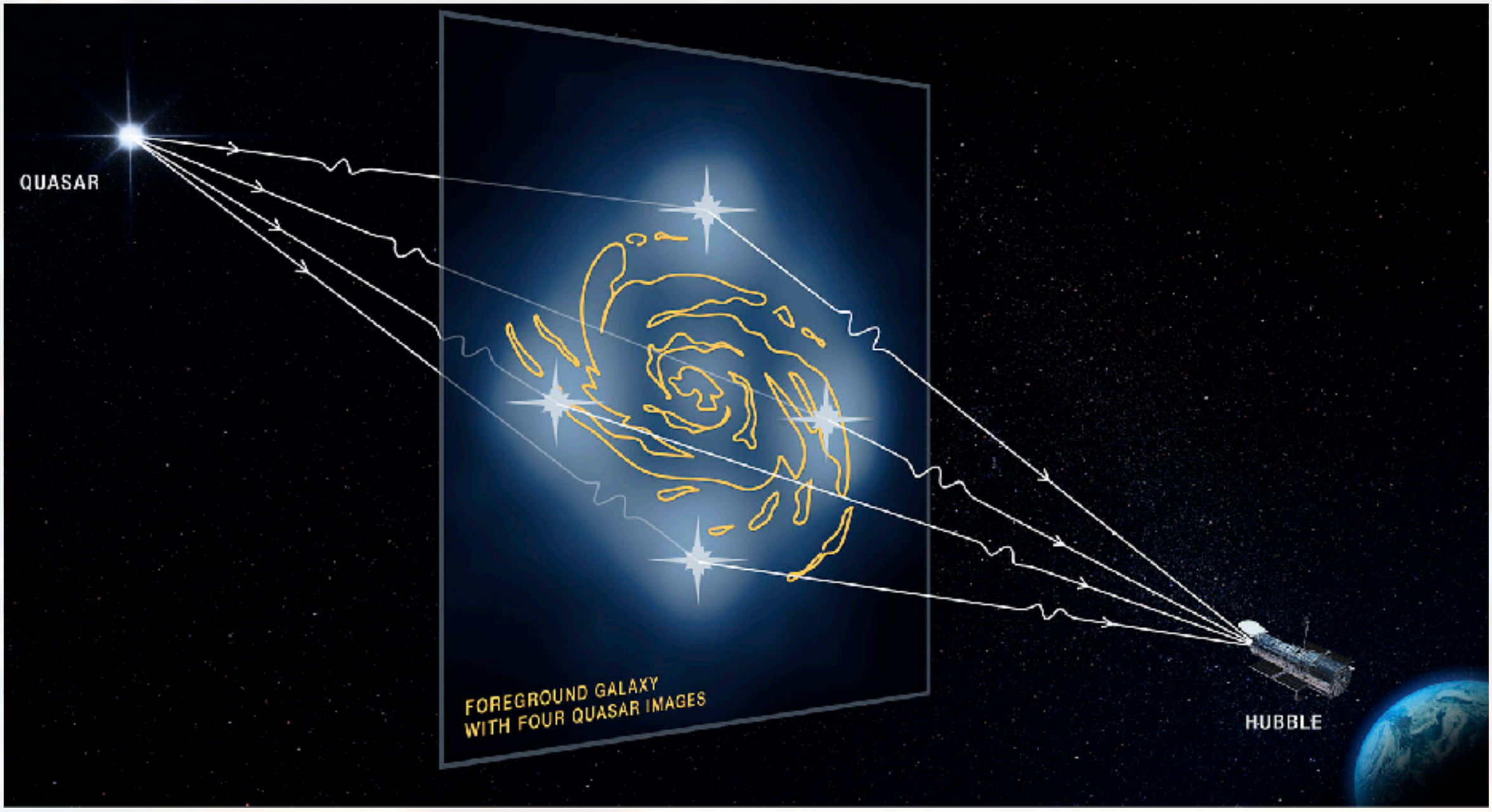
LE LENTI GRAVITAZIONALI

- Immagini di oggetti astrofisici deformate



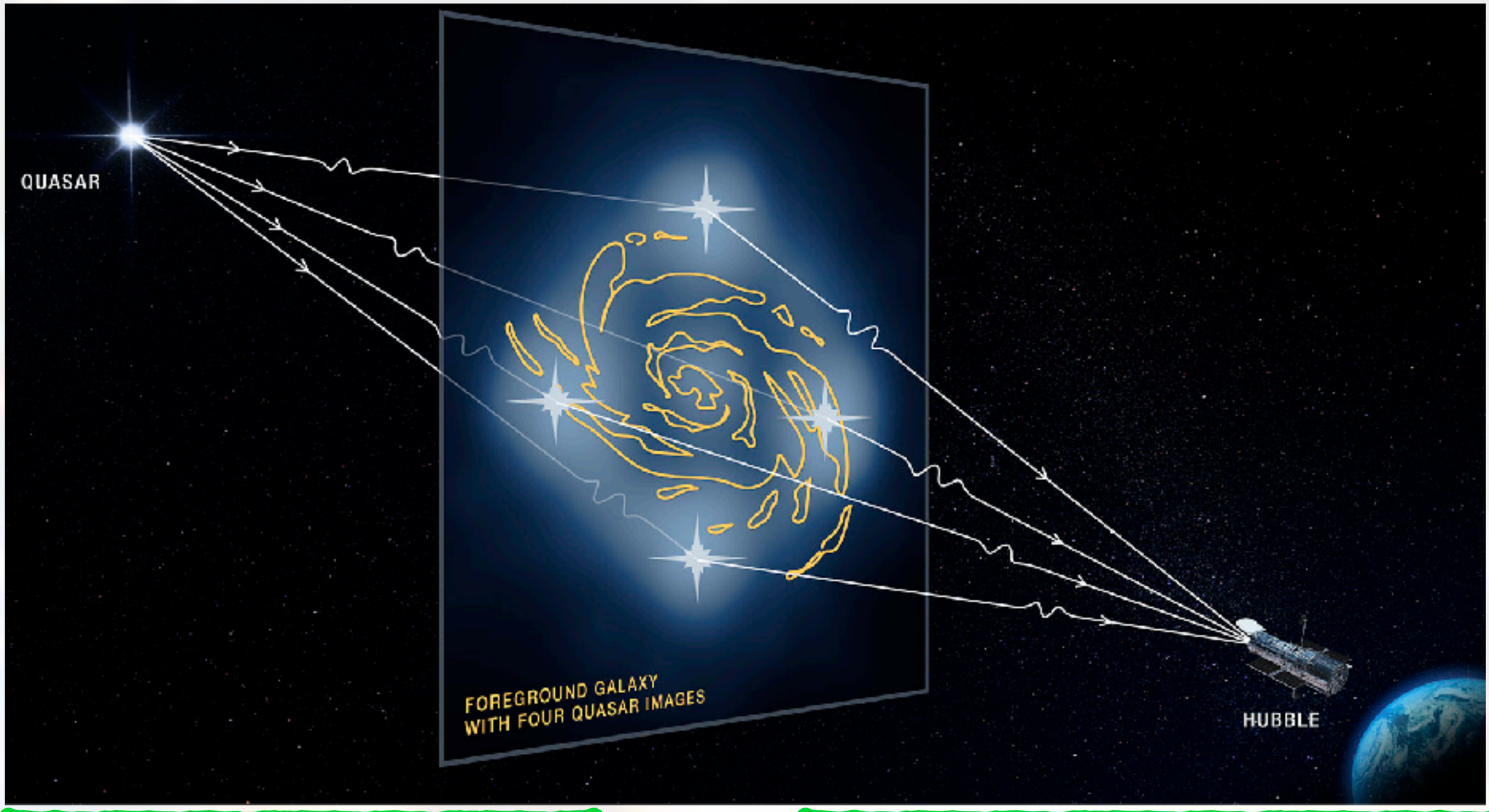
LE LENTI GRAVITAZIONALI

- La teoria corpuscolare prevede che **la luce cambi la sua traiettoria nelle vicinanze di oggetti molto massivi.**



LE LENTI GRAVITAZIONALI

- La teoria corpuscolare prevede che **la luce cambi la sua traiettoria nelle vicinanze di oggetti molto massivi.**



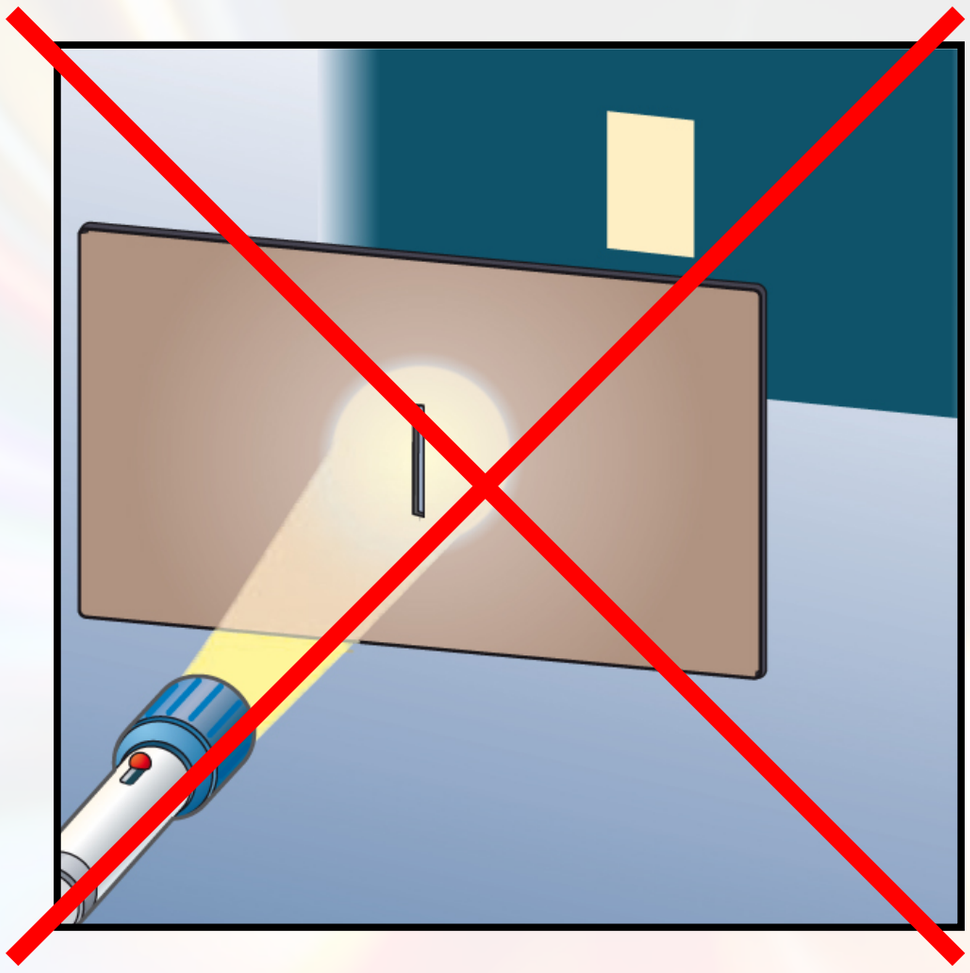
Deviazione prevista da Newton troppo piccola

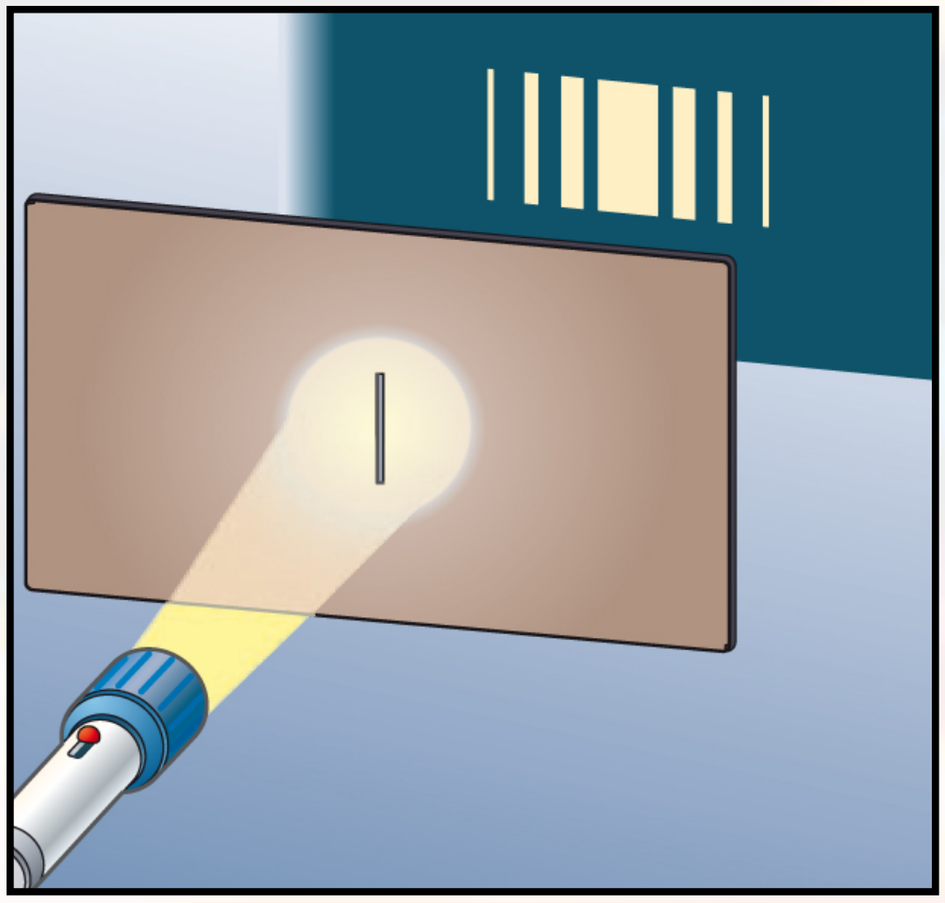
La pura natura corpuscolare non funziona!

LA DIFFRAZIONE

- Si ha **diffrazione** quando la luce aggira gli ostacoli e invade una zona d'ombra.

- Se un fascio di luce passa attraverso una **fenditura molto stretta**, sullo schermo compaiono delle **frange luminose alternate a zone scure**





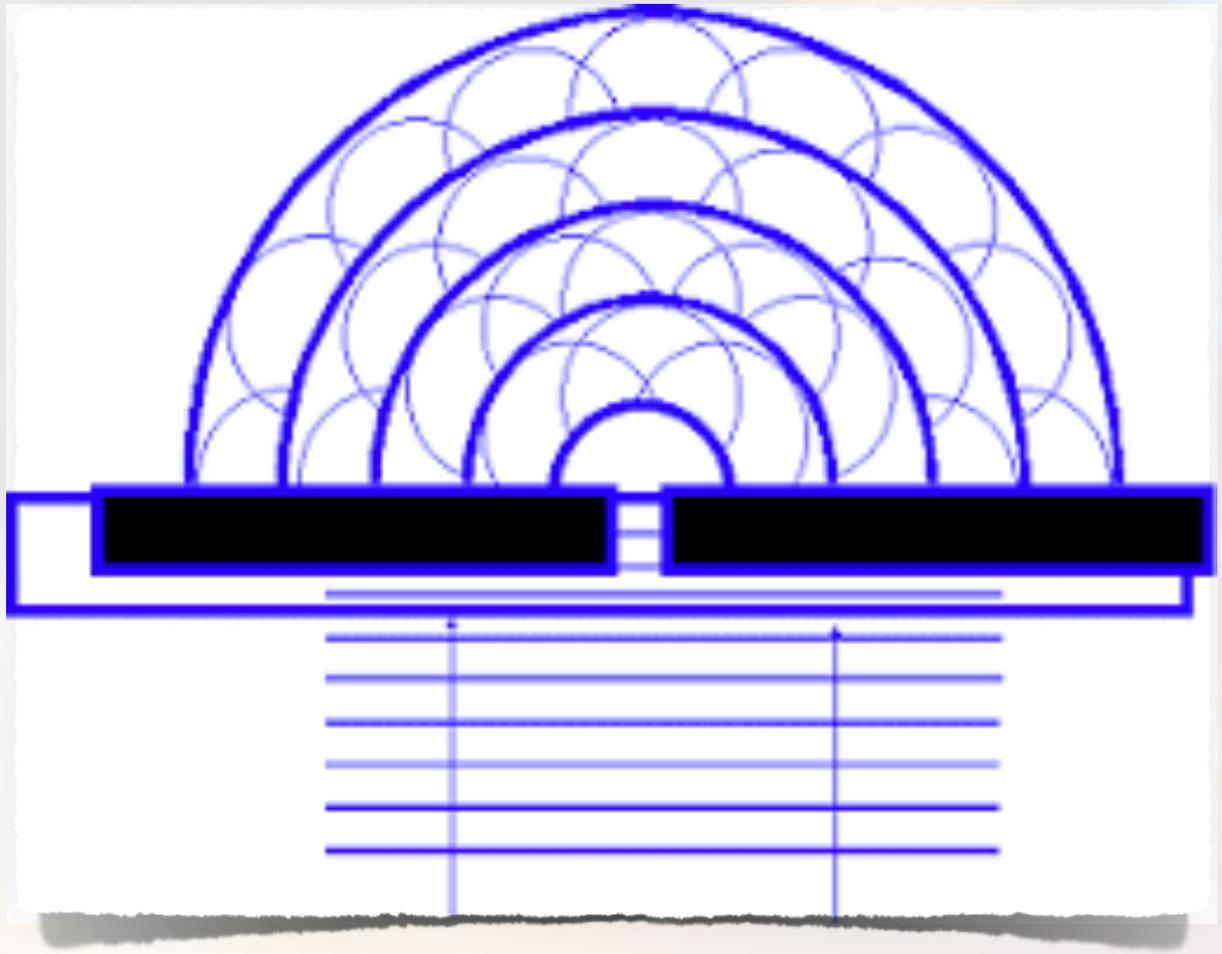
IL MODELLO ONDULATORIO DI HUYGENS

- La luce è costituita da **un insieme di onde meccaniche** che si propagano in linea retta a velocità finita

- **Il fronte d'onda** è determinato dalla tangente comune alle estremità di queste onde elementari

- **La velocità della luce è inferiore nei mezzi** piu` densi

Principio di Huygens (1678)



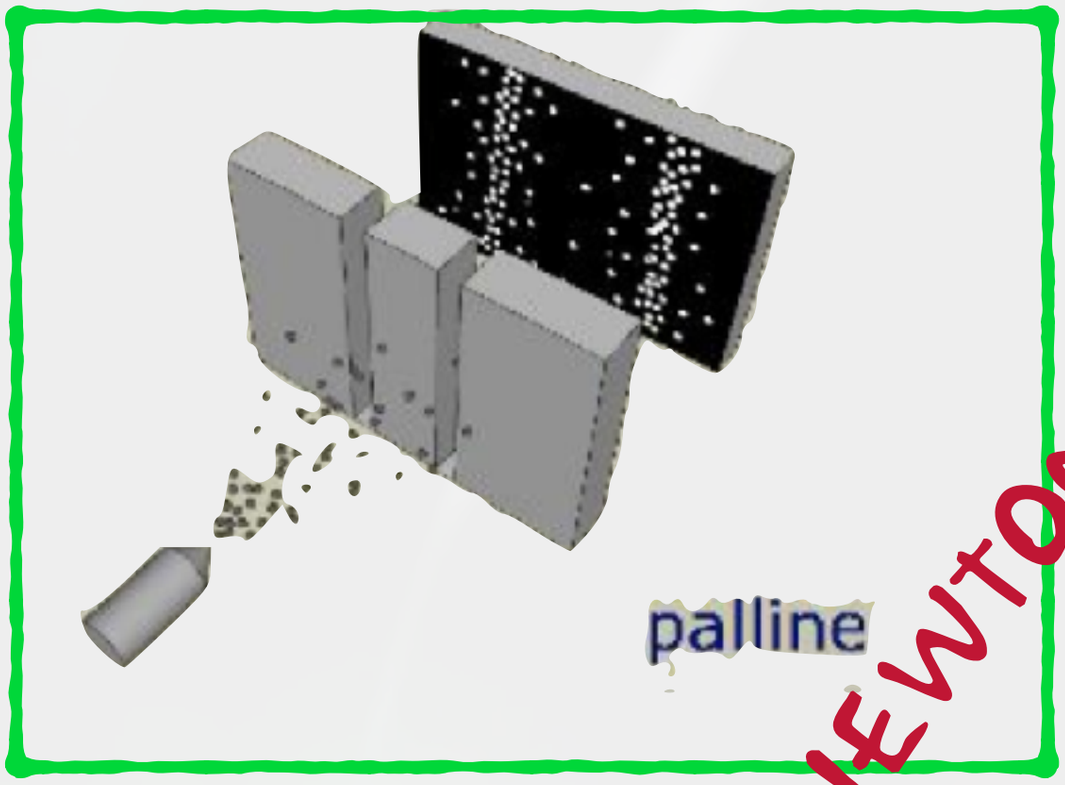
NEWTON VS HUYGENS

- Il principio di **Huygens** spiegava:
  r**iflessione, rifrazione e diffrazione** della luce

- Tuttavia fu principalmente **la teoria corpuscolare di Newton** a ispirare gli studiosi del 18° secolo.

- Bisognerà però aspettare Il **19° secolo e Thomas Young** per rimettere in discussione la teoria di Newton.

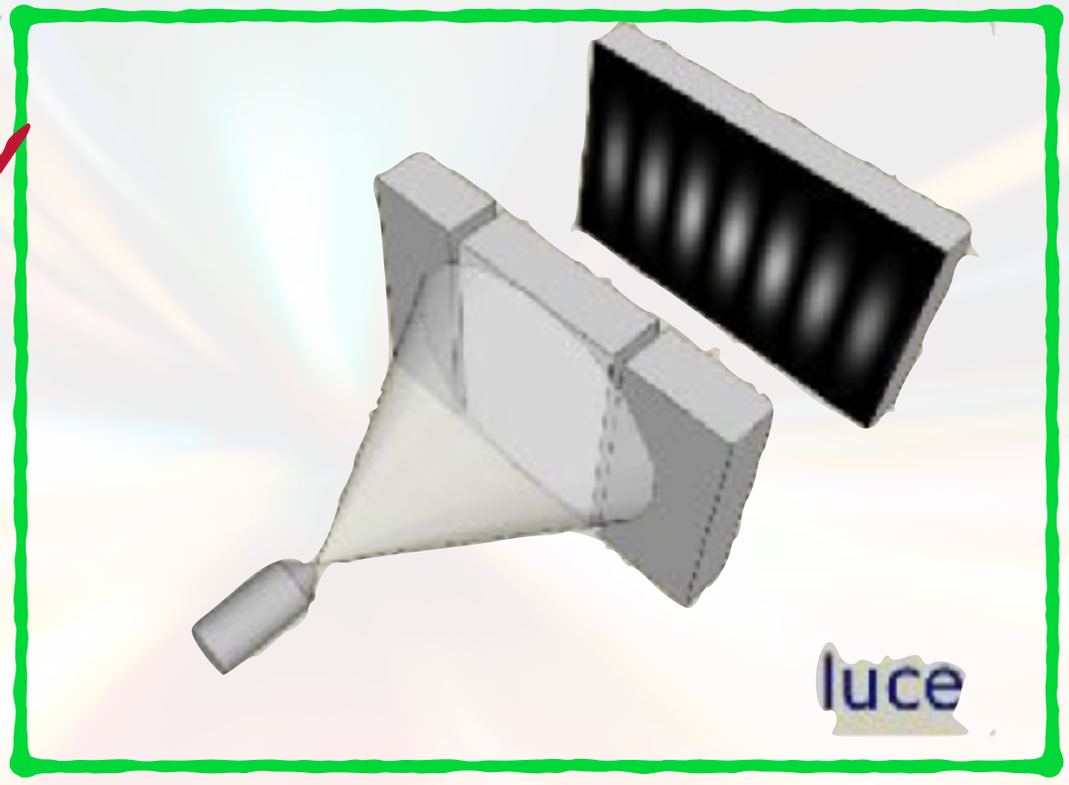
OSSERVAZIONE DELL'INTERFERENZA



NEWTON

Paradosso: sappiamo che non e' così!

OSSERVAZIONE



La pura natura corpuscolare non funziona!

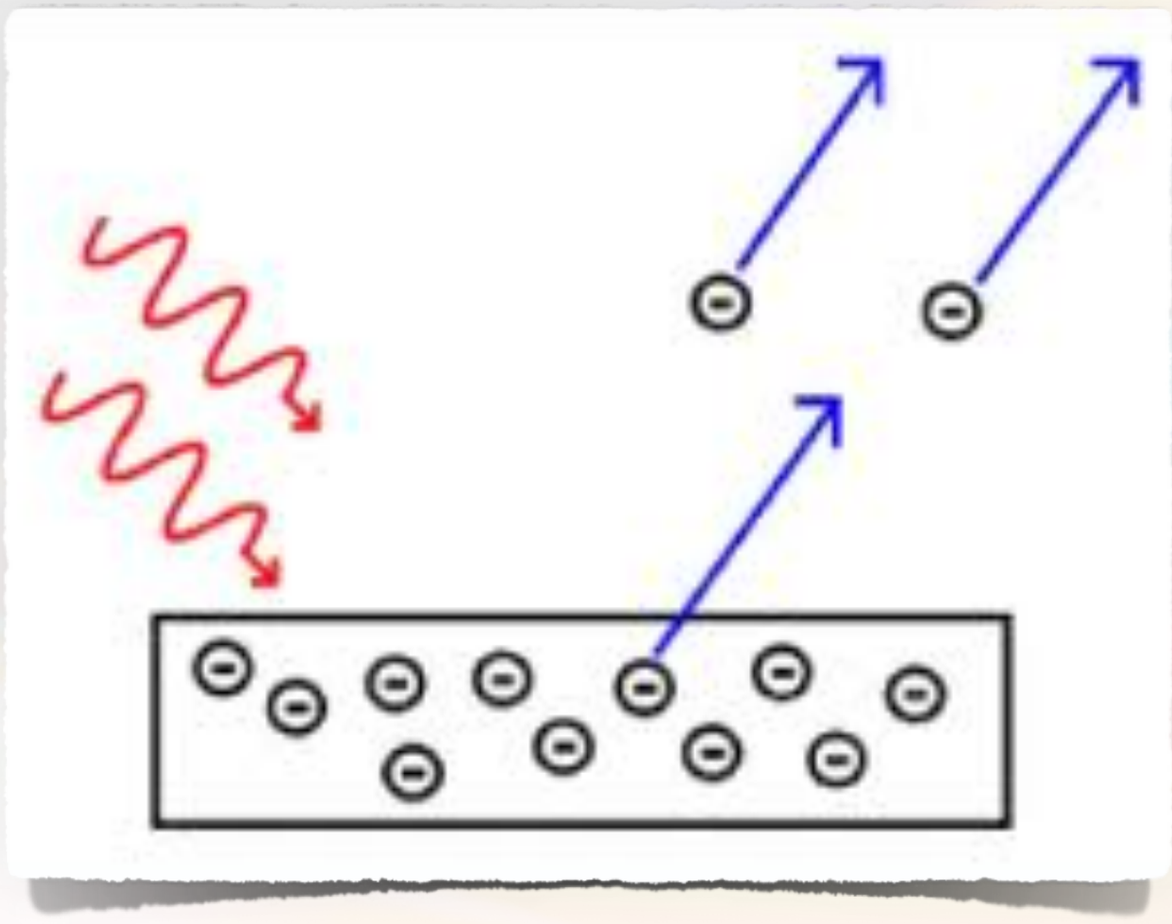
RICAPITOLANDO..

Modello	Spiega	Non Spiega
• **Corpuscolare di Newton**	• Propagazione linea retta luce • Esistenza colori • Riflessione • Rifrazione	• Diffrazione • Interferenza
• **Ondulatorio di Huygens, Young**	• Newton + • Diffrazione • Interferenza	TEORIA DEFINITIVA?

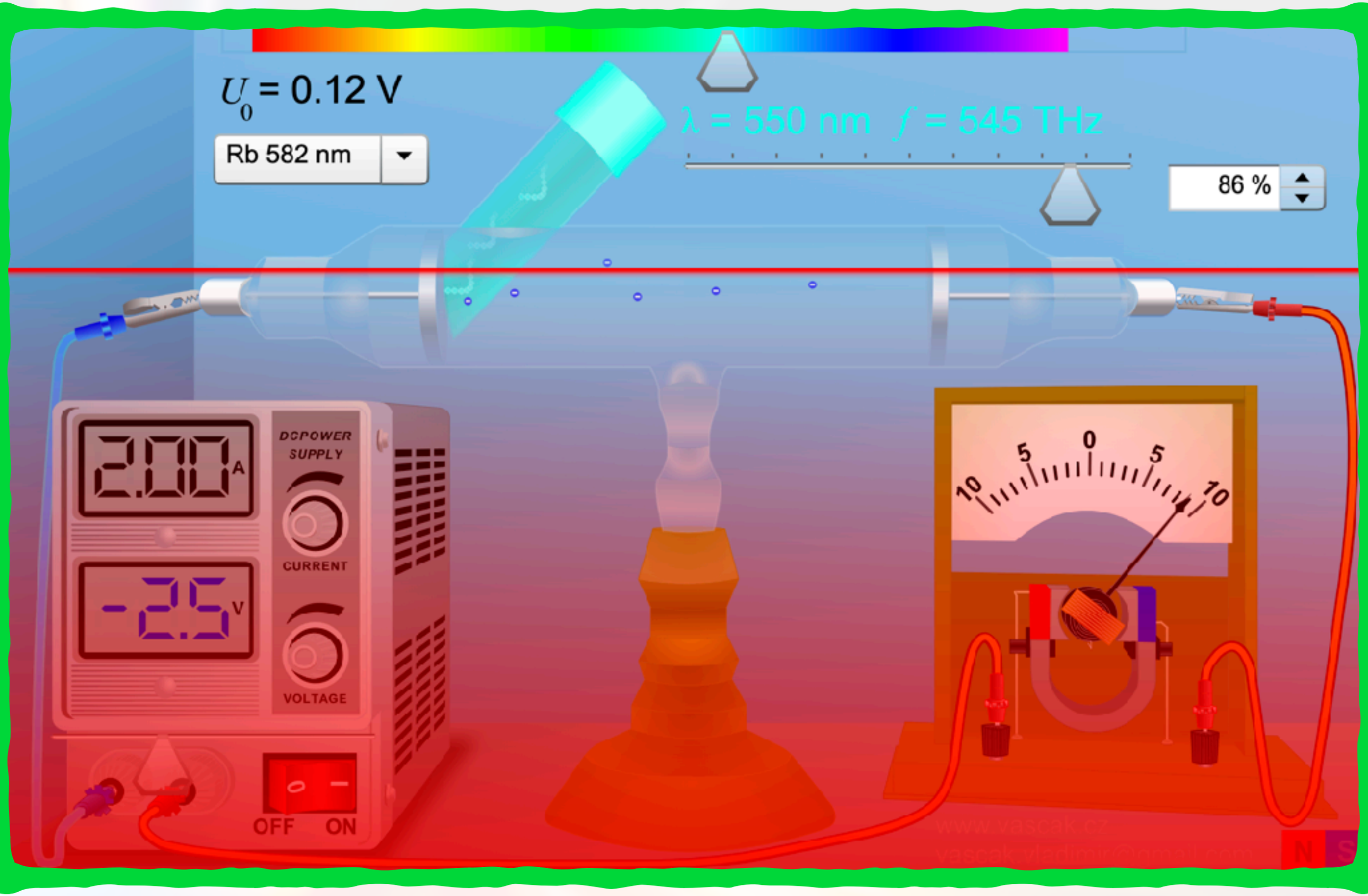
ONDE O PARTICELLE?

La natura della luce tornò di nuovo alla ribalta quando **Einstein**, nel **1905**, pubblicò un importante lavoro in cui mostrava che bisognava utilizzare un modello corpuscolare, e non ondulatorio, per spiegare l'***effetto fotoelettrico***.

L'effetto fotoelettrico consiste ***nell'estrazione di elettroni da un metallo ad opera di un fascio d luce*** *incidente avente una particolare lunghezza d'onda.*



L'EFFETTO FOTOELETTRICO I



L'EFFETTO FOTOELETTRICO II

L'energia degli elettroni emessi dipende solo dal colore della luce incidente, non dalla sua intensita`

L'EFFETTO FOTOELETTRICO II

L'energia degli elettroni emessi dipende solo dal colore della luce incidente, non dalla sua intensita`

La teoria ondulatoria non funziona!

Esiste un legame tra energia e colore

L'EFFETTO FOTOELETTRICO: SOLUZIONE DI EINSTEIN

- **Einstein**: **l'energia in un fascio di luce** non è distribuita in modo continuo ma consiste in pacchetti discreti di energia di:

$$E = h\frac{c}{\lambda} = h\nu$$

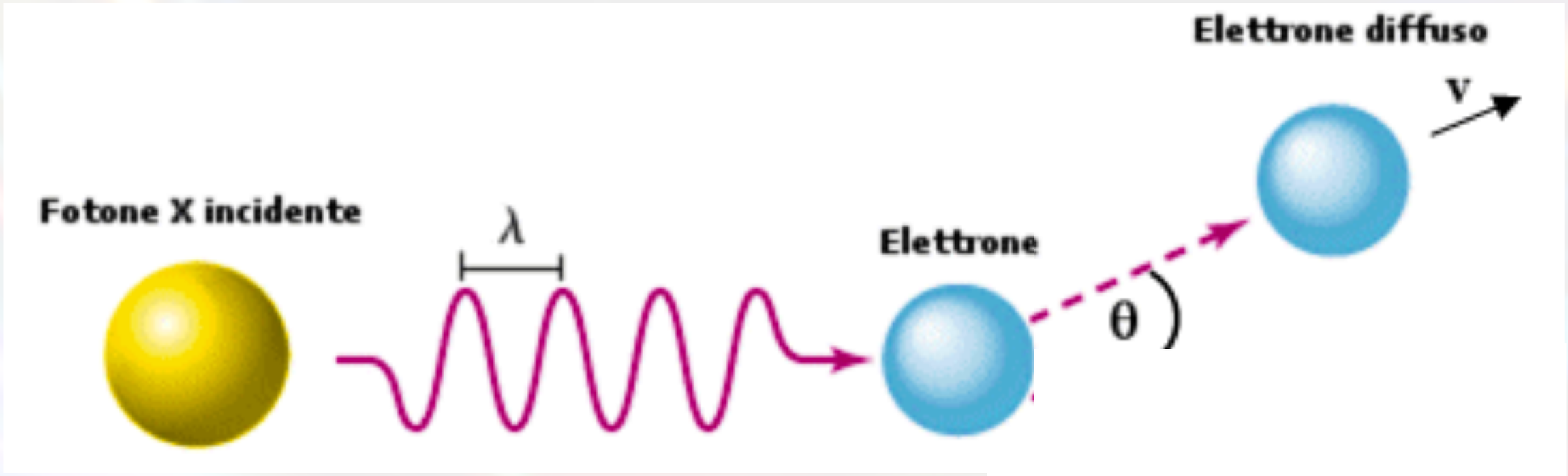
ν ↗ λ ↙ E ↗

Ad ogni lunghezza d'onda e' associata un'energia e un colore*!

h = costante di Planck = 6.626x10-31 g m2 s -1 = 6.626x10-34 g m2 s -1

L'EFFETTO FOTOELETTRICO: SOLUZIONE DI EINSTEIN

- Ogni elettrone emesso è il risultato di **un singolo fotone che cede E all'elettrone**:

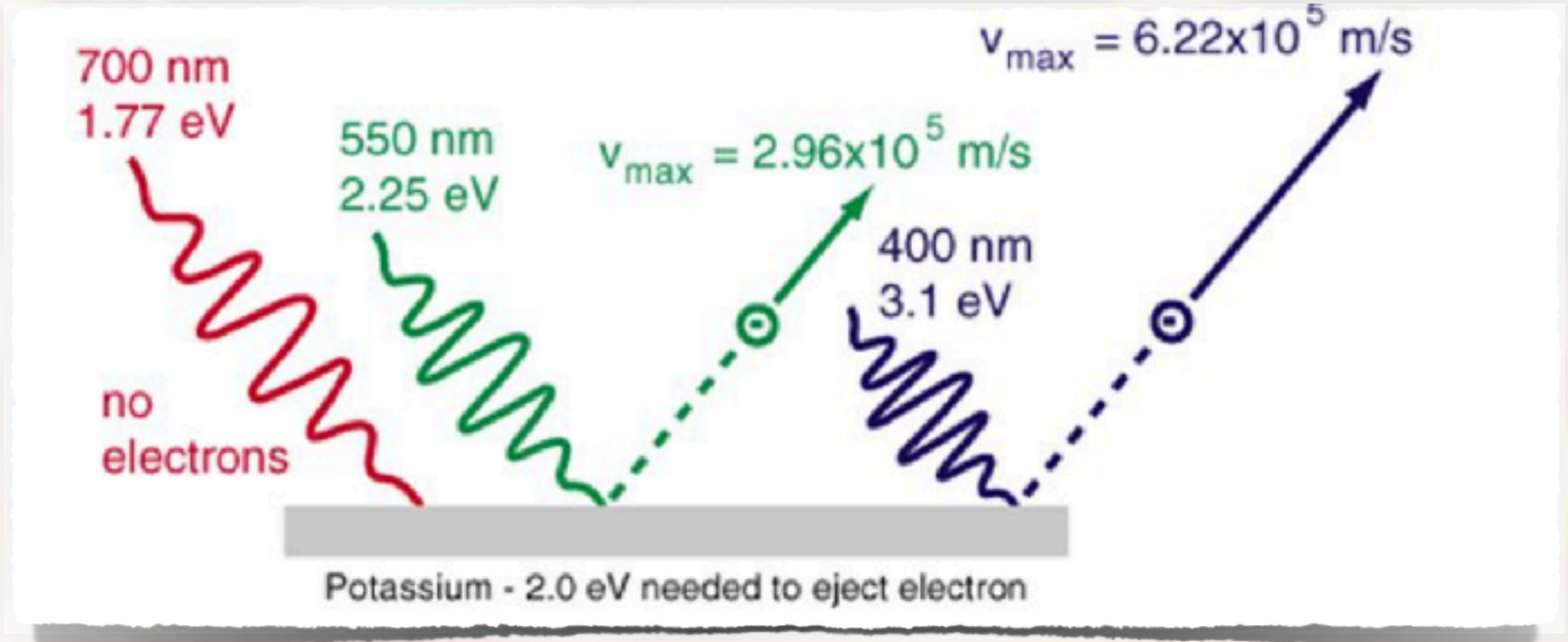


$$E = h\frac{c}{\lambda} = h\nu$$

ENERGIA DI SOGLIA NEL FOTOELETTRICO

*Quando i **fotoni**, urtano la superficie del metallo, una parte della loro E serve a **vincere il potenziale attrattivo** che tiene legato l'elettrone all'atomo; la rimanente si trasforma in **energia cinetica dell'elettrone** espulso:*

$$h\nu = W + \frac{1}{2} m_e v_e^2$$



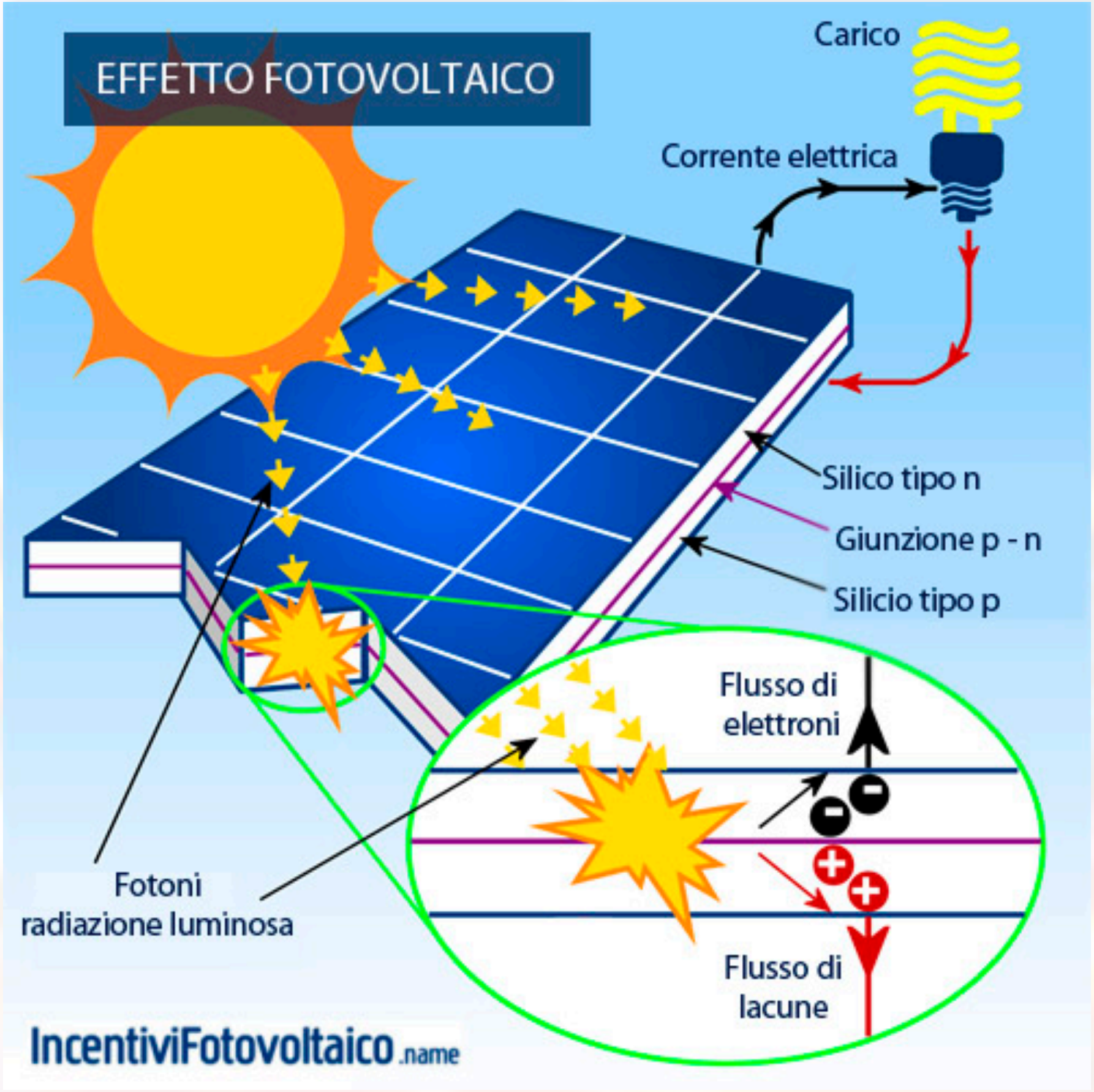
ONDA E PARTICELLA

L'effetto fotoelettrico non si spiega con la pura natura **ondulatoria** della luce

La **natura corpuscolare e ondulatoria** della luce **coesistono** e a ciascuna e` assegnato il proprio ambito di validita`

In certe situazioni si comporta come **un'onda** , in altre come una **pioggia di corpuscoli** chiamati fotoni

I PANNELLI SOLARI



ANCHE GLI ELETTRONI SI COMPORTANO SIA COME ONDE CHE COME PARTICELLE

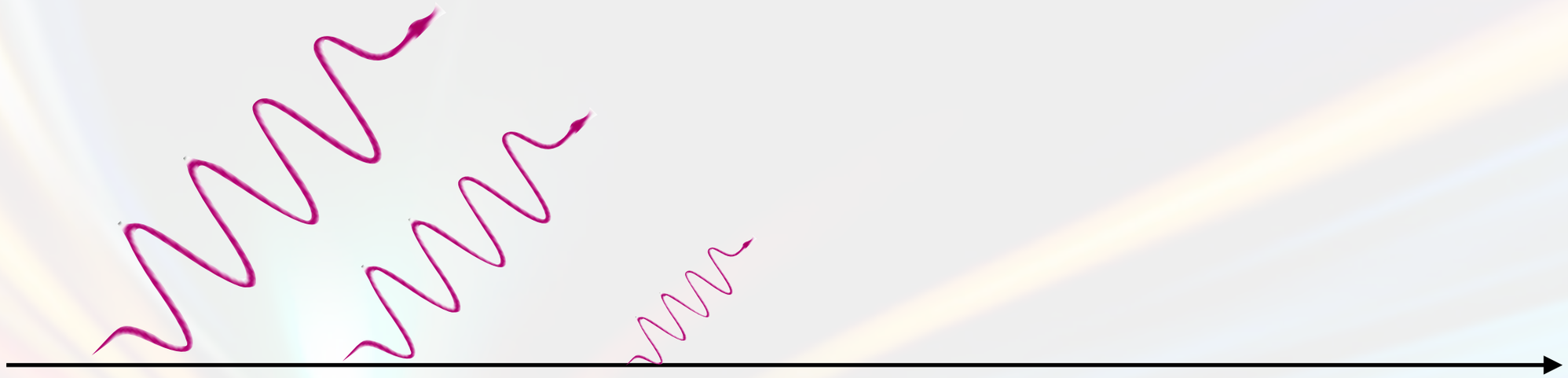
- Nel **1924 De Broglie**, colpito dalla scoperta che la luce mostrava sia proprieta' ondulatorie che corpuscolari, avanzo' l'**ipotesi che anche la materia ordinaria potesse avere una doppia natura**

Fotoni	***Elettroni***
$\lambda = c/\nu$	$\lambda = \frac{h}{mv}$

- Gli elettroni hanno anche un **comportamento ondulatorio** e quindi godono delle **proprietà delle onde** (es. **interferenza e diffrazione)**

COME SI USA LA LUCE IN FISICA DELLE PARTICELLE

- Una **particella carica** che si muove in un mezzo con una velocita` **V** maggiore della luce nel mezzo **emette fotoni**



- **I fotoni si muovono nel mezzo con v= c/n**

COME SI USA LA LUCE IN FISICA DELLE PARTICELLE

- **Si puo' misurare l'angolo caratteristico a cui vengono emessi i fotoni:**

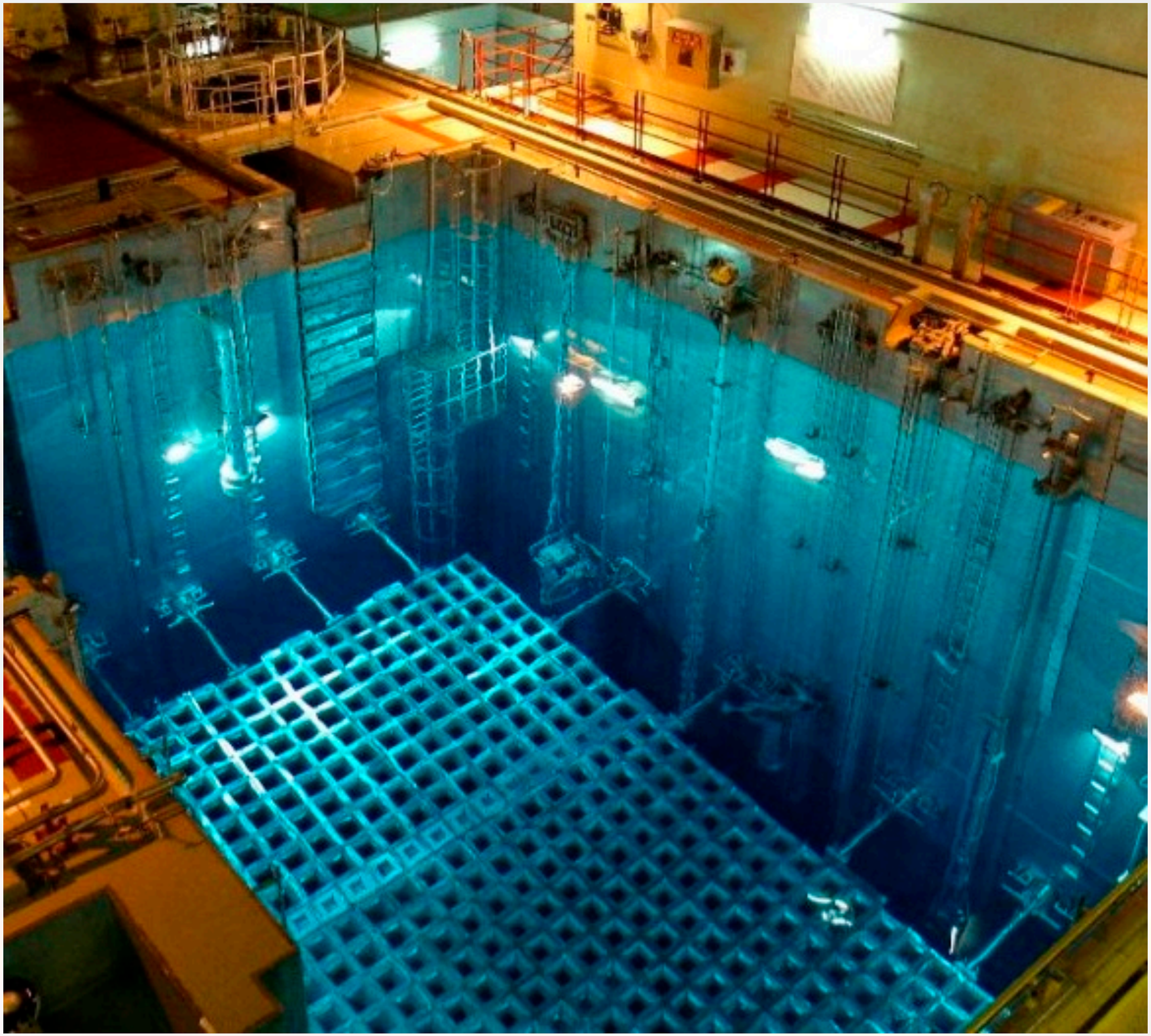
- **Posso mettere un rivelatore di fotoni nella direzione attesa e se misuro della luce significa che e` passata la particella**

$$\cos\alpha = \frac{c}{nV}$$

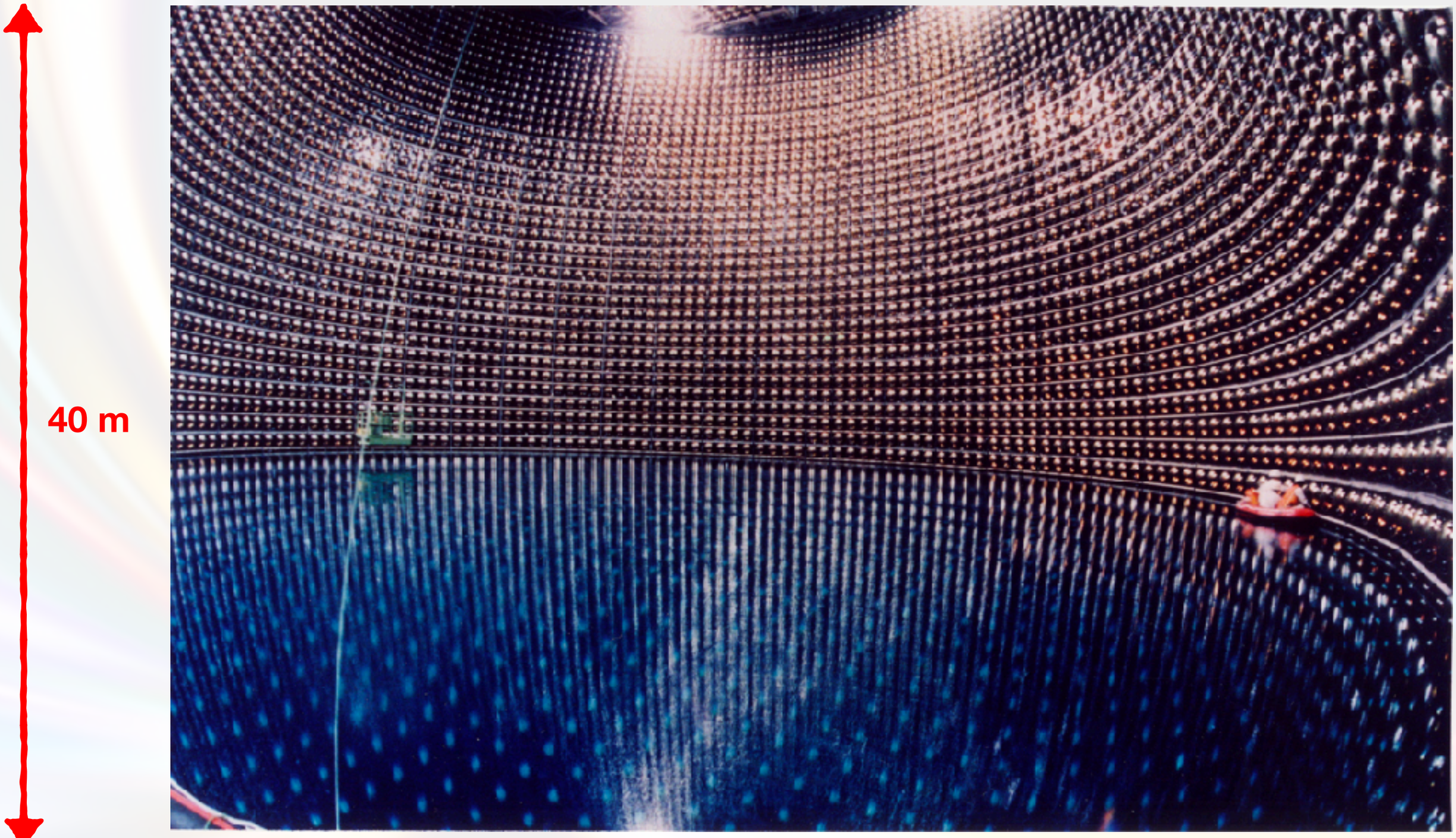
- **Considerando particelle con V molto vicina a c si osserva:**

nell'atmosfera	n~1.00029	θ~ 1.3°
In acqua di mare	n~1.335	θ~ 42°

COME SI USA LA LUCE IN FISICA DELLE PARTICELLE

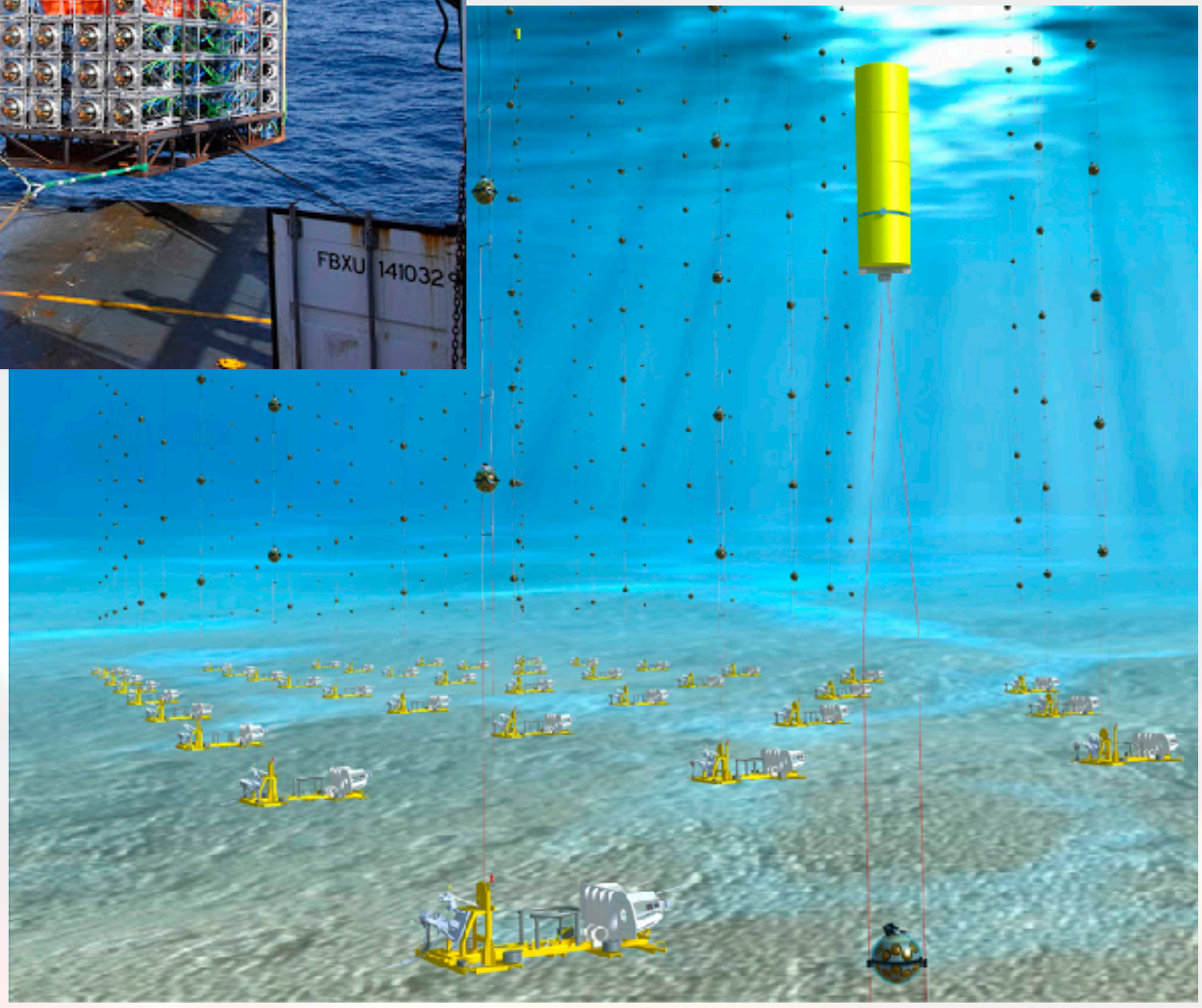


ESPERIMENTO T2K IN GIAPPONE



50 K Tons of water
13k detectors

ESPERIMENTO KM3NET - SICILIA



5 km³

SIMULAZIONI ONLINE PER STUDENTI

https://phet.colorado.edu/

https://phet.colorado.edu/it/simulations/filter?subjects=light-and-radiation&type=html&sort=alpha&view=grid

https://phet.colorado.edu/it/simulation/photoelectric